

**К. Н. Соколов
И. К. Коротич**

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХОВ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по специальности "Металловедение, оборудование и технология термической обработки металлов."



**МОСКВА
"МЕТАЛЛУРГИЯ"
1988**

УДК [621.783+621.785](075.8)

Рецензенты: кафедра металловедения и высокопрочных сплавов МИСиС и докт. техн. наук, проф. *И. Е. Долженков*.

УДК [621.783+621.785](075.8)

Технология термической обработки металлов и проектирование термических цехов: Учебник для вузов. Соколов К. Н., Коротич И. К. М.: Металлургия, 1988. 384 с.

Рассмотрены технологические процессы термической обработки полуфабрикатов и деталей из черных и цветных сплавов, используемые марки сплавов, применяемое оборудование. Приведены некоторые типичные планировки отделений термической обработки металлургических, машиностроительных и инструментальных заводов. Описана методика проектирования термических цехов с включением оформления строительной части. Указаны особенности дипломного проектирования.

Учебник предназначен для студентов, специализирующихся по металловедению и термической обработке сплавов. Может быть полезен инженерам и техникам, связанным с термической обработкой металлов и сплавов. Ил. 112. Табл. 28. Библиогр. список: 136 назв.

С 2704070000—021
040(01)—88 102—88

ISBN 5-229-00110-0

© Издательство «Металлургия», 1988

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	6
Раздел первый. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛУФАБРИКАТОВ И ДЕТАЛЕЙ	10
Глава I. Выбор режимов нагрева и охлаждения при термической обработке	11
1. Нагрев (охлаждение) при внешнем источнике тепла	11
2. Нагрев внутренним источником тепла	31
3. Способы охлаждения	32
Глава II. Дефекты сплавов и контроль качества продукции	42
1. Дефекты металлургического происхождения	43
2. Литейные, шлифовочные трещины	47
3. Дефекты, приобретенные при термической обработке	48
4. Контроль качества изделий	49
Глава III. Управление технологическими процессами термической обработки	52
1. Управление тепловыми процессами термических печей	53
2. Управление составом атмосферы печей	56
3. Автоматическое управление механизмами печей	58
4. Управление технологическими процессами с использованием ЭВМ и микропроцессоров	63
5. Промышленные роботы и гибкие автоматизированные системы	74
Раздел второй. ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ	81
Глава IV. Термические цехи и отделения на металлургических и метизных заводах	86
1. Термическая обработка слитков и заготовок непрерывной разливки стали	87
2. Термические цехи и отделения для обработки сортового проката и фасонных профилей	92
3. Термическая обработка листов и широкой ленты	109
4. Термическая обработка труб	145
5. Термические цехи (отделения) для обработки проволоки	155
6. Термические отделения и участки для обработки изделий, применяемых на железнодорожном транспорте	170
Глава V. Термические цехи и отделения на машиностроительных заводах	185
1. Термическая обработка на заводах тяжелого машиностроения	185
2. Термическая обработка на машиностроительных заводах	200
Глава VI. Термические цехи и отделения на инструментальных заводах	266
1. Термическая обработка режущего инструмента	267
2. Термическая обработка штампового инструмента	283
3. Термическая обработка валков	291

4. Термическая обработка калибров и измерительного инстру- мента	294
5. Оборудование термических отделений и его расположение	296

Раздел третий. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕРМИЧЕ- СКИХ ЦЕХОВ	302

Глава VII. Общие положения по проектированию	302

1. Содержание проекта	303
2. Подготовка производства	305
3. Система автоматизированного проектирования (САПР)	307
4. Рабочее проектирование термических цехов	317
5. Строительные решения при проектировании термических цехов	355
6. Особенности дипломного проектирования	359
7. Содержание исследовательской дипломной работы	365
Приложения	369
Рекомендательный библиографический список	372
Предметный указатель	378

ПРЕДИСЛОВИЕ

В решении основной задачи, поставленной XXVII съездом КПСС, — повышении качества изделий, эффективности и ускорения производства металлопродукции — термическая обработка является одним из важных факторов, поэтому ее широко используют в производстве металлических изделий и полуфабрикатов. В СССР планируется резкое увеличение термической обработки металлов и сплавов. Производство низколегированных термически упрочняемых сталей к 1990 г. достигнет 21 млн. т, объем упрочняемого проката до 16 млн. т, более чем на 40 % должен увеличиться выпуск машин и оборудования при непрерывном повышении их качественных характеристик.

Задача учебника — изложение наиболее прогрессивных технологических процессов термической обработки полуфабрикатов и деталей из черных и цветных сплавов.

Учебник написан в соответствии с типовой учебной программой курса «Технология термической обработки и проектирование термических цехов». Он является заключительной частью спецкурса для студентов, обучающихся по специальности «Металловедение, оборудование и технология термической обработки металлов». Изучению дисциплины предшествуют разделы спецкурса: «Специальные сплавы» и «Оборудование термических цехов», а также «Теория термической обработки металлов» и «Программирование, ЭВМ и численные методы».

Авторы выражают благодарность сотрудникам кафедры металловедения сталей и высокопрочных сплавов Московского института стали и сплавов (зав. кафедрой докт. техн. наук, проф. М. А. Штремель) и заведующему кафедрой термической обработки Днепропетровского металлургического института докт. техн. наук, проф. И. Е. Долженкову за ценные указания при рецензировании рукописи, позволившие улучшить книгу, а также В. И. Коротич и Г. А. Кричман за помощь при подготовке учебника к печати.

Отзывы, замечания и пожелания просьба направлять по адресу: 119857, Москва, 2-й Обыденский пер., 14, издательство «Металлургия».

ВВЕДЕНИЕ

Термическая обработка является составной частью большинства технологических процессов изготовления деталей машин, инструмента и полуфабрикатов. При этом повышаются их свойства, что позволяет уменьшить массу деталей машин и конструкций, получить значительную экономию металла, повысить надежность и эксплуатационную стойкость изделий. Поэтому термическая обработка нашла широкое использование на машиностроительных, инструментальных, оборонных, металлургических и многих других заводах. При правильном выборе сплава и режима его термической обработки в конструкционных сталях можно достигнуть значений временного сопротивления до 2000 МПа и выше при сохранении на достаточном уровне характеристик пластичности и вязкости.

В ряде случаев высокие механические свойства деталей и полуфабрикатов получают путем комбинации термической обработки и пластической деформации (ВТМО, НТМО и др.). Подготавливая структуру проволоки и применяя высокую степень холодной деформации, можно достичь значений временного сопротивления до 5000 МПа и выше. Основы термической обработки как науки были заложены русским ученым Д. К. Черновым, которым были открыты критические точки фазовых превращений в стали (1868 г.). Создание направления повышения свойств сталей путем введения ряда химических элементов (легирования) принадлежит русскому ученому П. П. Аносову (1841 г.). Применяя легирование и термическую обработку, удается в значительной степени удовлетворить требованиям, предъявляемым современной техникой.

Прогрессивная технология термической обработки стала бурно развиваться при освоении массового производства машин (автомобилей, тракторов, комбайнов и др.) в годы первых пятилеток.

Усилиями советских ученых, инженеров разработан и внедрен ряд весьма совершенных и эффективных технологических процессов термической обработки (газовой цементации и нитроцементации, низкотемпературного цианирования, поверхностной закалки с нагревом токами высокой частоты, в электролитах, лучами лазера, термомеханической обработки, изотермического отжига, обработки холодом и др.).

В области разработки прогрессивных методов газовой цементации, нитроцементации, низкотемпературного циани-

рования много сделали А. Н. Минкевич, Ю. М. Лахтин, Л. С. Ляхович и др. Советскими учеными впервые были разработаны принципиально новые методы нагрева с использованием теплового действия электрического тока и магнитного потока.

В 1930—1932 гг. Н. В. Гевелинг предложил способ контактного электронагрева для поверхностной закалки стальных изделий. В лаборатории Ленинградского электротехнического института в 1935 г. под руководством В. П. Володина был разработан метод поверхностной закалки изделий с применением токов высокой частоты (т. в. ч.). В 1936 г. на заводах «Светлана» и Московском автомобильном начали применять индукционный нагрев для целей термической обработки, используя ламповые и машинные генераторы. Дальнейшие исследования Г. И. Бабата, М. Г. Лозинского, И. Н. Кидина, К. З. Шепеляковского, коллективов Всесоюзного научно-исследовательского института токов высокой частоты (ВНИИТВЧ), Всесоюзного научно-исследовательского института электротермического оборудования (ВНИИЭТО), заводов ЗИЛ, УЗТМ, ЧТЗ и других позволили внедрить поверхностную закалку с нагревом т. в. ч. в производство. Впервые на металлургическом заводе «Азов-сталь» был внедрен нагрев т. в. ч. для поверхностной закалки головки рельса по всей его длине.

Способ нагрева в электролитах разработан И. З. Ясногородским, который начал свои исследования еще в 1938 г. и довел их до промышленного внедрения.

Исследование индукционного нагрева для поверхностной закалки в ближайшие 10—20 лет значительно расширится, причем будут использованы токи средних частот. Нагреву лучами лазера предшествовали теоретические исследования Н. Г. Басова, А. М. Прохорова и др.

Внедрены в производство методы термомеханической обработки изделий и контролируемой прокатки, которые используют комбинацию горячей пластической деформации с последующей закалкой. Разработка высокотемпературной термомеханической обработки принадлежит школе В. Д. Садовского и М. Л. Бернштейну, а методы контролируемой прокатки и широкое их внедрение в производство — школе К. Ф. Стародубова, И. Г. Узлову, И. Е. Долженкову. К 2000 г. объем упрочнения проката должен достичь более 15 млн. т. Изотермический отжиг заготовок быстрорежущих сталей впервые был осуществлен в 1932 г. на Златоустовском металлургическом заводе, а на Новотагильском металлургическом комбинате внедрен в производство изотермиче-

ский отжиг рельсов сразу после прокатки, как метод борьбы с флокенами.

Разработка теории и технологии получения высококачественных чугунов, в том числе ковкого чугуна, принадлежит И. Н. Богачеву, К. П. Бунину, А. А. Горшкову и др.

Первыми, обстоятельно описавшими технологию процессов термической обработки черных сплавов и применяемое оборудование, были Н. А. Минкевич и К. Ф. Стародубов. В изучении цветных сплавов и технологических режимов их термической обработки много сделали А. А. Бочвар, И. Н. Фридляндер, Б. А. Колачев и др. В разработку конструкций электрических печей и электротермического оборудования большой вклад внес ВНИИЭТО, а пламенных печей и поточных линий — Теплопроект, Стальпроект, Гипромез и другие организации.

Видно, что советские ученые внесли значительный вклад в разработку и внедрение в производство новых прогрессивных процессов термической обработки.

Одним из главных направлений технического прогресса в оборудовании и организации термических цехов является механизация и автоматизация с целью интенсификации производственных процессов. Автоматизация и механизация производства резко повышают производительность труда, обеспечивают постоянство и точность проведения технологического процесса, улучшают качество продукции, облегчают труд рабочего.

В области автоматизации основное внимание сосредотачивается на практическом решении задачи — перехода от автоматизации отдельных производственных операций к созданию полностью автоматизированных технологических процессов (АСУТП), цехов и предприятий (АСУП).

Кроме технико-экономического эффекта, необходимость этого перехода объясняется все возрастающей для человека трудностью управлять технологическими процессами вследствие их усложнения и быстроты протекания во времени (например, нагрев токами высокой частоты, лучом лазера и др., повышения требований к качеству обработки и т. п.).

В ряде случаев при термической обработке применяются трудоемкие технологические процессы и громоздкое оборудование (камерные печи, печи с выдвижными подом и др.). Это затрудняет включение термической обработки в поточные линии при комплексной автоматизации и снижает экономический эффект от применения высокой механизации других производственных процессов. Так, прокатное производство отличается высокой степенью автоматизации и ме-

ханизации, которая растет с переходом на непрерывные методы прокатки. В то же время при производстве холоднокатаного листа рекристаллизационный отжиг ведется в камерных колпаковых печах, которых в цехе бывает 200 единиц и более. Общая автоматизированная поточная линия прерывается при термической обработке и вновь восстанавливается лишь при последующих операциях.

На подавляющем большинстве машиностроительных заводов применяют автоматизированные агрегаты и поточные линии (для цементации, нитроцементации, закалки с отпуском, отжига). Используются установки с новыми методами нагрева (контактным, т. в. ч., лучом лазера и др.). Автоматизируется оборудование и управление процессами термической обработки на металлургических заводах. Внедряется нагрев деталей в контролируемых атмосферах и в вакууме. Основной задачей является дальнейшая замена малоэффективного оборудования прогрессивным высокопроизводительным.

В совершенствовании конструкций установок для получения контролируемых атмосфер и внедрения их в промышленность много сделали А. А. Шмыков, В. Ф. Копытов, сотрудники ВНИИЭТО, Стальпроекта и ряда других организаций.

Вакуум в термической обработке пока используется в качестве среды при отжиге специальных сплавов (титановых сплавов, трансформаторной стали, ряда авиационных материалов), причем часто для этих целей применяют камерные печи (ретортные, колпаковые) с малой производительностью.

Автоматизируется управление технологическими процессами и агрегатами с использованием ЭВМ, микропроцессоров и манипуляторов-роботов.

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛУФАБРИКАТОВ И ДЕТАЛЕЙ

Раздел
первый

Технологией называется часть производственного процесса, содержащая действия по изменению и последующему определению состояния предмета производства. Технология термической обработки включает выбор вида термической обработки с целью получения заданных свойств, а также подбор оборудования для осуществления термической обработки.

При выборе вида термической обработки сплава исходят из указанных чертежа детали о способе ее изготовления и требований конструктора об условиях службы деталей. Краткие требования конструктора содержатся на чертежах детали, развернутые — в специальных технических условиях. Первыми документами, излагающими обязательные для выполнения требования к детали, являются Государственный Общесоюзный стандарт (ГОСТ) и отраслевые стандарты (ОСТы). Специальные технические условия, предъявляемые к детали, не должны противоречить ГОСТам, а могут лишь уточнять отдельные частные моменты, учитывающие специфику производства завода. За выпуск нестандартной продукции и низкое качество деталей руководящий состав завода несет персональную ответственность.

Требования, предъявляемые к металлическим деталям, весьма разнообразны. В зависимости от них металлические детали можно разбить на три основные группы.

Первую группу составляют детали машин и конструкций, изготовляемые из материалов, для которых определяющими являются механические свойства (чаще сочетание прочностных, пластических и вязких свойств). Для них используют конструкционные стали и сплавы.

Ко *второй группе* относятся детали машин и конструкций, которые в качестве основных должны обладать особыми физическими свойствами (магнитными и электрическими, сопротивлением коррозии, жаропрочностью, окислостойкостью, иметь определенный температурный коэффициент расширения и др.). Наряду с особыми физическими свойствами от них требуется и определенный уровень механических свойств. Для изготовления деталей этой группы используют конструкционные сплавы, а специальные физические свойства получают изменением их структуры в результате легирования и термической обработки.

В *третью группу* входят различного рода инструменты, служащие для придания деталям требуемой формы или для измерения их размеров. Придание деталям различной формы может быть осуществлено снятием стружки (режущий инструмент) или пластической деформацией (штамповый, прессовый, волочильный инструмент, валки холодной и горячей прокатки). Детали этой группы изготовляют из инструментальных сталей и сплавов. Основными определяющими характеристиками их являются высокая твердость, износостойкость, а для ряда инструментов тепло- и красностойкость (сохранение твердости при повышенных температурах).

ВЫБОР РЕЖИМОВ НАГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

При составлении технологии термической обработки важное значение имеет продолжительность нагрева (охлаждения) изделий. В общем цикле термической обработки она составляет до 40—80 %, что определяет количество основного оборудования (печей, ванн, нагревательных аппаратов). Ниже приводятся формулы для определения времени нагрева (охлаждения) изделий с использованием уравнения теплопроводности.

1. Нагрев (охлаждение) при внешнем источнике тепла

Формулы для определения времени нагрева

При одномерном тепловом потоке дифференциальное уравнение теплопроводности имеет вид

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left[\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{K_{\Phi} - 1}{x} \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \right], \quad (1)$$

где K_{Φ} — коэффициент формы, равный соответственно для пластины 1, цилиндра 2, шара 3.

Используя теоремы подобия и вводя безразмерные критерии Био (Bi), Фурье (Fo) и температурный критерий Θ , получим $\Theta = f(Bi; Fo; x/S)$, где критерий Bi характеризует отношение внутреннего теплового сопротивления x/λ к внешнему $1/\alpha$.

Для пластины толщиной $2S$, м, $Bi = \frac{S/\lambda}{1/\alpha} = \alpha S/\lambda$,

для цилиндра $Bi = \frac{R/\lambda}{1/\alpha} = \alpha R/\lambda$.

Критерий Fo — основной показатель в случае передачи тепла теплопроводностью:

для плиты $Fo = a\tau/S^2$, для цилиндра $Fo = a\tau/R^2$.

При нагреве (охлаждении) в среде с температурой t_c : $\Theta = (t_c - t)/(t_c - t_{м.нач})$. Тогда

$$(t_c - t)/(t_c - t_{м.нач}) = f(\alpha S/\lambda; a\tau/S^2; x/S), \quad (2)$$

где t_c — температура среды, °C; t — текущая температура нагрева тела, °C; $t_{м.нач}$ — начальная температура металла,

Т а б л и ц а 1. Ориентировочные значения общего коэффициента

Среда	Температура поверхности					
	100	200	300	400	500	600
<i>Нагрев в печи с температурой, °С:</i>						
1100	145	160	170	190	210	225
900	100	110	125	140	155	170
600	60	65	70	85	100	115
<i>Нагрев в расплавах солей</i>						
BaCl ₂	—	—	—	—	—	—
NaCl	—	—	—	—	—	—
BaCl ₂ +NaCl	—	—	—	—	—	—
NaNO ₃	—	—	—	300	500	700
NaOH	—	—	—	350	550	—
NaOH+KOH	—	250	400	550	700	—
<i>Нагрев в свинце</i>	—	—	—	—	500	900
<i>Охлаждение от 900 °С:</i>						
в воде 20 °С	800	2000	1200	400	500	2000
в масле 50 °С	200	400	500	700	1000	1200
на воздухе 20 °С	15	18	22	30	40	55

°С; α — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); $a = \lambda / c \cdot \rho$, м²/с, или $3600\lambda / c \cdot \rho$, м²/ч — коэффициент температуропроводности, характеризующий изменение температуры в объеме тела [c — теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ — плотность, кг/м³; $c\rho$ — объемная теплоемкость, Дж/(м³·К)].

При использовании закона конвективной теплоотдачи Ньютона—Рихмана общий коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{общ}}$, Вт/(м²·К) складывается из коэффициентов теплоотдачи лучеиспусканием ($\alpha_{\text{луч}}$) и конвекцией ($\alpha_{\text{конв}}$): $\alpha_{\text{общ}} = \alpha_{\text{луч}} + \alpha_{\text{конв}}$.

По закону излучения Стефана—Больцмана $\alpha_{\text{луч}} = C[(T_c/100)^4 - (T_m/100)^4] / (T_c - T_m)$, где $C = \varepsilon C_0$ — коэффициент излучения, Вт/(м²·К⁴) ($C_0 = 5,7$ Вт/(м²·К⁴) — коэффициент излучения абсолютно черного тела, а ε — степень черноты тела); $\alpha_{\text{конв}}$ зависит от скорости движения газов и степени шероховатости поверхности; для термических печей значения коэффициентов теплоотдачи конвекцией $\alpha_{\text{конв}}$ при вынужденном движении газов вдоль плоской прокатанной шероховатой и полированной поверхностей ($t = 20$ °С; $p = 0,1$ МПа) при разной скорости приведены ниже:

теплоотдачи $\alpha_{\text{общ}}$, Вт/(м²·К)

(тела или расплава соли), °С						За цикл с 20 °С до t , °С	
700	800	900	1000	1100	1300	t , °С	$\alpha_{\text{ср}}$
245	270	300	330	400	—	1100	250
185	200	220	—	—	—	900	180
—	—	—	—	—	—	600	90
—	—	—	350	600	1100	1300	500
—	—	280	350	—	—	1000	300
300	500	800	—	—	—	900	400
—	—	—	—	—	—	500	400
—	—	—	—	—	—	500	500
—	—	—	—	—	—	500	600
1300	1800	2500	—	—	—	900	1000
1500	1000	—	—	—	—	—	2000—1000
700	300	250	—	—	—	—	500—300
70	85	100	125	150	—	—	50—30

	≤ 5 м/с	≥ 5 м/с
Прокатанная . .	5,0+3,4 v	6,14 $v^{0,78}$
Шероховатая . .	5,3+3,6 v	6,47 $v^{0,78}$
Полированная . .	4,8+3,4 v	6,12 $v^{0,78}$

В процессе нагрева коэффициент теплоотдачи и физические константы нагреваемого металла (λ , c , α) изменяются, поэтому их значения надо брать средними за промежутки нагрева. Ориентировочные значения для α приведены в табл. 1, а для λ и c в приложениях 1 и 2.

Сильно снижается теплопроводность при нагреве садки изделий с воздушными зазорами. Некоторые опытные данные приведены ниже:

	ρ , кг/м ³	λ , Вт/(м·К)
Стопа тонких стальных листов	5000	0,5—1
Проволока в бунтах	2000	2—3
Стальные шарики и ролики 10—30 мм . .	4300	7—10
Стальные мелкие болты и гайки 10—30 мм	3000	4—5

Вследствие большого количества воздушных зазоров нагрев стопы листов и плотномотанных рулонов быстрее идет по ширине листа и рулона.

Среднюю температуру $t_{\text{ср}}$ всей массы тела, можно определить, зная температуру на поверхности ($t_{\text{пов}}$) и в центре ($t_{\text{цен}}$):

для пластины $t_{\text{ср}} = t_{\text{мас}} \approx t_{\text{цен}} + (t_{\text{пов}} - t_{\text{цен}})/3$;

для цилиндра $t_{\text{ср}} = t_{\text{мас}} \approx t_{\text{цен}} + (t_{\text{пов}} - t_{\text{цен}})/2$.

При нагреве в среде с постоянной температурой средняя температура поверхности $t_{\text{ср}} = t_0 + \frac{2}{3}t_{\text{м.кон.}}$

Функциональная зависимость в уравнении (2) найдена лишь для ряда частных случаев (плиты, цилиндра, шара) и представляет собой бесконечный ряд тригонометрических функций или функций Бесселя.

Анализ задачи по нагреву (охлаждению) твердого тела начинают с определения критерия Bi . При малом диаметре или толщине нагреваемого металла или высоком коэффициенте теплопроводности металла внутреннее сопротивление, а следовательно, и критерий Bi становятся очень малыми. В этом случае нагрев будет зависеть только от внешней теплоотдачи. Такие тела при нагреве не дают большого температурного перепада по сечению. Их принято называть тонкими. При увеличении критерия Bi внутреннее сопротивление начинает играть существенную роль, вызывая в процессе нагрева изделия значительный температурный перепад между поверхностью и центром тела. Такие тела называют массивными. За условную границу нагрева тонких и массивных тел принимается значение критерия $Bi = 0,25$. Когда $Bi > 0,25$ тела ведут себя при нагреве как массивные, а при $Bi < 0,25$ — как тонкие.

Нагрев тонких тел ($Bi \leq 0,25$) в среде с постоянной температурой t_c . Согласно закону Ньютона—Рихмана, для элементарного промежутка времени $d\tau$ получим $\alpha(t_c - t)F \cdot d\tau = Gcd\tau$, откуда $d\tau = (Gc/\alpha F) [dt/(t_c - t)]$.

Интегрируя в пределах от начальной температуры металла $t_{\text{м.нач}}$ до конечной $t_{\text{м.кон}}$, получим

$$\tau = (Gc/\alpha F) \int_{t_{\text{м.нач}}}^{t_{\text{м.кон}}} dt/(t_c - t) = (Gc/\alpha F) \ln[(t_c - t_{\text{м.нач}})/(t_c - t_{\text{м.кон}})] \quad (3)$$

Время нагрева металла пропорционально его теплоемкости c , кДж/(кг·К), массе G , кг, и обратно пропорционально коэффициенту теплоотдачи α , Вт/(м²·К) и активной поверхности F , м², воспринимающей тепло. t_c , $t_{\text{м.нач}}$ и $t_{\text{м.кон}}$ соответственно температуры среды, начальной и конечной температуры металла.

Время нагрева, мин, цилиндрических деталей из среднеуглеродистой стали до 830—850 °С в печи с температурой на 20—30 °С выше температуры нагрева металла приближенно будет равно $\tau = 5d$, где d выражено в сантиметрах.

Нагрев массивных тел ($Bi > 0,25$) в среде с постоянной температурой t_c . Температурное поле нагреваемого (охлаждаемого) длинного цилиндра определяется уравнением

$$\Theta = \sum_{n=1}^{n=\infty} [2J_1(\mu_n)/[\mu_n J_0'(\mu_n) + \mu_n J_1'(\mu_n)] J_0(\mu_n r/R) \exp(-\mu_n^2 a \tau / R^2),$$

где μ_n — последовательные значения корней трансцендентного уравнения $Bi = \mu J_1(\mu) / J_0(\mu)$.

При значениях $a\tau/R^2 > 0,25$, благодаря быстрой сходимости рядов с погрешностью не более 1 % бесконечный ряд может быть заменен первым членом и уравнение примет вид:

$$\begin{aligned} \Theta_{\text{цен}} &= 2J_1(\mu)/[\mu J_0'(\mu) + \mu J_1'(\mu)] \exp(-\mu^2 a \tau / R^2) = \\ &= N_0 \exp(-\mu^2 a \tau / R^2); \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Theta_{\text{пов}} &= 2J_1(\mu)/[\mu J_0'(\mu) + \mu J_1'(\mu)] J_0(\mu) \exp(-\mu^2 a \tau / R^2) = \\ &= U_0 \exp(-\mu^2 a \tau / R^2). \end{aligned} \quad (5)$$

Для определения времени нагрева преобразуем эти формулы:

$$\begin{aligned} \tau_{\text{цен}} &= (R^2/\mu^2 a) \ln(N_0/\Theta_{\text{цен}}); \quad \tau_{\text{пов}} = (R^2/\mu^2 a) \ln(U_0/\Theta_{\text{пов}}); \\ \Theta_{\text{цен}} &= (t_c - t_{\text{м.цен}})/(t_c - t_{\text{м.нач}}); \quad \Theta_{\text{пов}} = (t_c - t_{\text{м.пов}})/(t_c - t_{\text{м.нач}}). \end{aligned}$$

Вводя значения $\Theta_{\text{цен}}$ и $\Theta_{\text{пов}}$, получим:

$$\tau_{\text{цен}} = (R^2/\mu^2 a) \ln[N_0(t_c - t_{\text{м.нач}})/(t_c - t_{\text{м.цен}})]; \quad (6)$$

$$\tau_{\text{пов}} = (R^2/\mu^2 a) \ln[U_0(t_c - t_{\text{м.нач}})/(t_c - t_{\text{м.пов}})]. \quad (7)$$

N_0 и U_0 выражаются функциями Бесселя. Расчет можно облегчить, если в памяти ЭВМ имеются функции Бесселя. Однако возможно с достаточной степенью точности принимать значения N_0 , U_0 и μ^2 , вычисленные Г. П. Ивановым (табл. 2).

Температурное поле симметрично нагреваемой (охлаждаемой) пластины толщиной $2S$

$$\Theta = \sum_{n=1}^{n=\infty} [2 \sin \delta_n / (\delta_n + \sin \delta_n \cos \delta_n)] \cos(\delta_n x/S) \exp(-\delta_n^2 a \tau / S^2),$$

Т а б л и ц а 2. Коэффициенты для расчета нагрева (охлаждения) цилиндра радиусом R , м, и пластины толщиной $2S$, м

$Bi = \alpha R/\lambda$	μ^2	U_0	N_0	$Bi = \alpha S/\lambda$	δ^2	U	N
Цилиндр				Пластина			
0,24	0,452	0,941	1,057	0,24	0,222	0,924	1,037
0,26	0,488	0,937	1,062	0,26	0,239	0,918	1,040
0,28	0,523	0,932	1,067	0,28	0,256	0,912	1,042
0,30	0,557	0,927	1,071	0,30	0,272	0,906	1,045
0,35	0,642	0,915	1,082	0,35	0,313	0,891	1,052
0,40	0,726	0,903	1,093	0,40	0,352	0,877	1,058
0,45	0,806	0,891	1,103	0,45	0,389	0,863	1,064
0,50	0,888	0,880	1,114	0,50	0,466	0,849	1,070
0,55	0,962	0,869	1,124	0,55	0,462	0,836	1,076
0,60	1,036	0,858	1,134	0,60	0,497	0,823	1,081
0,70	1,184	0,836	1,154	0,70	0,564	0,798	1,092
0,80	1,322	0,815	1,172	0,80	0,626	0,774	1,102
0,90	1,453	0,795	1,190	0,90	0,684	0,751	1,111
1,00	1,580	0,774	1,208	1,00	0,740	0,729	1,119
1,20	1,810	0,738	1,239	1,20	0,841	0,689	1,134
1,40	2,030	0,704	1,268	1,40	0,931	0,653	1,148
1,60	2,220	0,671	1,295	1,60	1,016	0,619	1,159
1,80	2,390	0,639	1,319	1,80	1,090	0,587	1,169
2,00	2,550	0,610	1,340	2,00	1,162	0,559	1,179
2,20	2,700	0,584	1,357	2,20	1,122	0,535	1,186
2,40	2,840	0,558	1,375	2,40	1,277	0,510	1,193
2,60	2,970	0,534	1,392	2,60	1,332	0,488	1,200
2,80	3,090	0,513	1,406	2,80	1,380	0,468	1,205
3,00	3,200	0,492	1,420	3,00	1,420	0,488	1,210
3,50	3,440	0,446	1,449	3,50	1,520	0,406	1,221
4,00	3,640	0,407	1,472	4,00	1,590	0,370	1,229
4,50	3,810	0,374	1,489	4,50	1,660	0,338	1,283
5,00	3,960	0,345	1,504	5,00	1,730	0,314	1,240
5,50	4,090	0,320	1,516	5,50	1,780	0,293	1,244
6,00	4,200	0,299	1,527	6,00	1,820	0,273	1,248
7,00	4,380	0,262	1,541	7,00	1,900	0,241	1,254
8,00	4,530	0,234	1,551	8,00	1,950	0,216	1,257
9,00	4,650	0,210	1,560	9,00	2,000	0,196	1,260
10,00	4,750	0,191	1,566	10,00	2,040	0,180	1,262

П р и м е ч а н и е. Промежуточные значения берутся интерполяцией.

где δ_n — последовательные значения корней трансцендентного уравнения $Bi = \delta \operatorname{tg} \delta$. Если погрешность не более 1 %, то можно ограничиться первым членом. Тогда

$$\Theta_{\text{цен}} = [2 \sin \delta / (\delta + \sin \delta \cos \delta)] \exp(-\delta^2 a \tau / S^2) = N \exp(-\delta^2 a \tau / S^2); \quad (8)$$

$$\Theta_{\text{пов}} = [2 \sin \delta / (\delta + \sin \delta \cos \delta)] \cos(\delta) \exp(-\delta^2 a \tau / S^2) = U \exp(-\delta^2 a \tau / S^2). \quad (9)$$

Для определения времени нагрева преобразуем формулы (8) и (9):

$$\tau_{\text{цен}} = (S^2 / \delta^2 a) \ln(N / \Theta_{\text{цен}}); \quad \tau_{\text{пов}} = (S^2 / \delta^2 a) \ln(U / \Theta_{\text{пов}}).$$

Подставив значения $\Theta_{\text{цен}}$ и $\Theta_{\text{пов}}$, получим

$$\tau_{\text{цен}} = (S^2 / \delta^2 a) \ln [N (t_c - t_{\text{м.нач}}) / (t_c - t_{\text{м.цен}})], \quad (10)$$

$$\tau_{\text{пов}} = (S^2 / \delta^2 a) \ln [U (t_c - t_{\text{м.нач}}) / (t_c - t_{\text{м.пов}})]. \quad (11)$$

Можно с достаточной степенью точности облегчить расчет, если значения N , U и δ^2 принять по данным табл. 2.

Поскольку теплофизические параметры λ , c , a при нагреве изменяются, значения их необходимо брать средними за цикл нагрева.

Наиболее универсальным способом решения уравнения теплопроводности является аппроксимация по конечно-разностной схеме с применением методов прямой и обратной прогонки.

На поперечное сечение нагреваемого тела и на ось времени наносят разностную сетку с шагом Δx по сечению и $\Delta \tau$ — по времени, тогда

$$x_i = i \Delta x; \quad i = 0, 1, 2 \dots N; \quad \Delta x = S / N;$$

$$\tau_k = k \Delta \tau; \quad k = 0, 1, 2 \dots$$

Тогда дифференциальное уравнение теплопроводности (1) можно записать:

$$(t_{i,k} - t_{i,k-1}) / \Delta \tau = a \{ (t_{i+1,k} - t_{i,k}) / \Delta x^2 - (t_{i,k} - t_{i-1,k}) / \Delta x^2 + [(K_{\phi} - 1) / i \Delta x] [(t_{i,k} - t_{i-1,k}) / \Delta x] \}, \quad (12)$$

$$(t_{i,k} - t_{i,k-1}) / \Delta \tau = a \{ [(t_{i+1,k} - 2t_{i,k} + t_{i-1,k}) / \Delta x^2 + [(K_{\phi} - 1) / i \Delta x] [(t_{i,k} - t_{i-1,k}) / \Delta x] \}, \quad (13)$$

при этом $i = 1, 2 \dots N-1$; $k = 1, 2 \dots N$

Начальное условие $t_{(x,0)} = t_0$ можно записать как $t_i = t_0$, $i = 0, 1, 2, \dots N$.

Первое граничное условие при постоянной температуре среды $-\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=R} = \alpha (t_{c,k} - t_{N,k})$, или в конечных разностях $-\lambda (t_{N,k} - t_{N-1,k}) / \Delta x = \alpha (t_{c,k} - t_{N,k})$ или $\alpha \Delta x t_{c,k} / \lambda - \alpha \Delta x t_{N,k} / \lambda = t_{N,k} - t_{N-1,k}$.

Поскольку $\alpha \Delta x / \lambda = \text{Bi}$, после подстановки получим

$$t_{N-1,k} = (1 + \text{Bi}) t_{N,k} - \text{Bi} t_{c,k}. \quad (14)$$

Второе граничное условие

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0, \text{ или в конечных разностях} \\ -\lambda (t_{N,k} - t_{N-1,k}) / \Delta x = 0. \quad (15)$$

Оно свидетельствует о том, что тепловой поток через центральный узел ($i=0$) разностной сетки отсутствует. Данный узел получает тепло от двух соседних узлов (одного с $i=1$ и другого, симметрично расположенного, без индекса). С учетом граничного условия (15) разностную формулу (12) для слоя $i=1$ можно представить как

$$(t_{0,k} - t_{0,k-1}) / \Delta \tau = a [(t_{1,k} - t_{0,k}) / \Delta x^2 + (K_\phi - 1) \times \\ \times (t_{1,k} - t_{0,k}) / \Delta x^2]. \quad (16)$$

При симметричном нагреве в правую часть уравнения (16) необходимо ввести коэффициент 2. Тогда

$$t_{0,k} - t_{0,k-1} = (2a\Delta\tau/\Delta x^2) [t_{1,k} - t_{0,k} + (K_\phi - 1) \times \\ \times (t_{1,k} - t_{0,k})]; \text{ откуда} \\ -t_{0,k-1} = -t_{0,k} + 2\text{Fo} t_{1,k} - 2\text{Fo} t_{0,k} + 2\text{Fo} (K_\phi - 1) t_{1,k} - \\ - 2\text{Fo} (K_\phi - 1) t_{0,k}; \\ -t_{0,k-1} = -[1 + 2\text{Fo} + 2\text{Fo} (K_\phi - 1)] t_{0,k} + 2\text{Fo} K_\phi t_{1,k}; \\ -t_{0,k-1} = -[1 + 2\text{Fo} K_\phi] t_{0,k} + 2\text{Fo} K_\phi t_{1,k}, \text{ откуда} \\ t_{0,k} = 2\text{Fo} K_\phi t_{1,k} / (1 + 2\text{Fo} K_\phi) + t_{0,k-1} / (1 + 2\text{Fo} K_\phi). \quad (17)$$

Приведем уравнение (13) к стандартному виду

$$t_{i,k} - t_{i,k-1} = (a\Delta\tau/\Delta x^2) [t_{i+1,k} - 2t_{i,k} + \\ + t_{i-1,k} + (K_\phi - 1)(t_{i,k} - t_{i-1,k})/i]; \\ -t_{i,k-1} = \text{Fo} t_{i+1,k} - 2\text{Fo} t_{i,k} - t_{i,k} + \text{Fo} t_{i-1,k} + \\ + \text{Fo} (K_\phi - 1) t_{i,k}/i - \text{Fo} (K_\phi - 1) t_{i-1,k}/i;$$

$$\begin{aligned}
& -t_{i,k-1} = \text{Fo} t_{i-1,k} [1 - (K_\Phi - 1)/i] - \\
& - [1 + 2\text{Fo} - \text{Fo} (K_\Phi - 1)/i] t_{i,k} + \text{Fo} t_{i+1,k}.
\end{aligned} \quad (18)$$

При этом $i=1, 2, \dots (N-1)$.

Введем коэффициенты прогонки, положив

$$t_{i,k} = L_{i+1} t_{i+1,k} + M_{i+1}, \quad (19)$$

$$t_{i-1,k} = L_i t_{i,k} + M_i. \quad (20)$$

Подставив в уравнение (18) значения $t_{i-1,k}$ из уравнения (20):

$$\begin{aligned}
& -t_{i,k-1} = \text{Fo} [1 - (K_\Phi - 1)/i] (L_i t_{i,k} + M_i) - \\
& - [1 + 2\text{Fo} - \text{Fo} (K_\Phi - 1)/i] t_{i,k} + \text{Fo} t_{i+1,k} \quad \text{или} \\
& -t_{i,k-1} = \text{Fo} L_i t_{i,k} [1 - (K_\Phi - 1)/i] + \text{Fo} M_i \times \\
& \times [1 - (K_\Phi - 1)/i] - [1 + 2\text{Fo} - \text{Fo} (K_\Phi - 1)/i] t_{i,k} + \\
& + \text{Fo} t_{i+1,k}
\end{aligned}$$

найдем $t_{i,k}$:

$$\begin{aligned}
t_{i,k} = & \frac{\text{Fo} t_{i+1,k}}{1 + 2\text{Fo} - \text{Fo} (K_\Phi - 1)/i - \text{Fo} [1 - (K_\Phi - 1)/i] L_i} + \\
& + \frac{t_{i,k-1} + \text{Fo} [1 - (K_\Phi - 1)/i] M_i}{1 + 2\text{Fo} - \text{Fo} (K_\Phi - 1)/i - [1 - (K_\Phi - 1)/i] \text{Fo} L_i}.
\end{aligned} \quad (21)$$

Сравнивая уравнения (19) и (21), получим значения коэффициентов прогонки при $i=1, 2, \dots, N-1$:

$$\begin{aligned}
L_{i+1} = & \text{Fo} / [1 + 2\text{Fo} - \text{Fo} (K_\Phi - 1)/i] - \\
& - [1 - (K_\Phi - 1)/i] \text{Fo} L_i;
\end{aligned} \quad (22)$$

$$M_{i+1} = \frac{t_{i,k-1} + [1 - (K_\Phi - 1)/i] \text{Fo} M_i}{1 + 2\text{Fo} - \text{Fo} (K_\Phi - 1)/i - [1 - (K_\Phi - 1)/i] \text{Fo} L_i}. \quad (23)$$

Из сравнения формул (17) и (19) при $i=1$ получаем:

$$L_1 = 2\text{Fo} K_\Phi / (1 + 2\text{Fo} K_\Phi), \quad (24)$$

$$M_1 = t_{0,k-1} / (1 + 2\text{Fo} K_\Phi). \quad (25)$$

Из формулы (20) для поверхности в k -тый момент времени имеем $t_{(N-1),k} = L_N t_{N,k} + M_N$. Подставив $t_{(N-1),k}$ из формулы (14) в это выражение, получим $L_N t_{N,k} + M_N = t_{N,k} (1 + \text{Bi}) - \text{Bi} t_c$. Тогда температура поверхности тела в k -тый момент времени

$$t_N = (\text{Bi} t_c + M_N) / (1 + \text{Bi} - L_N). \quad (26)$$

Приведенная разностная схема является абсолютно устойчивой, поэтому на выбор шага по координате Δx и шага по времени Δt не накладывается ограничений. Частота разностной сетки определяется необходимой точностью расчета.

Блок-схема алгоритма решения разностной задачи методом прогонки приведена на рис. 1. Порядок вычислений следующий:

1. На каждом шаге интегрирования по времени находим коэффициенты прогонки L_i и M_i (при $i=1, 2, \dots, (N-1)$) по формулам (24), (25) и (22); (23) — прямая прогонка.

2. Определяем температуры t_i поверхности тела и внутренних слоев ($i=N, (N-1), \dots, 0$) по формуле (26) и (20) — обратная прогонка.

3. Нарастив шаг по времени и повторяем цикл расчета до достижения заданной температуры поверхности (времени) или выполнения какого-либо другого условия.

Значения Fo и Bi находят при λ , c и a для среднemasсовой температуры, а $\alpha_{\text{луч}}$ по средней температуре поверхности. Трудность в расчете заключается в том, что имеющиеся конкретные данные для λ и c (см. приложения 1, 2 и табл. 1) приходится выражать уравнениями в виде температурных зависимостей. Для определенных интервалов изменения λ и c можно представлять в виде линейных уравнений. При постоянной температуре среды $\alpha_{\text{луч}}$ можно определять, учитывая изменение температуры поверхности детали в процессе нагрева по параболе. Тогда средняя температура поверхности в каждом интервале будет равна $2/3 t_{\text{пов}}$. При расчете охлаждения приходится аппроксимировать экспериментальную кривую зависимости $\alpha_{\text{общ}}$ от температуры.

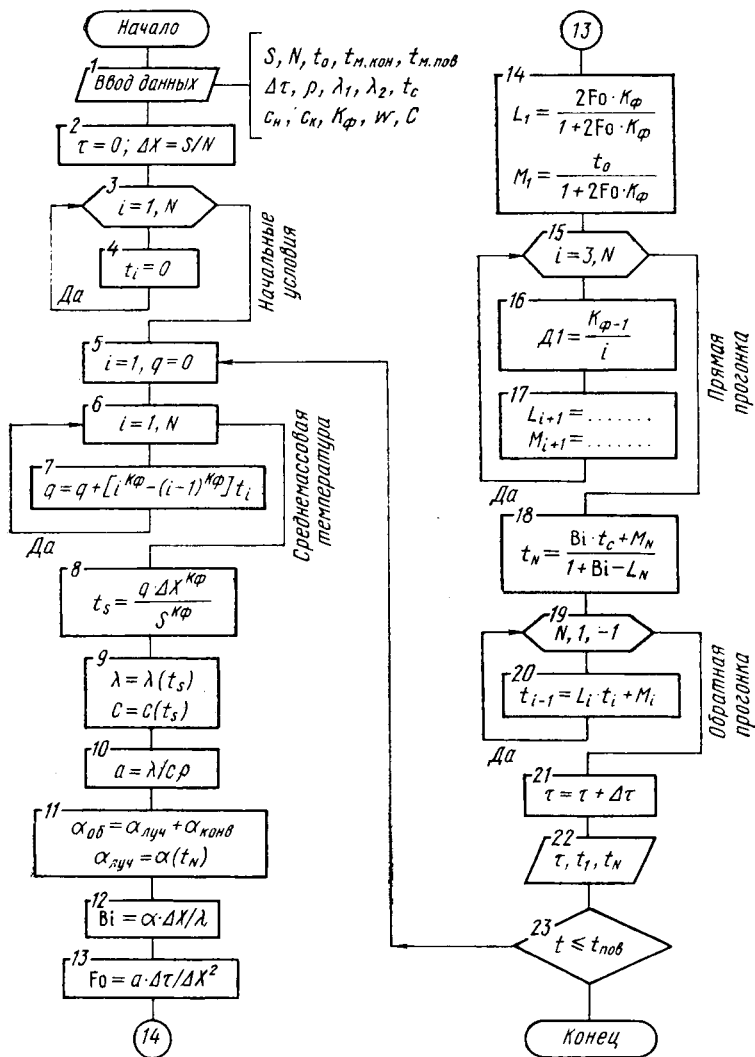
Сложность заключается также в определении формулы для описания среднemasсовой температуры.

Графики для *времени нагрева (охлаждения)*.

Для приближенных инженерных расчетов функцию (2) удобнее давать в графической форме. Однако на плоскости в одной диаграмме можно представить лишь зависимость от двух переменных, поэтому графики строят при $x/S=1$ (для поверхности тела) и $x/S=0$ (для центра).

На рис. 2 и 3 приведены графики зависимости $\theta=f(Bi, Fo)$ для поверхности и оси цилиндра и для поверхности и центра пластины по данным Д. В. Будрина.

Определение температуры центра $t_{\text{цен}}$ или поверхности $t_{\text{пов}}$ тела через определенный промежуток времени:



$$L_{i+1} = \frac{Fo}{1 + 2Fo - Fo \cdot \Delta 1 - (1 - \Delta 1) \cdot Fo \cdot L_i}; \quad M_{i+1} = \frac{t_{i, \kappa-1} + (1 - \Delta 1) \cdot Fo \cdot M_i}{1 + 2Fo - Fo \cdot \Delta 1 - (1 - \Delta 1) \cdot Fo \cdot L_i}$$

$$\Delta 1 = (K_\phi - 1) / i$$

Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета нагрева (охлаждения) металла

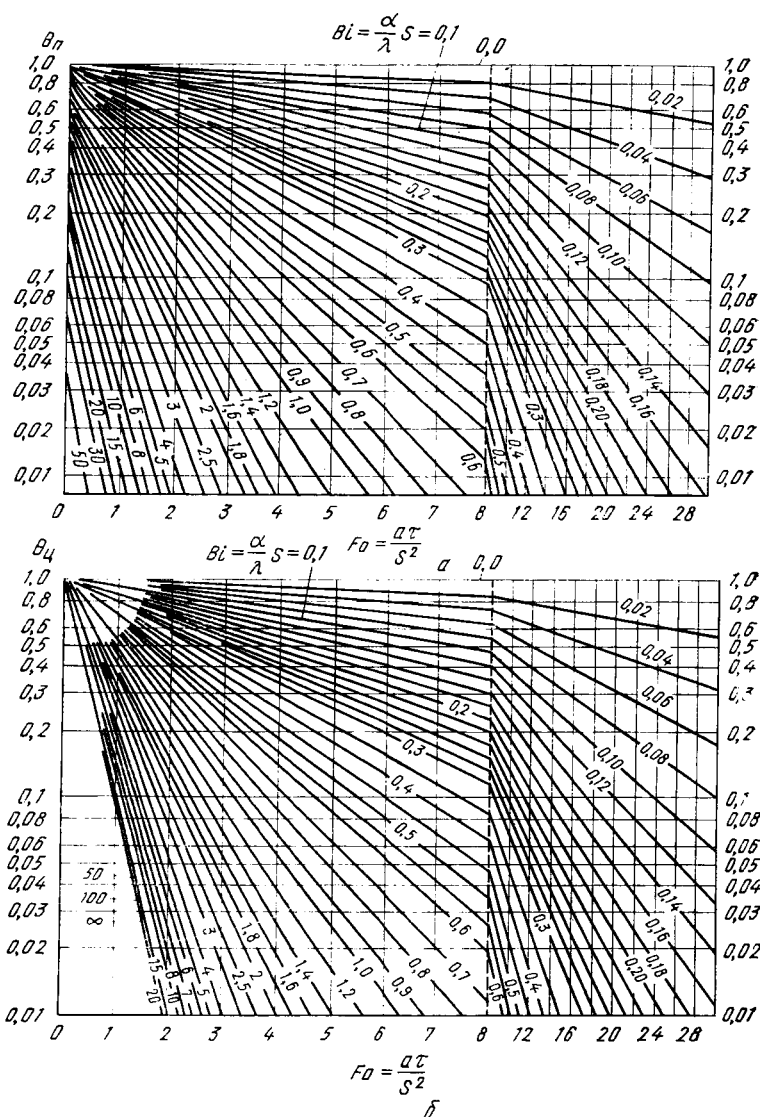


Рис. 2. Вспомогательные графики для расчета нагрева или охлаждения цилиндра:
 a — поверхности; δ — оси (Д. В. Будрин)

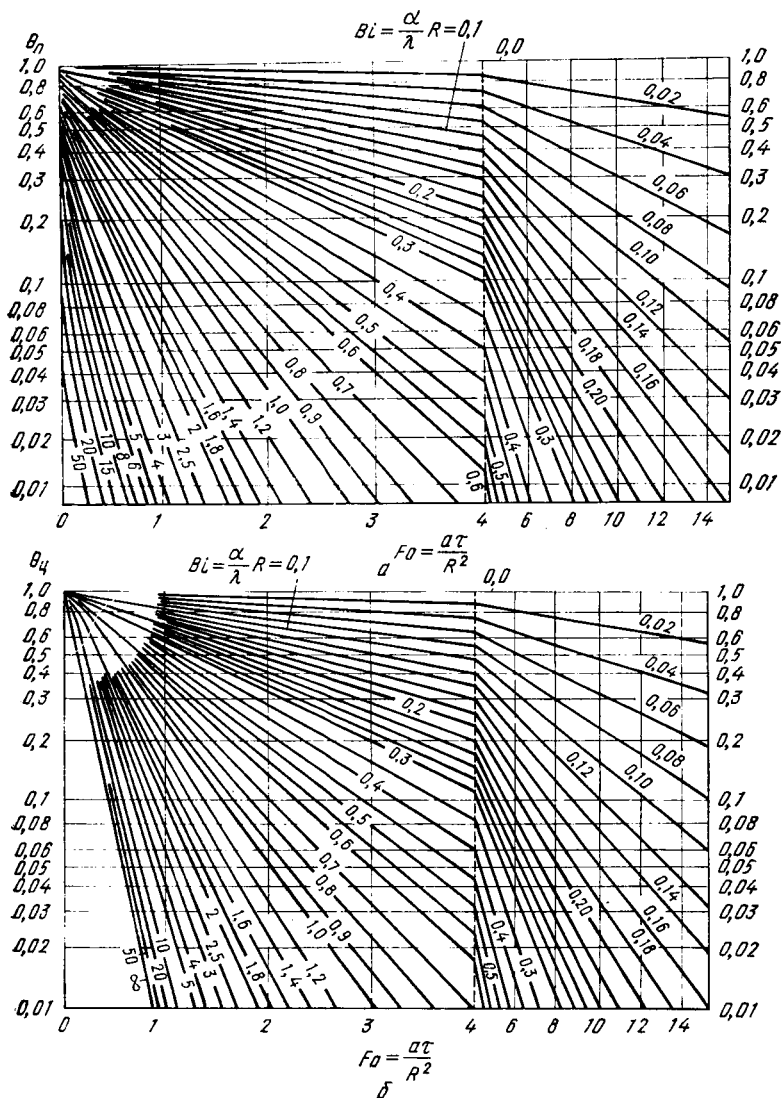


Рис. 3. Вспомогательные графики для расчета нагрева или охлаждения пластины:
 а — поверхности; б — средней плоскости (Д. В. Бударин)

1. Определяют критерии Био и Фурье:

$$Bi = \alpha R / \lambda = \alpha S / \lambda, \quad Fo = a\tau / R^2 = a\tau / S^2,$$

где R и S выражены в метрах:

2. По значениям критериев с помощью графиков (см. рис. 2 или рис. 3) находят температурный критерий θ ;

3. Зная критерий θ , определяют температуру центра (поверхности).

Таким образом, задаваясь определенными промежутками времени τ , можно построить кривую нагрева (охлаждения) для поверхности или оси за весь цикл нагрева.

Определение времени нагрева поверхности $\tau_{\text{пов}}$ или центра $\tau_{\text{цен}}$ тела до заданной температуры:

1. Определяют температурный критерий $\theta = (t_c - t) / (t_c - t_{\text{м.нач}})$.

2. Вычисляют критерий $Bi = \alpha\tau / R^2 = \alpha\tau / S^2$.

3. По значениям температурного критерия θ и критерия Bi находят критерий Fo с помощью рис. 2 или 3.

4. По значениям критерия Fo рассчитывают время нагрева τ , с, по формулам

$$\tau = Fo R^2 / a \quad \text{или} \quad \tau = Fo S^2 / a.$$

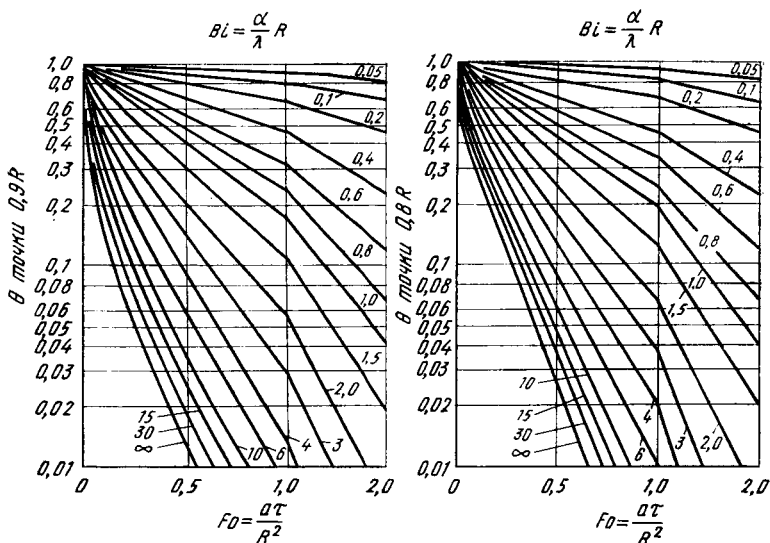
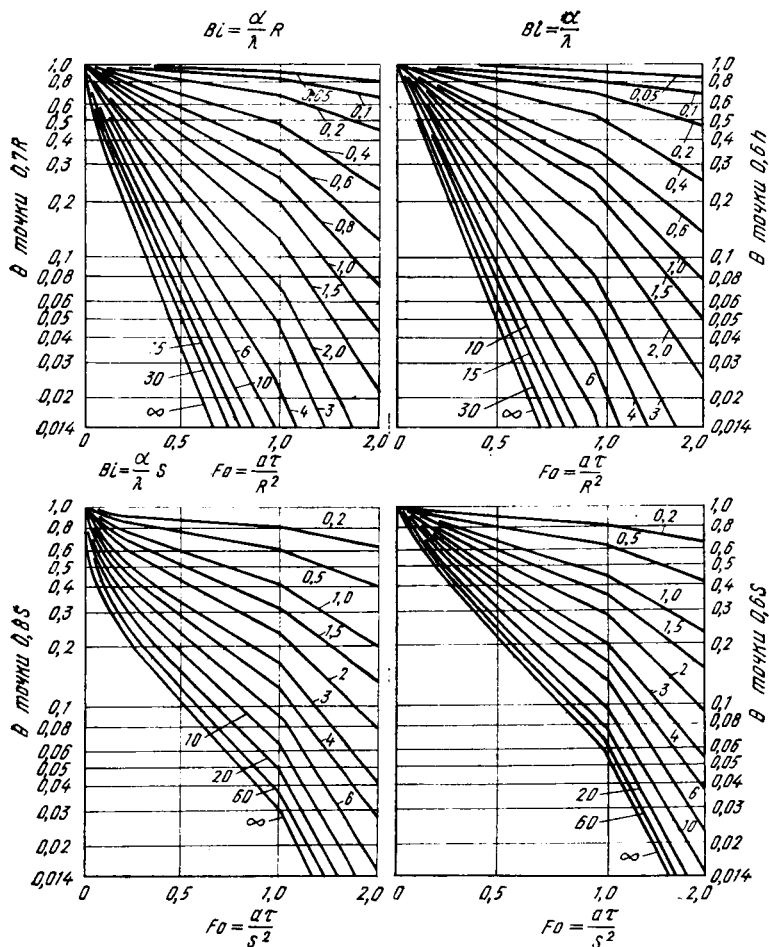


Рис. 4. Вспомогательные графики для расчета нагрева или охлаждения раз
а — 0,9R; б — 0,8R; в — 0,7R; г — 0,6R;

На рис. 4 представлены графики для расчета нагрева (охлаждения) сечений цилиндра $0,9 R$, $0,8 R$, $0,7 R$, $0,6 R$ и плиты размером $0,8 S$ и $0,6 S$, составленные нами по таблицам Русселя.

Изменение температуры по сечению тела необходимо знать при изучении процессов, происходящих при охлаждении (например, при определении прокаливаемости).

Для определения времени нагрева в печи с переменной температурой печь делят по длине на



для сечений цилиндра и пластины:
 $d = 0,8R$; $e = 0,6R$ (К. Н. Соколов)

равные участки. В пределах каждого участка принимают среднюю температуру и считают их постоянной. Таким образом, кривую непрерывного изменения температуры печи заменяют ступенчатым графиком. Расчет времени нагрева ведут по участкам, как в печи с постоянной температурой.

Факторы, влияющие на нагрев изделий

При нагреве изделий следует учитывать температурные напряжения, способ передачи тепла, температуру печи, атмосферу печи, характер ее циркуляции, объем металла, способ укладки деталей и др.

При установлении допустимых скоростей нагрева необходимо учитывать возникающие при нагреве напряжения.

Температурные напряжения. При нагреве максимальные напряжения сжатия будут на поверхности тела, а растяжения — в центре. Поэтому трещины при быстром нагреве преимущественно образуются в центре деталей или заготовок. При нагреве непластичных тел напряжения не должны превышать предела упругости. При температурах выше 500—700 °С сталь обладает значительной пластичностью, при этом даже при больших скоростях нагрева трещин в изделиях не возникает.

При нагреве непластичных тел напряженное состояние будет пропорционально упругой деформации и модулю упругости. Сумма напряжений в каждой точке нагреваемого тела по трем взаимно перпендикулярным направлениям может быть выражена формулой $\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \approx 2\beta E \Delta t / (1 - \mu)$, а максимальные напряжения в одном из направлений

$$\sigma_{\max} = \beta E \Delta t / (1 - \mu), \quad (27)$$

где β — коэффициент линейного расширения нагреваемого металла; E — модуль продольной упругости, МПа; Δt — отклонение температуры данной точки тела от средней температуры всей массы тела; μ — коэффициент Пуассона (для стали $\mu = 0,3$).

При нагреве стальной детали в печи с данной температурой максимальное отклонение $\Delta t_{\max}$ от средней температуры тела выражается следующими формулами:

для пластины на ее поверхности $\Delta t_{\max} = \frac{2}{3}(t_{\text{пов}} - t_{\text{цен}})$;

для цилиндра на его поверхности и в центре $\Delta t_{\max} = \frac{1}{2}(t_{\text{пов}} - t_{\text{цен}})$.

Подставив эти значения в формулу для $\sigma_{\max}$ получим:
для пластины $\sigma_{\max} = \beta E^2 / 3 [(t_{\text{пов}} - t_{\text{цен}}) / (1 - \mu)] \approx \approx \beta E (t_{\text{пов}} - t_{\text{цен}})$;

для цилиндра $\sigma_{\max} = \beta E^{1/2} [(t_{\text{пов}} - t_{\text{цен}}) / (1 - \mu)] \approx \approx 0,7 \beta E (t_{\text{пов}} - t_{\text{цен}})$.

Для стали при температурах до 500 °С произведение $\beta E = 2,5$; оно почти постоянно. Тогда для приближенных расчетов температурных напряжений в области упругих деформаций можно использовать следующие выражения:

для стальной пластины $\sigma_{\max} = 2,5 (t_{\text{пов}} - t_{\text{цен}})$,

для стального цилиндра $\sigma_{\max} = 1,8 (t_{\text{пов}} - t_{\text{цен}})$.

Зная разность температур между поверхностью и центром нагреваемого стального тела, можно определить максимальные температурные напряжения, возникающие в теле, и, наоборот, задавшись допускаемыми напряжениями по пределу упругости стали, можно найти допустимую разность температур, а по ней определить предельную скорость нагрева непластичного тела.

Для снижения температурных напряжений в практике часто используют многоступенчатый нагрев. При этом скорость нагрева в случае высоких температур больше, чем при низких. Разность температур в начале нагрева, т. е. при низких температурах, приводит к возникновению упругих напряжений, а выше 500 °С вызывает пластические деформации.)

Для снижения температурных напряжений в массивных деталях целесообразно предварительно подогревать их до 500—600 °С или передавать с предыдущей операции в горячем состоянии, при этом рекомендуется использовать тепло отходящих газов, что позволит резко увеличить скорость нагрева без лишней затраты топлива. Необходимость подогрева связана с температурными напряжениями в области упругих деформаций. В итоге вопрос об увеличении скоростей нагрева сводится к определению температуры печи, в которую можно поместить данные детали без получения трещин.

Для термической обработки конструкционных сталей с содержанием до 0,4 % С, 1,5 % Сг, 5 % Ni, 1 % W и 1 % Мо вопрос об ограничении температуры в печи температурными напряжениями почти не имеет значения.

Для ускорения нагрева тонких деталей следует проводить скоростной нагрев, повышая перепад между температурой печи и максимальной заданной температурой детали до 150—200 °С, при этом перемещение деталей по печи надо автоматизировать. Массивные детали рационально нагревать в методической печи с обратным распределением температуры, т. е. детали помещать в зону печи с температурой 900—1000 °С с последующим сниже-

нием температуры печи до заданной для поверхности деталей. Особое значение это имеет при нагреве металла в пакетах или ящиках.

Наличие критических точек в стали может оказать некоторое влияние на замедление скорости нагрева и охлаждения в районе температур критических точек. Переход железа α в железо γ идет с поглощением тепла, вследствие чего на кривой нагрева получается температурная остановка (рис. 5, а).

Влияние критических точек на кривую охлаждения показано на рис. 5, б.

При нагреве и охлаждении массивных деталей наблюдается несоответствие расчетных и фактических кривых,

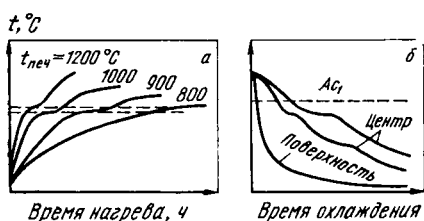


Рис. 5. Влияние критических точек на кривые нагрева стали при разных температурах печи (а) и на кривые охлаждения (б)

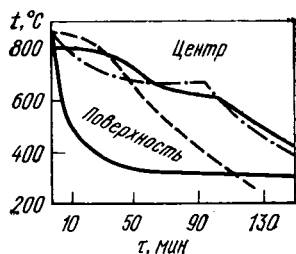


Рис. 6. Кривые охлаждения в масле вала из стали 35ХМ диаметром 700 мм. Сплошные кривые — опытные данные, штриховая — расчетные данные охлаждения центра теплового эффекта, штрих-пунктирная — с учетом теплового эффекта фазовых превращений

особенно для центральных зон деталей. На рис. 6 приведены кривые охлаждения в масле цилиндрического вала из стали 35ХМ диаметром 700 мм. Из рисунка видна значительная разница между расчетной и фактической кривыми. Реальная кривая охлаждения центра вала в интервале температур 650—620 °С имеет замедление охлаждения. Это объясняется выделением теплоты при превращении аустенита в перлит.

Замедление охлаждения, вызванное тепловым эффектом, можно приближенно учесть. Теплота превращения аустенита в перлит равна приблизительно 65 кДж. Тогда в интервале перлитного превращения 650—620 °С должно выделиться 65 кДж/кг, а изменение энтальпии в процессе охлаждения на 30 °С составит $c \Delta t = 0,66 \cdot 30 = 20$ кДж/кг. Если расчетное время охлаждения центра вала диаметром 700 мм в интервале 650—620 °С без учета теплового эффек-

та равно 10 мин, то время превращения растянется примерно на $10 \frac{65}{20} = 32,5$ мин. Внесение указанной поправки сближает расчетную кривую с фактически полученной.

Способ передачи тепла. В случае нагрева излучением в термических пламенных печах степень черноты окисленных изделий $\epsilon_m = 0,7$; при развитии кладки $\omega = 3-5$ коэффициент излучения $C_{г.к.м} = 3,0-3,8$, в среднем $3,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

При нагреве в электрических печах (воздушная атмосфера) $C_{г.к.м} = 3,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$. Металлы со светлой поверхностью (следовательно с малой степенью черноты) нагреваются значительно медленнее, так как часть тепловых лучей отражается их поверхностью.

При нагреве в защитной атмосфере суммарный коэффициент излучения $C_{г.к.м} \approx 1,4-1,6$, поэтому изделия в защитной атмосфере нагреваются медленнее.

Коэффициент теплопроводности медных сплавов в 3—4 раза больше, чем у железа, но из-за малой степени черноты изделия из них нагреваются в 2—2,5 раза медленнее, чем сплавы железа. Для повышения степени черноты деталей со светлой поверхностью иногда целесообразно перед нагревом зачернить их поверхность.

В термических печах, в которых основная доля тепла передается преимущественно излучением (нагрев под закалку, нормализацию), детали следует располагать в один ряд. Детали цилиндрической формы (трубы, валы и др.) размещают на поду печи без зазоров, подводя тепло сверху и снизу; детали, по форме приближающиеся к прямоугольнику или квадрату, для получения максимальной производительности печи детали располагают на поду печи с зазорами, равными $0,3-0,5$ их толщины, что способствует дополнительному поглощению тепла боковыми стенками деталей. В этом случае время нагрева составляет около $0,55-0,65$ от времени нагрева сплошной плиты той же толщины.

Садка печи. Укладка изделий. В печах с большой садкой, предназначенных для отжига, главную роль при нагреве играют выравнивание температуры по объему садки, время разогрева стенок свода и пода печи. Поэтому в таких печах нагрев отдельной детали не определяет общего времени нагрева садки. Для печей при садках 3—5; 10—30; 50 т и выше можно применять соответственно скорости нагрева $150-200$; $100-120$; $50-70^\circ \text{C}/\text{ч}$. Изделия размещают с зазорами, обеспечивающими движение нагреваю-

щих газов в толще садки. Сортной металл укладывают с прокладками не менее 30—40 мм на каждые 200 мм высоты загрузки.

При отжиге отливок средняя масса металла садки на 1 м² площади пода составляет ~1,0—1,5 т, а при отжиге сортового металла и поковок ~2—3 т. Время выдержки при отжиге зависит от массы садки и температуры печи. Оно уменьшается в печах с более совершенной конструкцией, обеспечивающей циркуляцию и рециркуляцию печной атмосферы.

Общее время нагрева и производительность печей для газовой цементации и азотирования почти не зависят от времени нагрева одной детали, поэтому в таких печах необходимо стремиться к возможно большей загрузке их, размещая детали в несколько рядов. Время выдержки при цементации и азотировании определяется глубиной слоя. В цементационных печах непрерывного действия на 1 м² поддона можно разместить в среднем до 500—600 кг деталей.

При нагреве в печах с температурой 600 °С и ниже (для закалки алюминиевых сплавов, отпуска, старения) значительное количество теплоты передается изделию конвекцией, поэтому скорости движения газов или нагретого воздуха следует повышать до 8—10 м/с с помощью вентиляторов. В этом случае садку надо размещать по всему объему рабочего пространства печи, разделяя детали прокладками, обеспечивающими равномерное омывание их циркулирующей атмосферой.

При нагреве в жидких средах (соляных и масляных ваннах) расчет отдельных деталей можно проводить теми же способами, что и в печах, учитывая, что средний коэффициент теплоотдачи в жидких ваннах относительно велик [400—600 Вт/(м²·К)]. При нагреве в жидких средах тепловое сопротивление внешней среды $1/\alpha_c$ по сравнению с внутренним сопротивлением мало, поэтому время нагрева определяется толщиной нагреваемого тела и соотношением его объема и поверхности.)

Особенностью нагрева в жидких средах является образование в первый момент на поверхности металла слоя закристаллизованной соли, свинца, загустевшего масла. Наличие этой корочки резко снижает коэффициент теплоотдачи. Закристаллизовавшийся слой исчезает лишь с повышением температуры поверхности металла, когда она будет получать тепла от окружающей среды больше, чем сама отдавать металлу. При низких температурах

жидкой среды этот период может занимать половину, а иногда и больше всей продолжительности нагрева. Это необходимо учитывать при расчетах времени нагрева в жидких средах.

В ваннах с псевдокипящим слоем средний коэффициент теплоотдачи составляет 400—500 Вт/(м²·К).

К внешнему источнику тепла в нагревательных аппаратах прибегают при поверхностной закалке газокислородным пламенем, а в последнее время начинают применять нагрев плазмой, лучом лазера и электронной пушки.

2. Нагрев внутренним источником тепла

Из способов нагрева внутренним источником тепла промышленное применение получили непосредственный электроннагрев пропусканием тока через изделие, индукционный, нагрев в электролитах и др.

Данные способы нагрева принципиально отличаются от нагрева в печах и ваннах, в которых тепло передается от внешней среды к поверхности изделия. При нагреве внутренним источником тепло в изделиях генерируется в самом металле при помощи электрического тока или быстро меняющегося электромагнитного поля. В этом случае скорость нагрева определяется мощностью установки, при увеличении которой можно достичь весьма высоких скоростей нагрева. Так, при непосредственном пропускании электрического тока через стальной прут диаметром 10 мм скорость нагрева составляет 1000 °С/с. Время нагрева токами высокой частоты и в электролитах равно 3—5 с. Исключительно высокая скорость образования аустенита при этих способах нагрева объясняется большим количеством генерируемой энергии внутри нагреваемого изделия, что создает благоприятные условия для процессов фазовых превращений, идущих при нагреве с поглощением тепла.

При сквозном нагреве в случае непосредственного пропускания тока или нагрева с помощью т. п. ч. изделие нагревается одновременно во всех участках. Поэтому разность температур по сечению изделия будет ничтожно малой, и возможен быстрый нагрев без образования трещин. При поверхностном нагреве с помощью т. в. ч. разность температур нагретых поверхностных слоев и холодных внутренних слоев может достигать до 900 °С и выше, но трещин не образуется.

Индукционный нагрев или нагрев электрическим током по сравнению с нагревом в печах имеет ряд преимуществ, основные из которых заключаются в следующем: 1) сохраняется мелкое зерно аустенита при нагреве до высоких температур, что дает возможность получения более высоких механических свойств, особенно значений ударной вязкости. Ударная вязкость в хромоникельмолибденовых сталях при данном временном сопротивлении возрастает в 1,5—2 раза; 2) окисленный и обез-

углероженный слой нагреваемого изделия незначительные; 3) установки имеют более высокий к. п. д.; 4) электронагрев открывает перспективу замены сложнoleгированных сталей более простыми или углеродистыми.

В ряде случаев при поверхностной закалке используется самоотпуск теплом, оставшимся в изделии после нагрева.

Положение критических точек при сверхбыстром электронагреве зависит от исходной структуры. При высокодисперсной исходной структуре (троостит, отпущенный мартенсит) положение критических точек меняется мало по сравнению с равновесными значениями. При грубой исходной структуре образование аустенита и переход избыточной фазы в раствор начинаются значительно выше равновесных критических точек и развиваются в некотором температурном интервале, который с увеличением скорости нагрева смещается к более высоким температурам, иногда на 100—120 °C выше равновесных критических точек.

В этом случае время нагрева зависит от мощности применяемых установок: чем больше выбранная мощность, тем меньше время нагрева.

Конструкции применяемых аппаратов определяются способом выбранного нагрева (непосредственное пропускание тока, контактный нагрев, индукционный нагрев и др.) и методом нагрева (одновременный, последовательный, непрерывно-последовательный). Методы нагрева, конструкции аппаратов, определение времени нагрева и мощности установок описаны в литературе.

Применение нагревательных аппаратов, кроме резкого сокращения производственного цикла, позволяет провести полную автоматизацию процесса и разместить оборудование для термической обработки в потоке механосборочных цехов.

3. Способы охлаждения

Закалка стальных изделий на мартенсит. Для этого необходимо переохлаждение аустенита со скоростями выше верхней критической скорости $v_{в.к.с.}$ В качестве закалочных сред используют воду, масло и их растворы, изменяющие агрегатное состояние в процессе охлаждения. В этом случае охлаждение нагретого изделия происходит в три этапа.

Периоды охлаждения. В начальный момент погружения нагретого изделия (первый период) на его поверхности образуется устойчивая паровая рубашка из паров ох-

лаждающей жидкости (период парообразования). Благодаря низкой теплопроводности пара изделие изолируется от охлаждающей среды и скорость охлаждения замедляется. Когда количество тепла, отнимаемого жидкостью, становится больше количества тепла, отдаваемого нагретым металлом, паровая рубашка становится неустойчивой; она часто нарушается и жидкость приходит в непосредственное соприкосновение с поверхностью нагретого металла. Частицы жидкости обращаются в пар, отнимая на процесс парообразования значительное количество тепла. Пузырьки пара, поднимаясь вверх и встречая холодную жидкость, конденсируются, передавая тепло охлаждающей жидкости. Происходит энергичное движение жидкости и наступает второй период охлаждения — кипение жидкости. Коэффициент теплоотдачи от поверхности изделия к движущейся кипящей жидкости возрастает в десять раз, составляя от 2000 до 6000 Вт/(м²·К). Поэтому в период кипения жидкости поверхность изделия интенсивно охлаждается. Период кипения продолжается до достижения поверхностью охлаждаемого изделия температуры несколько ниже точки кипения охлаждающей жидкости. Процесс парообразования прекращается и передача тепла от поверхности охлаждаемого изделия к жидкости совершается теплопроводностью и конвекцией. В третий период охлаждения интенсивность теплоотдачи вновь резко падает.

На рис. 7 приведены кривые охлаждения в воде и минеральном масле стального шарика диаметром 20 мм, нагретого до 800 °С. Максимальная скорость охлаждения в масле при температурах 450—500 °С, а в воде при 300—350 °С. Продолжительность первого и второго периодов охлаждения сравнительно невелики. Охлаждение поверхности даже весьма массивных деталей происходит относительно быстро. Так, поверхность вала диаметром 500 мм из стали 35ХМ охлаждается в масле до 350 °С за 10 мин, в то время как охлаждение до этой температуры центра вала требует 150 мин. Первые два периода охлаждения чрезвычайно важны для результатов закалки, так как от них зависит степень переохлаждения аустенита и формирование структуры. Третий этап охлаждения, занимая более 90 %

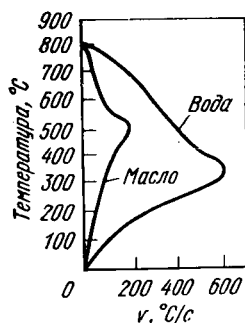


Рис. 7. Кривые охлаждения стального шарика диаметром 20 мм, в воде и масле

всего периода охлаждения, определяет время выдержки нагретого металла в охлаждающей среде.

Скорость охлаждения. Она зависит от физических свойств жидкости: точки кипения, скрытой теплоты парообразования и вязкости.

Низкая точка кипения жидкости способствует ускорению охлаждения, увеличивая температурный интервал интенсивного кипения жидкости. В этом случае большая часть тепла отнимается от изделия в условиях повышенного коэффициента теплоотдачи. При более низкой точке кипения поддерживается и более низкая температура на поверхности изделия, что ускоряет теплоотвод от внутренних слоев металла.

Повышенная вязкость закалочной жидкости замедляет скорость охлаждения изделия, ухудшая условия кипения жидкости. С повышением температуры вязкость жидкости уменьшается, поэтому желательно, чтобы закалочные масла имели температуру 40—80°C. При этом резко снижается вязкость, что способствует ускорению охлаждения. Применение масел, нагретых до более высоких температур, мало влияет на понижение вязкости, но увеличивает опасность вспышки благодаря местным перегревам. Поэтому при закалке в масле его температуру поддерживают в пределах 40—80°C, применяя охлаждение масла.

Высокая скрытая температура парообразования увеличивает количество отнимаемого от изделия тепла, ускоряя тем самым его охлаждение.

Теплопроводность и теплоемкость охлаждающей жидкости относительно мало влияют на процесс охлаждения. При большой теплопроводности и теплоемкости в меньшей степени повышается температура жидкости вблизи охлаждаемого изделия. Поэтому между охлаждающей средой и поверхностью изделия поддерживается относительно большая разность температур.

Охлаждающая среда. Из всех практически применяемых охлаждающих сред наименьшую вязкость, наинизшую точку кипения, наибольшие скрытую теплоту парообразования, теплоемкость и теплопроводность имеет вода, которая и является наиболее энергичным охладителем. Используя воду, можно закалить большинство сталей. Однако при закалке в воде углеродистых сталей с содержанием свыше 0,6 % C, а легированных сталей с еще меньшим содержанием углерода могут получаться трещины.

Резкое охлаждение стали ведет к появлению больших

внутренних напряжений, поэтому в практике стремятся подобрать для закалки такую среду, которая была бы достаточной для получения структуры мартенсита и в то же время давала бы меньшие внутренние напряжения.

Основные напряжения при закалке получаются в процессе мартенситного превращения, которое идет с резким увеличением удельного объема (до 3 %) и дает структуру с весьма малыми пластическими свойствами.

Реальная возможность появления трещин возникает при температурах 200—100 °С, когда образуется значительное количество мартенсита. Участки аустенита блокируются мартенситными пластинами, и пластичность стали резко падает. Вследствие неодновременности охлаждения поверхности и внутренних слоев изделия наряду со структурными напряжениями возникают и температурные напряжения.

Идеальная закалочная жидкость должна позволить осуществить высокую скорость охлаждения в перлитно-трооститном и бейнитном интервалах температур, чтобы переохладить аустенит до мартенситной точки, и возможно низкую скорость охлаждения в мартенситном интервале. Меньшая скорость охлаждения в мартенситном интервале снижает напряжения еще и вследствие самоотпуска мартенсита.

Для фиксации пересыщенного твердого раствора в алюминиевых сплавах необходимы высокие скорости охлаждения при температурах 500—300 °С и замедленное охлаждение при 200—20 °С с целью снижения остаточных напряжений.

Ниже приведены скорости охлаждения, °С/с, получаемые при закалке небольших стальных образцов в различных средах в перлитно-трооститном (650—550 °С) и мартенситном (300—200 °С) интервалах температур:

	650—550 °С	300—200 °С
Вода, °С:		
18	600	270
30	500	270
50	100	170
75	30	200
Вода + 10 % NaOH	1200	300
» 10 % NaCl	1100	300
» 10 % H ₂ SO ₄	750	300
» 10 % Na ₂ CO ₃	800	270
» 5 % KMnO ₄	450	100
Глицерин	135	175

Растительные масла (в среднем)	200—150	25—40
Сурепное масло	200	35
Минеральные масла (в среднем)	100—150	20—50
Минеральное машинное масло	100	18—15
Трансформаторное масло	120	25
Медные плиты	60	30
Железные плиты	35	15
Сжатый воздух	30	10
Спокойный воздух	3	1

Закалка в воде. Вода обеспечивает высокую скорость охлаждения в мартенситном интервале, при этом качество ее почти не меняется от нагрева и добавок.

При температуре воды выше 40 °С в случае закалки образцов малых размеров резко снижается скорость охлаждения в перлитно-трооститном интервале и уменьшается ее закаливающая способность. При температуре воды до 75 °С и выше скорость охлаждения в интервале 650—550 °С достигает только 30 °С/с, тогда как скорость охлаждения в мартенситном интервале остается на уровне 200 °С/с. Это объясняется образованием устойчивой паровой рубашки и смещением максимума скорости охлаждения поверхности изделия к низким температурам — около 250 °С (рис. 8).

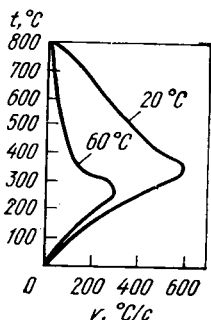


Рис. 8. Зависимость скорости охлаждения от температуры охлаждающей среды

Для конструкционных высоколегированных сталей с малой устойчивостью аустенита в области второй ступени важно создать высокую скорость охлаждения в интервале температур 450—300 °С. В этом отношении при закалке

массивных изделий может оказаться полезным даже некоторый подогрев закалочной среды и применение добавок, смещающих максимальную скорость охлаждения к более низким температурам (350—250 °С).

Для конструкционных высоколегированных сталей более целесообразно проводить сравнение охлаждающей способности закалочных сред при температурах 300 °С. Скорость охлаждения в перлитно-трооститном интервале первой ступени, равная 30—50 °С/с, достаточна для подавления перлитно-трооститного распада. Увеличение же скорости охлаждения при 400—300 °С способствует подавлению превращения по типу бейнита.

Закаливающую способность воды можно увеличить в 1,5—2 раза добавками солей и кислот. Этим обстоятельством широко пользуются на практике. Добавлением к закаливающей воде 5—10 % поваренной соли удается избежать пятнистой закалки сталей с мало устойчивым аустенитом. Наоборот, удаление из воды солей (дистиллированная вода) ведет к уменьшению ее закаливающей способности. Растворение в воде газов снижает охлаждающее действие воды. Насыщение воды углекислым газом понижает скорость охлаждения при 650—550 °С в 3—5 раз. Вода, насыщенная газами, дает крайне неравномерное охлаждение и способствует появлению мягких пятен. Вода, уже применявшаяся для закалки, охлаждает энергичнее, так как она в процессе закалки выделила часть растворенных в ней газов.

Особенно резко уменьшает закаливающую способность воды эмульсия масла и добавка мыла. Недостаток масляных эмульсий — высокая скорость охлаждения в мартенситном интервале и неустойчивость закаливающей способности во времени.

Закалка в масле. После воды наиболее распространенными закалочными средами являются масла. Основное их преимущество по сравнению с водой в резком уменьшении скорости охлаждения в мартенситном интервале (ниже 300 °С), что снижает величину внутренних напряжений, уменьшает склонность к закалочным трещинам и дает меньшую деформацию. Однако в 3—4 раза уменьшается и скорость охлаждения в перлитно-трооститном интервале, что снижает закаливающую способность масел. Поэтому в масле можно закаливать лишь легированные стали с устойчивым аустенитом и высокоуглеродистые стали с содержанием выше 0,7 % С. Закаливающая способность масел мало меняется при их нагреве в интервале 40—100 °С. Недостатки масел, как закаливающей среды заключаются в изменении свойств с течением времени и легкой загоряемости. Температура вспышки закалочных масел не должна быть ниже 160 °С.

Таким образом, как вода, так и масло не могут служить идеальной закалочной средой. Вода при высокой скорости охлаждения в перлитно-трооститном интервале имеет высокую скорость охлаждения и в мартенситном интервале. Закалочные масла, давая резкое уменьшение скорости охлаждения в мартенситной зоне, снижают закаливающую способность благодаря малой скорости охлаждения в перлитно-трооститном интервале.

Проведено большое количество исследований, целью которых было уменьшить путем введения различных добавок скорость охлаждения воды при температурах ниже 300 °С и повысить охлаждающую способность масел в перлитно-трооститном интервале (650—500 °С).

Закалка в воде с добавкой жидкого стекла. Хорошие результаты были получены при добавке к воде жидкого стекла (силикат $\text{Na}_2\text{O} : \text{SiO}_2 = 1 : 2,5$, плотность 1,5). Жидкий силикат разбавлялся водой до плотности 1,1—1,2 (1 л жидкого стекла на 5—6 л воды). Закаливающая способность растворов жидкого стекла приближается к воде, в то же время охлаждающая способность при низких температурах снижается вследствие образования на изделии пенистой оболочки, действующей как теплоизолирующий слой. Изделие, извлекаемое из водного раствора силиката при температурах ниже 200—150 °С, имеет лакообразную пленку. Водные растворы силиката имеют невысокую стоимость (20—25 руб/т), негорючи, но не дают постоянства результатов закалки вследствие малой стабильности раствора. Применение водных растворов силиката в конвейерных установках способствует сильному износу движущихся частей.

Закалка в среде с добавкой ПАВ. Охлаждающую способность масел в перлитно-трооститном интервале можно увеличить воздействием различных поверхностно-активных веществ — наftenатов кальция, сульфонов кальция и натрия, алекинилсукцинимида и др. Повышенную скорость охлаждения имеют масла с парафино-наftenовой основой. Разработаны специальные сорта закалочных масел с повышенной скоростью охлаждения в интервале 350—400 °С (МЗМ-16, МЗМ-26, МЗМ-120) и светлокалящие масла МЗМ-Б, МГЗ, ВЗ-1. Однако в производственной практике указанные добавки широкого применения пока не нашли.

Закалка в средах с добавкой органических полимеров. В качестве закалочных сред используют водные растворы органических полимеров, охлаждение в которых происходит со скоростями, средними между водой и маслом, или как масло. К таким полимерам относятся аквапласт (ГДР), юкон (США) и др., растворимые в количестве 0,6—1,0 %. В нашей промышленности нашли применение: водные растворы полимера ПК2 (железосодержащие полиакриловую кислоту) в количестве 1,0—1,5 % при нейтрализации NaOH; ПАА (полиакриламид) в количестве 1,5 %; 30—35 %-ный водный раствор бишофита, водный раствор Na-КМЦ (натриевая соль карбоксиметилцеллюло-

зы) в количестве 1,5 % с добавкой 0,5—1 % буры или NaCl (рекомендуется для закалки крупных деталей), а также 5—10 %-ные водные растворы сульфитного щелока, 6—10 %-ный раствор моносльфитного щелока (МСЩ) с добавкой 1 % фенола или 0,5 % медного купороса для предотвращения брожения и др. Стоимость добавок колеблется в пределах 10—20 руб/т, т. е. в 15—10 раз дешевле масла. Указанные добавки дают высокую скорость охлаждения в перлитно-трооститном интервале и малую — в мартенситном. Применение синтетических растворимых в воде присадок является перспективным направлением в изыскании новых закалочных сред. Однако пока эти среды не являются универсальными, а используются в определенных конкретных условиях. При температурах водного раствора 50—60 °С их охлаждающая способность снижается.

Закалка в водо-воздушной среде. Широкое применение получает применение водо-воздушных сред. Изменяя соотношения количества воды и воздуха и их давления, можно изменять скорости охлаждения в широком диапазоне — от воды до воздуха. В этом случае обычно используют спрей-ерное охлаждение с помощью специальных форсунок. Этот способ применяется для охлаждения при закалке или сорбитизации труб, листов, профилей проката, рельсов, поверхностной закалке после нагрева т. в. ч. и др.

При струйном водяном и водо-воздушном охлаждении поверхность изделия омывается водяной пылью, что исключает образование паровой рубашки, перегрева жидкости и увеличивает скорость охлаждения.

Охлаждение в быстродвижущемся потоке воды. При упрочнении проката (прутков, проволоки и др.) применяют охлаждение в быстродвижущемся потоке воды. При этом охлаждаемое изделие проходит в трубе или камере, а скорость воды, омывающей изделие, доводят до 15—30 м/с.

Закалка на воздухе. В случае закалки высоколегированных сталей с весьма устойчивым аустенитом (типа 18Х2Н4МА) рационально использовать как охлаждающую среду для закалки воздух, при этом можно совместить закалку с правкой в специальных машинах.

Охлаждение в расплавах. При патентировании проволоки, ступенчатой и изотермической закалке в качестве охлаждающих сред применяют расплавы селитр (NaNO_3 , KNO_3 и др.) и едких щелочей (NaOH , KOH). Для закалки преимущество имеют расплавы едких щелочей, так как они обладают большой скоростью охлаждения (выше чем

в масле) вследствие испарения кристаллизационной воды.

Специальные способы охлаждения. Для снижения в деталях напряжений используют специальные методы закалки — прерывистую в двух средах, ступенчатую, изотермическую, подстуживание и др.

В случае прерывистой закалки изделие сначала охлаждают в интенсивно охлаждающей среде, а при достижении температуры мартенситного превращения переносят его в среду с малой скоростью охлаждения. Углеродистые и низколегированные стали закалывают через воду в масло, а легированные стали после охлаждения в масле до 150—200 °С — на воздухе. Продолжительность выдержки изделия в воде зависит от марки стали, размеров изделия; их определяют опытным путем.

Иногда охлаждение в закалочной среде прерывают с целью получения закалки с самоотпуском за счет остающегося в изделии тепла. Это часто проводится при спрейерном охлаждении.

В случае массивных изделий охлаждение в одной среде прерывают несколько раз, применяя периодически повторяющиеся закалку с купанием изделий, что способствует более полной закалке.

Ступенчатая закалка заключается в выдержке в области устойчивого аустенита при охлаждении изделия после аустенизации. В результате последующего охлаждения сталь имеет структуру мартенсита. При этом уменьшаются температурные и снижаются структурные напряжения благодаря резкому понижению температурного перепада по сечению изделия при закалке. Выдержку проводят при температуре несколько выше мартенситной точки. Для сталей, имеющих устойчивую область переохлажденного аустенита, — между первой и второй ступенями распада (для быстрорежущих сталей при 500—550 °С).

При изотермической закалке используется непосредственный распад переохлажденного аустенита в бейнитной ступени при температурах ниже 400—450 °С, но выше точки M_n с получением структуры бейнита, обладающего повышенной пластичностью и вязкостью. В этом случае снижаются как температурные, так и структурные напряжения, последние вследствие меньшего изменения объема при бейнитном превращении. Нагрев для аустенизации сталей проводят при температурах выше критических точек. Следует избегать получения верхнего бейнита, значительно снижающего вязкие свойства даже после высоко-го отпуска.

В легированных сталях с устойчивым аустенитом для снижения напряжений применяют подстуживание перед закалкой до температур, при которых еще не происходит распада аустенита по перлитной ступени. В ряде сталей подстуживание применяется как метод борьбы с остаточным аустенитом вследствие выделения карбидов и некоторого понижения в аустените содержания углерода и легирующих элементов.

Для уменьшения коробления при закалке тонких изделий (дисков, конических шестерен, кулачковых валиков, листов рессор и т. п.) применяют закалочные прессы, закалочные и гибозакалочные машины. Для устранения коробления пружин иногда их закаливают на специальных оправках.

При закалке длинных изделий (например, рельсов) используют тепловую правку — закалку их в изогнутом состоянии (для рельса изогнутом на подшву) с тем, чтобы после охлаждения изделие получалось прямым. Можно использовать для снижения напряжений и коробления явление сверхпластичности при начале фазового превращения аустенита в мартенсит. Для этого изделие закаливают в прессах, а зажимают его в штампах спустя некоторое время — при достижении поверхностью температуры начала мартенситного превращения. Для борьбы с короблением изделий типа дисков, тормозных колец и др. с короблением применяют отпуск в нагревательных плитах под нагрузкой.

Закалка с использованием тепла и структурного состояния предшествующих тепловых процессов (например, после прокатки, прессования,ковки) перспективна для упрочнения изделий. В этом случае необходимо выдерживать температуру конца деформации около критической точки A_{c3} . Наиболее высокие значения свойств получаются после деформации в последних проходах до 20 %.

Отсутствие изменения размеров деталей при закалке характерно для недеформирующихся сталей типа ХВГ и Х12М. В этом случае увеличение объема при закалке компенсируется остаточным аустенитом, имеющим наименьший объем. При соблюдении равенства объемов $V_{\text{отж}} = V_{\text{март}} + V_{\gamma_{\text{ост}}}$ получим отсутствие изменения размеров.

При очень высоких скоростях охлаждения из жидкого состояния (порядка 10^5 — 10^6 °C/c) у некоторых сплавов удается получить аморфное состояние, избежав процесса кристаллизации. Такие сплавы не имеют дефектов, свойственных кристаллическим сплавам, — концентрацион-

ной неоднородности и др. Аморфные сплавы (металлические стекла) имеют очень высокие прочностные свойства. Твердость достигает HV 7000—10000, временное сопротивление до 3000 МПа, предел текучести до 2000 МПа, при этом удлинение снижается до 0,1—0,2 %. Однако сплавы поддаются холодной прокатке без существенного упрочнения, а низкая пластичность проявляется лишь в макрообъемах. Резко увеличивается сопротивление износу и коррозии, отсутствует коррозионное растрескивание, повышаются электрическое сопротивление, магнитная проницаемость, индукция насыщения, значительно снижается магнитострикция.

Перспективным является аморфное состояние металла, получаемого путем оплавления поверхностного слоя с помощью лучей лазера на глубину до 50 мкм и последующей закалки. Необходимая для этого мощность должна быть более 1 кВт, диаметр светового пятна 3—5 мм, для чего можно использовать установку ЛТ1-2.

Пока широкое применение аморфных сплавов затруднено получением больших скоростей охлаждения и высокой их стоимостью.

Глава II

ДЕФЕКТЫ СПЛАВОВ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Одной из задач социалистического производства является систематическое повышение качества продукции. Качество продукции — это степень соответствия требованиям установленных стандартов. Нарушение одного из требований к продукции в исходном состоянии или в готовом виде приводит к браку. В СССР разработан ряд систем управления качеством продукции, которые включают технические, экономические и социальные мероприятия. В последнее время применяют комплексные системы контроля качества, обеспечивающие бездефектное изготовление продукции, ее качество и надежность.

На предприятиях, внедривших комплексную систему, резко сокращаются потери от брака, увеличивается количество изделий, аттестуемых высшей категорией качества, снижается стоимость продукции. Основными элементами управления качеством являются требования государственных стандартов СССР (ГОСТ) и отраслевых стандартов (ОСТ), а для новых видов продукции, на которые нет стандартов, — Технических условий (ТУ), заключаемых между поставщиком и потребителем. Кроме национальной стандартизации, все большее значение получает международная стандартизация (орган ИСО) и стандартизация по линии СЭВ. Работа в направлении стандартизации новых материалов, методов и пересмотр действующих стандартов ведется непрерывно. Руководство всеми работами по стандартизации осуществляется Государ-

ственным комитетом СССР по стандартам. Стандарты содержат совокупность показателей, которые определяют качество и надежность металла и изделий.

Ниже рассматриваются возможные дефекты сплавов и контроль качества по предупреждению выпуска бракованных изделий с разработкой мероприятий, снижающих или устраняющих брак.

1. Дефекты металлургического происхождения

Легирующие элементы, затрудняя диффузионные процессы при кристаллизации слитка, обуславливают сильно развитую зональную и дендритную ликвацию, а также способствуют образованию пороков, проявляющихся при дальнейшей горячей обработке металла и в готовых изделиях. Кроме зональной и дендритной неоднородности, легированные стали и сплавы склонны к образованию флокенов, трещин, расслоев, волосовин, нафталинистого, камневидного и шиферного изломов. Чем больше масса слитка и степень его легированности, тем ярче проявляются пороки.

Зональная и дендритная неоднородность

При первичной кристаллизации сталей и некоторых сплавов первые кристаллы (в том числе оси дендритов) содержат меньше углерода и примесей. В легированных сплавах процессы диффузии не успевают во время охлаждения выравнивать химический состав. В результате возникает зональная и дендритная неоднородности, хорошо выявляемые травлением. Очень часто им сопутствуют газовые микро- и макропузыри.

Сплавы с высокой неоднородностью склонны при пластической деформации к образованию волокнистой структуры, полосчатости микроструктуры, карбидной неоднородности и т. п. Строчечность и волокнистость структуры обуславливают неодинаковые механические свойства вдоль и поперек прокатки.

Зональную и дендритную ликвацию, карбидную неоднородность, газовые и неметаллические включения на металлургическом заводе оценивают при плавочном контроле по соответствующим шкалам ГОСТов.

Борьбу с зональной ликвацией следует вести путем воздействия на процессы кристаллизации слитка, а также подбором соответствующих обжатию при пластической деформации.

Уменьшить дендритную ликвацию слитка можно. Для этого его надо подвергнуть гомогенизационному (диффузионному) отжигу.

Неметаллические включения

Неметаллические включения являются продуктами реакций, происходящих в процессе выплавки и раскисления сплавов. Кроме того, они попадают в слиток из футеровки и шлака. Основные виды включений: оксиды (FeO , MnO , Al_2O_3 и более сложные), силикаты (SiO_2 , $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$), чаще сложные с железом, марганцем и алюминием) и сульфиды (FeS , MnS и др.). Значительное количество включений снижает механические свойства изделий. После прокатки они часто имеют строчечное расположение, что вызывает различие свойств вдоль и поперек изделия. Кроме того, они могут стать причиной расслоения металла и образования волосовин. Применение электроплавки и электрошлакового переплава (ЭШП) снижает содержание включений и вредных примесей (S и P).

Флокены

Они представляют собою мелкие трещинки, а при совпадении излома с плоскостью трещинки имеют вид белых пятен овальной формы размерами от 0,5 до 50 мм. Ширина трещинок достигает сотых долей миллиметра. Флокены, подобно острым надрезам, резко снижают механические свойства металла и эксплуатационную стойкость деталей, поэтому их присутствие в слитке совершенно не допустимо. При обнаружении флокенов бракуется вся плавка.

Флокены обнаруживаются преимущественно в легированных конструкционных сталях (хромоникелевых, хромоникельмолибденовых и др.) после горячей пластической деформации (прокатки,ковки,штамповки). Весьма редко они образуются в литых сталях и сталях с аустенитной, ферритной и ледебуритной структурами. Однако флокены встречаются и в рельсах, изготовленных из углеродистой стали. Флокены преимущественно поражают центральные зоны стальных деталей и с увеличением размеров деталей их число растет. Образование флокенов в стали связывают с повышенным содержанием водорода (свыше $3\text{--}4 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ металла), а при значительной ликвации в стали и при меньших его количествах. При охлаждении стальных изделий резко падает растворимость водорода в железе. Водород, выделяясь из твердого раствора, сосредоточивается на дефектах кристаллической решетки, межфазных границах, дислокациях и переходит из атомарной (протонной) формы в молекулярную, которая не способна к диффузии. Накопление водорода резко повышает давление, которое может

превзойти временное сопротивление стали и вызвать разрывы в местах накопления водорода. Образованию флокенов способствует возникновение растягивающих напряжений.

Резкий скачок в снижении растворимости водорода при охлаждении происходит при превращении $\gamma \rightarrow \alpha$, при этом скорость диффузии водорода в α -фазе возрастает. Поэтому борьбу с флокенами ведут, замедляя скорость охлаждения в интервале фазовых превращений или проводя изотермическую выдержку при $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращении. Иногда флокены проявляются и при температурах ниже 200 °С и даже при комнатной.

Водородная хрупкость

В цветных сплавах (меди, алюминия, магния, титана) насыщение металла водородом приводит к водородной хрупкости. Кроме молекулярного водорода, в сплавах образуются его соединения — гидриды, а также соединения с примесями и легирующими элементами, снижающие пластичность сплавов. Водород способствует также образованию пористости. В некоторых сплавах в результате реакции водорода с кислородом на границах зерен могут образовываться пары воды, приводящие к межкристаллитным трещинам и хрупкому разрушению.

Химически активные титановые сплавы при нагреве могут поглощать водород, кислород и другие газы из окружающей среды. Это снижает механические свойства и качество изделий. Газонасыщенный слой получается небольшой толщины и удаляется специальным травлением.

Наиболее действенным средством борьбы является нагрев изделий из титановых сплавов в атмосфере очищенных инертных газов (в аргоне, гелии) или в вакууме, что снижает содержание газов в металле до безопасного [0,5---1,0 % (по массе)].

Нафталинистый излом

Он характеризуется очень крупными зернами с гладкой блестящей поверхностью, напоминающими нафталин.

Для предупреждения образования нафталинистого излома проводят двойную термическую обработку. Первая (нормализация или закалка) проводится с высокой температурой, обеспечивающей процессы рекристаллизации аустенита, а вторая (закалка) с учетом нормальной температуры фазового превращения $\alpha \rightarrow \gamma$.

Камневидный излом

Он проходит по границам зерен и имеет вид больших (до 8 мм) гранул без металлического блеска, по форме и внешнему виду напоминающий излом крупнозернистого камня. Наличие нафталинистого и камневидного изломов недопустимо, поскольку они способствуют резкому снижению механических свойств металла, особенно характеристик вязкости.

Различают два вида камневидного излома. Первый образуется в перегретых сталях и проявляется при наличии отпускной хрупкости закаленной стали. Разрушение происходит по границам прежнего зерна аустенита, при этом видны крупные гранулы камневидного излома. Такой камневидный излом может быть исправлен предварительной нормализацией с температур 1050—1100 °С. Высокая температура нагрева устраняет текстуру зерна аустенита вследствие рекристаллизационных процессов и при последующей закалке с температуры фазового α — γ -превращения дает нормальный излом стали после ее отпуска.

Второй тип камневидного излома связан с изменением состояния границ зерна аустенита после горячей механической обработки, что объясняется выделением неметаллической фазы по границам зерен. Слабое проявление этого камневидного излома можно исправить, применяя гомогенизационный отжиг при высоких температурах. Удовлетворительные результаты дает отжиг при 1050 °С с выдержкой 12 ч. Однако наиболее надежный способ исправления камневидного излома заключается в перековке или перекатке изделий на более мелкий профиль. Наиболее часто камневидный излом встречается в легированных сталях, содержащих молибден (38ХМЮА, 18Х2Н4МА, 18Х2Н4ВА и др.). Камневидный излом следует отличать от пережога, связанного с окислением границ зерен. Пережог относится к неисправимому браку.

Оба излома образуются в результате сильного перегрева стали при нагреве слитков под ковку или прокатку.

Шиферный излом

Он аналогичен изломам шифера или сланца, разрушающихся по слоям. При этом сильно понижаются механические свойства поперек волокон, особенно ударная вязкость. Шиферный излом соответствует очень низкому качеству стали, большому количеству неметаллических газовых включений, неравномерности распределения серы и фосфора, а также

некоторых других примесей. При горячей пластической деформации участки, обогащенные примесями, вытягиваются и дают слоистый излом. Шиферному излому часто сопутствует полосчатость в микроструктуре. Борьба с шиферным изломом способами термической обработки не эффективна.

2. Литейные, шлифовочные трещины

Литейные трещины

Литейные трещины могут быть горячими и холодными.

Горячие трещины имеют неровную, сильно окисленную поверхность, проходящую по границам зерен. Получаются они при высоких температурах вследствие торможения усадки, чему способствует неравномерность свойств в объеме отливки и концентрация напряжений в отдельных ее участках.

Рациональным методом борьбы является изменение конструкции отливки, регулирование подвода металла, установка холодильников и др.

Холодные трещины образуются при охлаждении отливок вследствие возникающих температурных напряжений. Трещины прямолинейного очертания незначительной ширины преимущественно проходят через зерно сплава и имеют цвет побежалости соответственно той температуре, при которой они образовались. Напряжения возникают из-за неравномерности охлаждения поверхности и центра массивных отливок и их тонких и толстых частей, а также сопротивления усадки со стороны формы и стержней. Методом борьбы с ними является регулирование скорости охлаждения и применения при охлаждении выдержек. Иногда избежать холодных трещин удастся понижением температуры выбивки отливки из формы, что снижает скорость охлаждения.

Трещины при сварке

Горячие трещины появляются в металле на завершающей стадии кристаллизации при температурах, близких к линии солидуса, когда прочность и пластичность металла малы. Трещины имеют извилистую форму. Мерами борьбы с горячими трещинами является улучшение качества металла и изменение режимов сварки.

Холодные трещины — более прямые с гладкой блестящей поверхностью в изломе. Образуются они при низких температурах. Появление их связывают с фазовыми и структурными превращениями, продуктами которых являются структуры с низкими пластическими свойствами (например, мартенсита), а также с влиянием водорода. Часть холодных трещин образуется в околошовной зоне в связи с пониженной вязкостью металла. Наиболее радикальными мерами борьбы с холодными сварочными трещинами являются понижение содержания водорода и снижение напряжений.

Шлифовочные трещины

Они неглубокие (меньше 0,1 мм), образуются в результате возникновения растягивающих напряжений на поверхности изделия, вследствие повышения температуры тонкого поверхностного слоя (до 800 °С и выше) при неправильном режиме шлифования и недостаточном охлаждении. Меры борьбы — изменение режима шлифования (уменьшение подачи, применение более мягких шлифовальных кругов) и корректирование режима охлаждения.

Холодные литейные, сварочные и шлифовочные трещины могут проявиться не сразу после охлаждения, а через некоторый промежуток времени. Поэтому для предупреждения их появления необходимо проводить высокий отпуск отливок и сварных изделий с целью снятия напряжений. После шлифования детали подвергаются отпуску. Если по технологическим условиям требуется высокая твердость (например, для деталей из стали ШХ15 и др.), то после шлифования проводят низкий отпуск при 160—180 °С с продолжительной выдержкой.

3. Дефекты, приобретенные при термической обработке

Перегрев ведет к росту зерна. При этом снижаются пластические и вязкие свойства изделий. В сплавах алюминия, магния и других перегрев может привести к оплавлению легкоплавких эвтектик или избыточных фаз. Перегрев и недогрев изделий можно исправить повторным нагревом.

Пережог сплава происходит вследствие диффузии кислорода по границам зерен и образования окислов разъединяющих зерна при высоких температурах сплава (близких к линии солидус). Пережог является окончательным браком.

Обезуглероживание поверхности стали вызывается кислородом, содержащимся в продуктах сгорания топлива или попадающим в печь вследствие подсоса воздуха. Из легированных конструкционных сталей наиболее чувствительны к обезуглероживанию кремнистые стали. Наиболее целесообразный способ борьбы с обезуглероживанием в термических цехах заключается в использовании при нагреве контролируемых атмосфер или соляных ванн.

Неполная закалка обусловливается недогревом, замедленным охлаждением при закалке или при переносе изделий в закалочную ванну. Этот вид брака исправляется повторной закалкой.

Уменьшение остаточных напряжений при закалке и борьба с возможностью возникновения коробления и закалочных трещин ведется подбором охлаждающей среды и методов термической обработки.

В ряде случаев при поверхностной закалке используются самоотпуск за счет тепла оставшегося в изделии после нагрева.

Для борьбы с короблением изделий типа дисков, тормозных колец и т. п. применяют отпуск в нагревательных плитах под нагрузкой.

Растрескивание наблюдается в некоторых титановых сплавах после закалки и старения при 400 °С. Самопроизвольное растрескивание развивается под совместным действием термических и фазовых напряжений в условиях, затрудняющих их релаксацию. Наиболее эффективным методом борьбы с растрескиванием является снижение температуры нагрева под закалку, применение изотермической закалки, предварительное высокотемпературное старение (выше 500 °С) перед окончательным. Основным средством борьбы с дефектами, возникающими при термической обработке, будет строгое соблюдение технологической дисциплины.

В ряде случаев трещины могут образоваться вследствие неудачной конструкции изделия, например резких переходов от одного сечения к другому.

4. Контроль качества изделий

В цикле производственного процесса изготовления деталей термическая обработка часто является последней операцией, меняющей качество выпускаемой продукции. Поэтому организация надлежащего контроля качества продукции в термическом цехе имеет важное значение. В СССР разработан ряд комплексных систем организации управления

качеством продукции, связывающих технические и экономические мероприятия (ГОСТ 15.895—77). При их внедрении значительно сокращаются потери от брака, повышается качество продукции, увеличивается количество изделий, аттестуемых знаком качества, снижается стоимость обрабатываемых изделий. Основными документами управления качеством являются требования ГОСТ, ОСТ, а для новых видов продукции, на которые нет стандартов, — технические условия (ТУ), заключаемые между поставщиком и потребителем.

С целью повышения качества выпускаемой продукции и усиления ее конкурентоспособности на международном рынке, кроме ОТК, вводится Государственная приемка продукции.

В термическом цехе осуществляется текущий контроль качества продукции, который сводится к определению твердости, структуры и обнаружению наружных и внутренних дефектов. Проверка механических свойств деталей, технологических свойств сплавов, химический и подробный металлографический контроль сосредотачиваются в центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ). Для определения твердости широко применяют прессы Бринелля (Т. Ш.), Роквелла (Т. К.), Виккерса (Т. П.), микротвердости. Методика контроля твердости изложена в ГОСТах 9012—59, 9013—59, 2999—75, 9450—76, 22761—77, 22975—78.

Металлографический анализ проводят по шкалам контроля соответствующих стандартов, причем первые номера шкал соответствуют наилучшему качеству, а последние номера — худшему, при которых изделие бракуется. Эталоны микроструктур и карбидной неоднородности даны в ГОСТ 8233—56; неметаллических включений в ГОСТ 1778—70; величины зерна в ГОСТ 5639—82, а для цветных сплавов в ГОСТ 21073—75; глубина обезуглероженного слоя в ГОСТ 1763—68, прокаливаемость стали в ГОСТ 5657—69, методы испытания и оценки макроструктуры представлены в ГОСТ 10243—75 и др. Однако при неоднородных свойствах изделий местный контроль структуры и контроль твердости на прессах не гарантируют полного выявления брака. Поэтому для проверки твердости, структуры, глубины обезуглероженных и закаленных слоев, наружных и внутренних дефектов применяют методы непрерывного неразрушающего контроля. Эти методы классифицируются в зависимости от физических явлений, положенных в их основу. По ГОСТ 18353—79 они подразделяются на десять видов. Наиболее распространенными методами, используемыми в цеховых

условиях, являются: магнитные (коэрцитивной силы, магнитной индукции), электромагнитные (вихревых токов), радиационные (рентгеновский, гамма- и бета-излучений), акустические (ультразвуковые), оптические (лучем лазера), люминесцентные (течеискание), электрические и др. Применение данных методов и приборов для их использования описывается в литературе. Конкретные данные по контролю отдельных изделий описаны в разделах 2 и 3.

Тактика поиска причин брака данного изделия заключается в последовательном применении ряда методов контроля: внешнего осмотра, макро- и микроанализа, механических испытаний, различных методов дефектоскопии, технологических проб и др. Кроме установления качества самого изделия и причины брака, результаты контроля должны использоваться для разработки мероприятий по резкому снижению количества брака, особенно в массовом производстве.

Для этого надо проанализировать возможные причины появления брака:

1. Параметры технологического процесса, отклонение от которых могло вызвать снижение качества и появление брака. Например, не были выдержаны температура процесса, время выдержки для получения требуемой глубины закаленного или науглероженного слоя, состав газовой фазы, давление, скорости охлаждения после нагрева и другие факторы.

2. Работу оборудования и характер его эксплуатации (неисправность оборудования, прогар части нагревательных труб, нарушение системы регулирования и управления объектом, темп толкания поддонов, укладку на них изделий и т. п.). После выявления возможных причин брака следует определить главную причину и явления, которые лежат в основе ее действия. Например, выявлена недостаточная глубина цементованного слоя. В этом случае причинами брака могут быть низкая температура насыщения, малое время выдержки, неравномерность распределения температуры в объеме садки, низкий углеродный потенциал, недостаточная подготовка поверхности, дефекты в работе печи и др. После тщательного анализа и экспериментальных исследований в данном случае пришли к выводу, что причиной сниженной глубины цементации был низкий углеродный потенциал.

При выявлении брака металлургического происхождения (повышенное количество вредных примесей, неметаллических включений, флокенов, значительная ликвация,

камневидный излом и др.) следует обратить на это внимание главного металлурга для принятия соответствующих мер. На металлургических заводах металл для ответственный изделий проходит плавочный контроль (комплекс наблюдений и испытаний, проводимых на пробном слитке). Производственный отдел, руководствуясь данными плавочного контроля, устанавливает качество металла и возможности выполнения того или иного заказа. Объем проводимого плавочного контроля зависит от марки стали, назначения изделия и качества полученного металла. Контроль начинается со сталеплавильного цеха, причем по всем переделам составляет паспорт контрольного слитка.

В целях прогнозирования и регулирования качества, а также установления объема контроля применяют математическую статистику, т. е. накопление и анализ количественных данных на основе статистического учета выборочных проб (ГОСТ 23853—79, ГОСТ 22015—76). В массовом и серийном производстве используют метод выборочного контроля на основе объема контроля, указанного стандартами для данного вида продукции.

В термических цехах применяют промежуточный (технологический) контроль для проверки качества продукции на отдельных стадиях ее обработки, по возможности используя методы неразрушающего контроля.

Глава III

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В современных цехах применяются автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП). В термической обработке подсистемами АСУТП являются управление тепловыми процессами печей, составом атмосферы, механизмами печей и установок, вспомогательным оборудованием, межоперационными транспортными операциями с использованием процессоров и роботов.

Экономичная работа основного оборудования термических цехов — печей — возможна лишь при поддержании в требуемых пределах температуры, давления и соотношения подачи топлива и воздуха. В муфельных и электрических печах с целью избежания окисления и обезуглероживания деталей необходимо регулирование состава атмосферы. При химико-термической обработке (ХТО) требуется регулирование углеродного или азотного потенциала для получения определенной глубины и структуры поверхностного слоя деталей.

В агрегатах непрерывного действия и поточных линиях необходима автоматизация управления работой механизмов. Схема управления механизмами печей и установок входит в комплекс технических средств (КТС) и основана на связи конечных выключателей, промежуточных

реле и электродвигателей или распределительных устройств и гидравлических цилиндров.

Для автоматизации обслуживания печей и установок, прессов, контрольных и вспомогательных операций и межоперационного транспорта деталей используют промышленные манипуляторы-роботы. В качестве исполнительного органа роботы имеют механические руки, приводимые в действие управляющими устройствами. Роботы снабжены блоками накопления, хранения и переработки информации в виде микропроцессора или автономной ЭВМ, а также блоками информации о состоянии внешней среды. В последнее время блоки информации снабжаются сенсорными устройствами, являющимися органами «чувств» робота. К 2000 г. предполагается произвести до 100 000 роботов различного назначения.

При мелкосерийном, многономенклатурном производстве для управления технологическими процессами применяют гибкие автоматизированные производства (ГАП), которые можно быстро автоматически перенастраивать с одного технологического производства на другое. Это обеспечивается обслуживанием оборудования и межоперационных транспортных операций манипуляторами-роботами.

1. Управление тепловыми процессами термических печей

Для удобства управления сложные процессы расчленяют на относительно самостоятельные участки регулирования. В пламенных печах это участки регулирования температурного режима, горения, давления в рабочем пространстве печи

Автоматическое регулирование параметров закалочной (нормализационной) печи на газовом топливе (рис. 9)

Регулирование температуры печи проводится по тепловым зонам, а в каждой тепловой зоне осуществляется от первичного датчика 1 (термоэлектрического термометра или термометра сопротивления или пирометра), помещенного в рабочее пространство печи. Сигнал от первичного датчика поступает на регулирующий прибор 4. На регулирующий прибор также поступает сигнал от задатчика 5. Из регулятора 4 сигнал направляется через блок управления 6 (совмещающего в себе универсальный переключатель и кнопочную станцию) в пусковое устройство 7 двигателя исполнительного механизма 8, который приводит в действие регулирующий орган 9 (клапан или заслонку), изменяя количество топлива (газа), подаваемого в горелки. Со второго первичного датчика 1 сигнал поступает во вторичный измерительный прибор 2 и на аппаратуру сигнализации 3. С помощью блока 6 имеется возможность ручного дистанционного управления, что позволяет

оператору корректировать управление температурой печи.

По расходу топлива (газа) регулируется подача воздуха для горения, причем автоматически устанавливается заданное соотношение топлива (га-

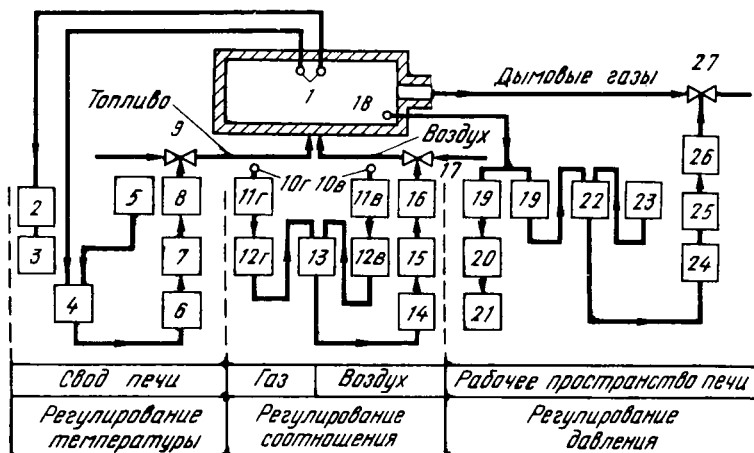


Рис. 9. Схема автоматического регулирования параметров закалочной печи

за) и воздуха. Регулирование расхода воздуха и газа осуществляется методом измерения перепада давления при помощи средств контроля.

С изменением положения регулирующего органа 9 (запорной, клапана) в газопроводе изменится расход газа и перепад давления на сужающем устройстве диафрагмы 10г, которое по трубкам передается первичному прибору — дифференциальному манометру 11г для измерения расхода и вторичному прибору 12г, преобразуется в электрический сигнал, который поступает в регулирующий прибор 13. Из регулятора сигнал через блок управления 14 направляется в пусковое устройство 15 исполнительного механизма 16, который приводит в действие регулирующий орган 17, изменяя количество подаваемого воздуха.

С изменением расхода воздуха меняется перепад давлений на сужающем устройстве 10в, который воспринимается дифференциальным манометром 11в, преобразуется в электрический сигнал 12в, поступающий в регулирующий прибор 13.

Кроме описанной системы регулирования соотношения воздуха и газа, регулирование горения в пламенных печах

может осуществляться по методу спаренных дросселей с использованием инжекционных горелок.

Автоматическое регулирование давления в рабочем пространстве печи проводят с помощью шибера 27, установленного в борове перед дымовой трубой или направляющим аппаратом дымососа. В печи устанавливают устройство 18 для измерения давления, передающее импульс на первичный манометр 19 и далее на регулирующий прибор 22, в котором сигнал преобразуется в электрический, пропорциональный измеряемому давлению.

В регулятор поступает также сигнал от задатчика 23. От регулятора сигнал через блок управления 24 направляется в пусковое устройство 25 двигателя исполнительного механизма 26, который приводит в действие регулирующий орган 27 (шибер или направляющий аппарат дымососа), изменяющий количество протекающих дымовых газов, а следовательно, и давление в рабочем пространстве печи. Одновременно от отборочного устройства 18 импульс передается на первичный манометр 19 и далее на вторичный измерительный прибор манометр 20 и на аппаратуру сигнализации 21.

Стабилизация давления в рабочем пространстве печи автоматически решает задачу эвакуации продуктов сгорания.

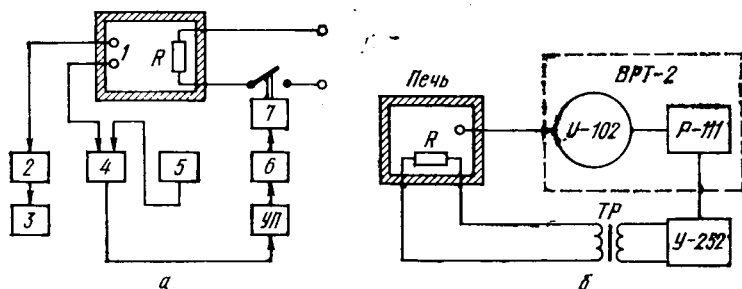


Рис. 10. Автоматическое регулирование температуры электрических печей сопротивления:

а — потенциометром; б — высокочастотным регулятором ВРТ-2

Сигналы о значительных отклонениях параметров подает аппаратура сигнализации 3 и 21, включающая сигнальные лампочки и звонки.

В электрических печах сопротивления (рис. 10,а) сигнал от термоэлектрического термометра или термометра сопро-

тивления, помещенного в рабочее пространство печи, поступает на регулирующий прибор 4, на который также поступает сигнал от задатчика 5. Из регулятора 4 сигнал направляется через универсальный переключатель (УП) в усиливающее промежуточное устройство электронного реле 6, с помощью электромагнитного реле 7 включаются контакторы, подключающие нагреватели R к сети. От второго первичного датчика 1 сигнал поступает во вторичный измерительный прибор 2 и на аппаратуру сигнализации 3.

В последнее время точность регулирования температуры в электрических печах резко возросла (до $0,5\text{--}0,3^\circ\text{C}$) вследствие использования в регулирующих схемах тиристорных усилителей. При этом позиционное изменение мощности печи заменяется на непрерывное с автоматическим поддержанием оптимальной мощности, обуславливающей заданную температуру нагрева. При повышении температуры в печи против заданной мощность печи снижается, а при понижении температуры повышается, что в итоге ведет к отысканию оптимальной мощности, соответствующей поддержанию заданной температуры с высокой степенью точности. Для этого используют бесконтактные блоки питания, работающие совместно с высокочастотным регулятором температуры (например ВРТ-2) непрерывного действия. Схема регулирования состоит (рис. 10, б) из термоэлектрического термометра, измерительного блока (И102), включающего усилитель и задатчик, регулирующего блока (Р-111), тиристорного блока питания (У252) и трансформатора (Tr), через который подается изменение мощности на нагреватели печи (R).

Более подробные сведения даны в специальном курсе «Автоматизация производственных процессов».

2. Управление составом атмосферы печей

В термических печах часто необходимо поддерживать определенный состав газовой атмосферы (безокислительной, науглероживающей, обезуглероживающей, нейтральной). Для этого при термической и химико-термической обработке применяют контролируемые атмосферы, наиболее часто эндогаза (КГ-В0) и экзогаза (ПСО-09), которые получают при сжигании природного газа с $\alpha = 0,25$ и $0,9$ соответственно. Эндогазовая атмосфера, не имея газов-окислителей, защищает сталь от окисления, но она взрывоопасна, не может применяться при низких температурах (отпуске) и может науглеродить сталь. Во избежание последнего

в печь вводят обезуглероживающие газы CO_2 и H_2O , которые взаимодействуют между собой по реакции водяного газа: $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$. Поэтому можно регулировать атмосферу по одному из указанных компонентов. Чаще это делается по влажности, измеряемой температурой точки росы.

Чтобы получить нейтральную атмосферу при светлой закалке, нормализации и отжиге, определяют необходимую температуру точки росы для стали данной марки и требуемой температуры, а также автоматически поддерживают необходимое значение точки росы, подавая различное количество газов. При цементации для науглероживания поверхности деталей в атмосферу печи вводят природный или другие науглероживающие газы, а при нитроцементации дополнительно аммиак. Для регулирования состава атмосферы применяют методы прямого и косвенного измерения.

Прямой метод основан на изменении электросопротивления тонкой железной проволоки при ее науглероживании в атмосфере печи. Косвенные методы основаны на измерении углеродного потенциала по содержанию водяных паров, определяемых по температуре точки росы или по содержанию CO_2 и O_2 (кислородному потенциалу).

Заданные значения температуры точки росы или содержания H_2O достигаются изменением количества подаваемого в печь природного газа или газа с CO_2 .

Углеродный потенциал атмосферы можно рассчитать по кислородному потенциалу, если известны температура и концентрация CO в атмосфере печи.

Для измерения температуры точки росы используют конденсационные гигрометры, работа которых основана на определении температуры охлаждаемого металлического зеркала в момент конденсации на нем влаги, содержащейся в газе. Зеркало охлаждается жидким азотом, двуокисью углерода или проводниковой термобатареей. Применяют приборы ВИГ-1, ВИГ-2, ВИГ-3, ВИГ-5 с пределами измерения температуры точки росы от $+30$ до -60°C .

Ряд приборов измерения углеродного потенциала по температуре точки росы основан на поглощении влаги из атмосферы печи гигроскопичной солью (обычно хлористым литием). При пропускании тока между электродами датчика влага испаряется. Когда содержание ее в датчике становится меньше, чем в окружающем газе, снова начинается поглощение водяных паров и нагрев датчика. Так продолжается до тех пор, пока между влажностью в газе

и хлористом литии не наступит динамическое равновесие. Температура равновесия (точка росы) измеряется термометром сопротивления, помещенным в прибор измерения (установка УРСГ-4М и др.). Иногда применяют прибор в виде пористого эбонитового стержня, пропитанного хлористым литием. В зависимости от влажности пробы газа меняется сопротивление стержня, которое измеряется электронным мостом. Прибор ИВ-439 с эбонитовым измерителем может контролировать состав эндотермической атмосферы по точке росы в пределах от $+16$ до -11°C . Для автоматического регулирования атмосферы печи по точке росы хорошие результаты дает установка «Иней-1», имеющая изменение точки росы от $+20$ до -85°C .

Метод определения и регулирования атмосферы печи по содержанию в ней CO_2 в процессе химико-термической обработки использован в автоматизированной системе газового анализа при цементации АСГА-Ц. Пределы измерения углеродного потенциала при этой системе составляют от 0,2 до 1,5 % С с погрешностью не более $\pm 0,05$ % С.

Прибор измерения кислородного потенциала представляет собой твердоэлектrolитную ячейку (ТЭЯ), обладающую кислородно-анодной проводимостью. Датчик имеет два электрода: внешний — в виде трубки из оксида кальция, растворенного в ZrO_2 , и внутренний — эталонный. Между электродами датчика возникает разность потенциалов, пропорциональная концентрации кислорода, которую измеряют вторичным прибором.

3. Автоматическое управление механизмами печей

Управление механизмами в термических печах осуществляется при помощи электрических и гидравлических (или пневматических) приводов. В первом случае схема управления основана на действии конечных выключателей, промежуточных реле и электродвигателей, а во втором применяют электромагниты, воздействующие на золотниковые распределительные устройства, от которых приводятся в действие гидравлические цилиндры механизмов. Первый импульс на включение механизмов чаще всего дается от реле времени.

Механизм толкательной печи с электрическим приводом (рис. 11). Через заданный промежуток времени операции проводятся в такой последовательности: поднимаются заслонки окон загрузки 1 и выгрузки 2, при достижении ими крайнего верхнего положения включается электродвигатель

вытаскивателя 4, вытаскиватель идет в печь зацепляет поддон с деталями и возвращается обратно, вынимая поддон из печи. Затем включается электродвигатель толкателя 3, который подает поддон с деталями в печь. После возврата толкателя закрываются заслонки окон загрузки

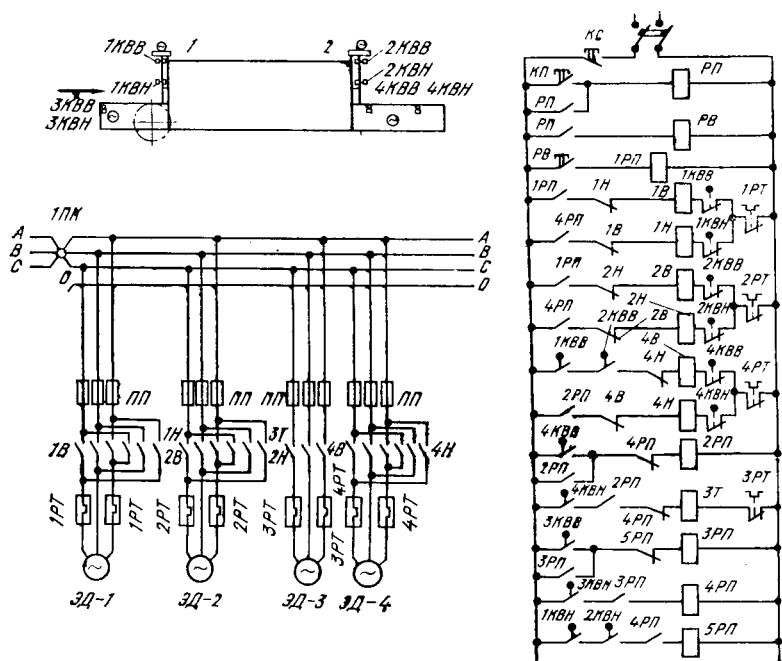
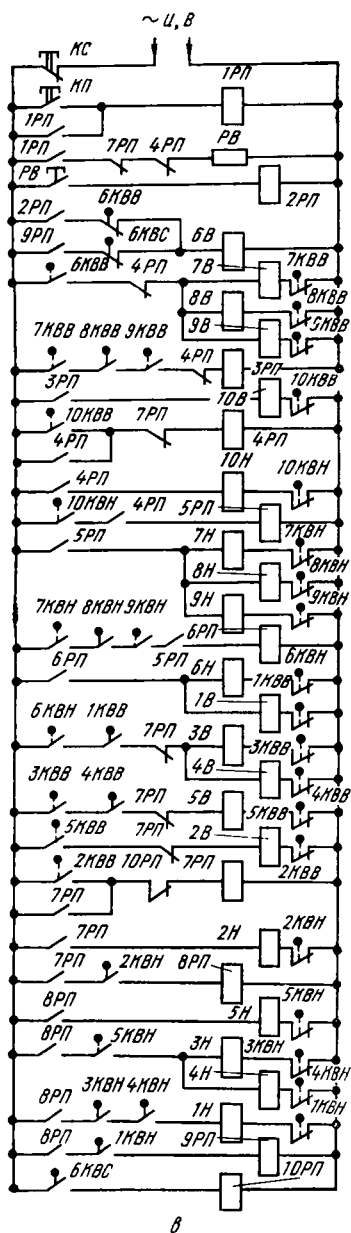


Рис. 11. Автоматическое управление механизмами толкательной печи с электрическими приводами

и выгрузки. Механизмы заблокированы так, что толкатель и вытаскиватель не могут работать при закрытых заслонках, в то же время заслонки не опускаются до тех пор, пока башмак толкателя или вытаскивателя находится в печи.

Импульс на начало работы подается от реле времени РВ, которое периодически, через заданный промежуток времени, включает промежуточное реле 1РП. Когда срабатывает реле 1РП, его нормальные открытые контакты в цепи двигателей заслонок 1В и 2В замыкаются, включая катушки контакторов 1В, 2В. Контакторы 1В и 2В замыкают нормально открытые контакты, включая двигатели заслонок на подъем. Дойдя до крайнего верхнего положения



ной цементационной печи с гид-
сая схема

ния, заслонки останавливаются, нажимая на конечные выключатели 1КВВ и 2КВВ, которые размыкают нормально закрытые контакты в цепи контакторов 1В и 2В и замыкают открытые контакты в цепи двигателя вытаскивателя 4В, в результате он движется в печь за поддоном. Вытаскиватель зацепляет поддон, находящийся в печи, и, нажимая на выключатель 4КВВ, включает реле 3РП. Последнее с помощью нормально открытого контакта включает контактор 4Н, при этом вытаскиватель возвращается в исходное положение и доставляет поддон на стол выдачи. В крайнем положении вытаскивателя включается контактор 3Т кривошипного механизма толкателя, который подает очередной поддон в печь и возвращается назад. В конечном положении он нажимает на выключатель 3КВН и с помощью реле 5РП включает контакторы 1Н и 2Н, опуская заслонки печи. На этом цикл работы механизмов печи заканчивается, повторяется он после подачи импульса от реле времени.

Механизм с гидравлическими приводами. Схема работы для случая обслуживания П-образного цементационного агрегата приведена на рис. 12. В первой линии агрегата размещена цементационная печь 3а, снабжен-

ная закалочным баком 6а с рычажным передаточным механизмом типа качели, приводимым в возвратно-поступательное движение через шестерни рейкой, закрепленной на штоке цилиндра 6. Поддоны с деталями передвигаются по печи гидравлическим толкателем 2. На платформу закалочного бака они выдаются гидравлическим вытаскивателем 5. Заслонки печи 3а поднимаются и опускаются штоками цилиндров 3 и 4. После закалки деталей поддоны из бака 6а передаются во вторую линию, включающую последовательно расположенные моечную машину 7, сушильную камеру, отпускную печь 8а, участки разгрузки и загрузки поддонов 10а. Заслонки моечной машины 7 поднимаются и опускаются траверсой с помощью гидравлического цилиндра 7, а заслонки отпускной печи 8 и 9 — штоками гидравлических цилиндров 8 и 9. Поддоны с закаленными деталями во второй линии передвигаются собачками шагового конвейера 10а, приводимого в возвратно-поступательное движение штоком гидравлического цилиндра 10. Поддоны с новыми деталями передаются в загрузочную камеру цементационной печи через моечный бак 1а механизмом (он аналогичен применяемому в закалочном баке), управляемым гидравлическим цилиндром 1.

В автоматическом режиме импульс на начало работы агрегата подается с помощью реле времени РВ. При этом столик закалочного бака механизмом с гидравлическим цилиндром 6 перемещается во вторую линию, замыкает нормально открытые контакты конечного выключателя 6КВВ, включающего соленоиды гидравлических цилиндров 7В, 8В, 9В, которые открывают заслонки моечной машины и отпускной печи. В крайнем верхнем положении заслонки замыкают нормально открытые контакты конечных выключателей 7КВВ, 8КВВ, 9КВВ и реле ЗРП, подавая сигнал на включение шагового конвейера 10. Последний передвигает во второй линии поддоны, снимая поддон с закаленными деталями с платформы закалочного бака 6 и загружая поддон с новыми деталями на платформу водяного бака 1. Затем шаговый конвейер возвращается в исходное положение. При этом включается реле 5РП, которое дает сигнал на опускание заслонок 8, 9 отпускной печи и 7 моечной машины. Когда все три заслонки находятся в нижнем положении, включается реле 6РП и соленоиды 6Н и 1В, с помощью которых механизм закалочного бака возвращает платформу в первую линию, а механизм водяного бака доставляет платформу с вновь загруженными деталями в тамбур цементационной печи.

В конечном положении платформы срабатывают соленоиды 3В, 4В, заслонки цементационной печи поднимаются и в крайнем верхнем положении включают соленоиды 5В вытаскивателя. Он идет в печь, останавливается и включает соленоид 2В толкателя 2, который загружает очередной поддон в печь, а крайний поддон сталкивает на лопату вытаскивателя 5 и возвращается обратно с помощью соленоида 2Н. В конечном положении реле 8РП подает сигнал на возвращение вытаскивателя 5. Последний в свою очередь, замыкая контакт 5КВН, подает сигнал на опускание заслонок цементационной печи. После опускания заслонок контакты 3КВН и 4КВН включают соленоид 1Н, и механизм водяного бака возвращает платформу во вторую линию. Когда она достигнет крайнего положения, контакт 1КВН включает реле 9РП. При этом срабатывает соленоид 6В, в результате чего платформа с нагретыми деталями погрузится в закалочный бак и после срабатывания конечного выключателя в 6КС остановится в нижнем положении.

По истечении заданного времени цикл повторяется от сигнала, подаваемого реле времени РВ.

4. Управление технологическими процессами с использованием ЭВМ и микропроцессоров

Для решения конкретных инженерных задач с применением автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и управления производством (АСУП) используют электронные вычислительные машины (ЭВМ) различных разновидностей. ЭВМ является преобразователем информации, в которых исходные данные задачи преобразуются в результат ее решения. Наиболее универсальной формой подачи и переработки информации является цифровая форма, т.е. применение ЦЭВМ. Общая структурная схема ЭВМ включает следующие устройства: ввода (ВВУ), запоминающее (ЗУ), арифметико-логическое (АЛУ), управления (УУ), вывода (ВывУ) и пульт управления (ПУ) (рис. 13, а).

Устройство ввода (ВВУ) предназначено для восприятия исходной информации, преобразования ее в электрические сигналы и передачи в ЗУ. В качестве носителя информации применяют пакетную обработку с перфокарт, перфолент, магнитных лент или используют терминальные устройства — дисплеи, телетайпы и др.

Запоминающее устройство (ЗУ) предназначено для записи, хранения и выдачи в другие устройства машины чи-

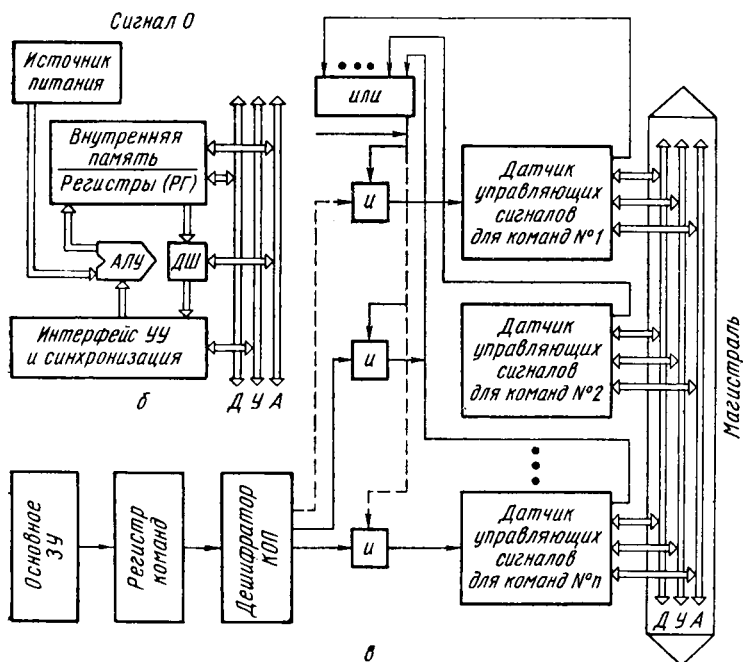
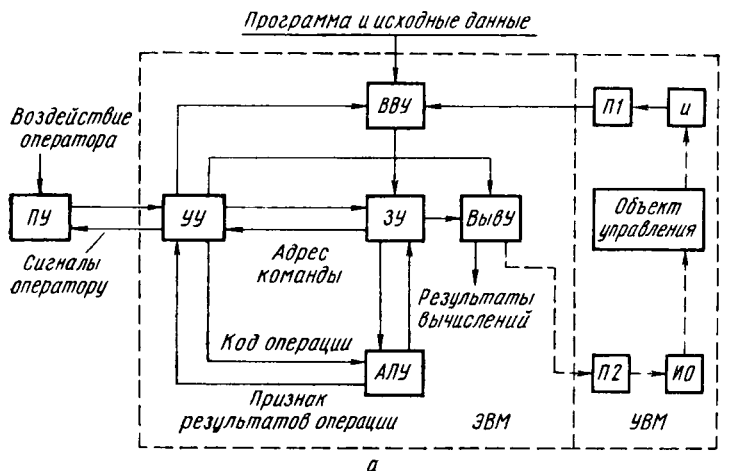


Рис. 13. Схема управления технологическими процессами с применением ЭВМ и микропроцессоров (МП):
 а — структурная схема ЭВМ и автоматического управления; б — укрупненная схема МП; в — схема управления операциями МП

сел, программы и результатов вычислений. ЗУ имеет оперативную (ОЗУ) и внешнюю (ВЗУ) память. Информация, хранимая в оперативной (внутренней) памяти, кодируется в форме набора битов. Б и т — единица количества информации. Набор из восьми битов составляет байт. Б а й т — наименьшая адресуемая единица памяти — группа смежных двоичных разрядов (обычно 8), которая используется как одно целое. Группа, составленная из четырех байтов, называется словом. Байты нумеруются и каждому из них соответствует определенный адрес. Оперативная память характеризуется емкостью, т. е. максимальным объемом информации в байтах или кбайтах. Внешнее запоминающее устройство (ВЗУ) является накопителем и хранителем на магнитной ленте (НМЛ), магнитных дисках (НМД) большого объема информации.

Арифметико-логическое устройство (АЛУ). Оно производит арифметические и логические преобразования над поступающими в него машинными словами, т. е. кодами определенной длины, представляющими числа или другой вид информации.

Управляющее устройство (УУ). Оно автоматически без участия человека управляет вычислительным процессом, посылая всем другим устройствам сигналы, приписывающие те или иные действия. В частности, УУ указывает ОЗУ, какие слова должны быть переданы в АЛУ и в другие устройства, включает АЛУ на выполнение нужной операции в соответствии с программой и помещает полученный результат в ОЗУ.

Устройство вывода (ВывУ) осуществляет фиксацию результатов вычислений на бумаге, перфоленте, перфокарте или печатается на быстродействующей специальной машине АЦПУ, а также на дисплее, телетайпе, чертежном автомате.

Через вводные и выводные устройства осуществляется связь ЭВМ с внешней средой и пользователем.

В последнее время, вместо цифровой информации предлагается вводить зрительные образы — рисунки, графики, схемы, как для ввода/вывода информации, так и задания программы работы ЭВМ (Р-технология).

Работа ЭВМ сводится к последовательному выполнению вычислительных операций, предусмотренных программой. Программа заключается в перечне команд, которые машина выполняет последовательно до получения результатов вычисления. Необходимая информация наносится на перфоносители (перфокарту, перфо- или магнитную ленту)

и затем вводится в машину. В правой части (рис. 13, а) штриховыми линиями обозначена структурная схема автоматической системы управления с ЭВМ.

На выходе управляемого объекта измеряются параметры устройством измерения *И*, результаты которого преобразуются в дискретные величины входным преобразователем *П1* и вводятся на вход ЭВМ (*ВвУ*). Вначале разрабатывается и записывается в условных обозначениях алгоритм процесса, описание проводится в терминах алгоритмических языков, из которых наибольшее применение получили Фортран, ПЛ1, Бэйсик. Далее запись по специальной программе преобразуется в набор команд. В машине происходит переработка всей полученной информации. Из ЭВМ выходные (управляющие) сигналы преобразуются выходным преобразователем *П2* в форму, удобную для управления исполнительными органами *ИО*, которые воздействуют на объект управления.

С пульта управления *ПУ* оператор имеет возможность следить за ходом процесса и оказывать воздействие на УВМ.

Подготовка к решению задач ЭВМ состоит из ряда этапов:

1. Установления математической формулировки задачи, т. е. математических зависимостей, по которым будут вестись вычисления.

2. Выбора численного метода решения, позволяющего свести его к последовательному выполнению арифметических действий.

3. Программирования, которое начинается с разработки алгоритма решения задачи, т. е. в установлении определенной последовательности арифметических действий. Исходный алгоритм детализируется, кроме арифметических и логических этапов вычислительного процесса, предусматриваются этапы, обусловленные спецификой работы ЭВМ. Такой расширенный алгоритм называется логической схемой программы.

После разработки алгоритма составляется программа, заключающаяся в последовательности команд. Для каждого этапа составляется своя частная программа, которая выполняется в строго определенном порядке, учитывая логическую схему.

Для описания алгоритмов наибольшее применение получила запись в виде структурных схем, состоящих из блоков, каждому из которых соответствует определенный этап решения задачи, блоки на схемах изображаются в ви-

де геометрических фигур (прямоугольников, ромбов и др.) и соединяются стрелками, указывающими последовательность управления вычислениями (ГОСТ 19.002—80 и ГОСТ 19.003—80). Внутри каждого блока указывается содержание этапа.

Для управления с помощью ЭВМ процессами ТО и ХТО целесообразно применять мини-ЭВМ с микропроцессорами (МП). Данные ЭВМ имеют сравнительно небольшой объем оперативной памяти, но имеют развитую систему устройств вычислительных комплексов, управляемых объектами. Основные характеристики ряда мини-ЭВМ приведены ниже:

	Электроника	СМ-1	СМ-2	СМ-3	СМ-4
Быстродействие, тыс. операций/с	600	400	450	200	600
Разрядность, слов	16	16	16	16	16
Время сложения с фиксируемой запятой, мкс	1,4	2,5	2,2	5,0	1,4
Емкость оперативной памяти, кбайт	32	64	54—256	32—64	248
Число основных команд	89	78	86	65	72
Число способов адресации	12	4	4	12	12
Число регистров общего назначения	8	6	6	8	8
Скорость передачи данных «по общей шине», тыс. слов/с	350	250	700	700	700
Цикл обращения, мкс	1,2	1,0	1,0	1,2	1,2

Микропроцессор (МП) представляет собой вычислительное устройство в виде одной или нескольких микросхем. М и к р о с х е м а — это электронный компонент, реализованный в виде кристалла полупроводника с выводами для подачи сигналов, имеющего при размере 5×5 мм свыше 10^5 транзисторов.

МП состоит из арифметико-логического устройства (АЛУ), внутренних регистров (Рг) с внутренней памятью и устройства управления (УУ) с приборами, обеспечивающими связь устройств между собой и внешней аппаратурой (интерфейс), источника питания и дешифратора (ДШ). Схема наиболее распространенного МП серии К 580 приведена на рис. 13, б, где магистраль включает шину данных (Д), представляющую совокупность линий, по которым передаются программы, исходные данные, результаты; шину управления (У) — совокупность линий, по которым передаются управляющие сигналы, и шину адресования (А) — совокупность линий, по которым передаются двоичные коды адресов ячеек, устройств и др. Отдельные регистры объединяются внутренней шиной.

В большинстве случаев МП представляет собой часть микро-ЭВМ. МП имеет алфавит, включающий только две литеры — 0 и 1 (двоичный цифровой код) и передаваемые слова истолковываются как двоичные цифры (биты).

Наименьшая адресуемая единица памяти — байт, составляющий 8 битов. Длина машинного слова равна числу битов, обрабатываемых за один прием, и состоит из 4 байтов или 8×4 битов.

Основными показателями МП является разрядность и адресное пространство. Чаше применяются восьми- и шестнадцатиразрядные двоичные числа, при которых адресное пространство, т. е. число ячеек памяти будет соответственно: $2^8 = 256$ и $2^{16} = 65536$. Следующими показателями МП будут: быстродействие, набор выполняемых команд, потребная мощность, возможность прерывания своей работы по внешнему сигналу, а также непосредственный доступ к памяти ЭВМ. Среднее быстродействие выражается числом операций в 1 с, достигая 250 тысяч в секунду и более. Набор выполняемых команд чаще колеблется в пределах от 70 до 150. Возможность прерывания работы позволяет обслужить несколько программ и пользователей. Для оценки возможного количества ячеек памяти используют как единицу $2^{10} = 1024$, когда емкость памяти составляет 1 килобит и обозначается К (1К) при 16-разрядных МП будет 65536 ячеек или 64К.

Система с использованием МП отличается высокой надежностью, низкой стоимостью, небольшими габаритами и малым потреблением энергии. Она успешно используется в децентрализованных или распределительных комплексах управления технологическими процессами, позволяя оптимизировать процесс. Микропроцессоры непосредственно управляют процессами и агрегатами, а центральная мини-ЭВМ осуществляет сбор информации, оперативный контроль процесса и выбор рациональных технологических режимов. Иногда местная обработка данных осуществляется автономными мини-ЭВМ.

Данные по некоторым отечественным микропроцессорам приведены ниже:

	К 580	К 587	К 589
Разрядность, бит	8	(4)	(8)
Время выполнения сложения, мкс	2	2	0,1
Тактовая частота, МГц	2	0,5	8
Емкость адресуемой памяти, кбит	64	64	0,5
Потребляемая мощность, Вт . .	1,00	0,01	0,75

Диапазон рабочих температур, °С	-10 ÷ +70	-60 ÷ +80	-10 ÷ +70
Возможность прерывания . . .	(8)	Есть	(8)
Прямой доступ к памяти . . .	Есть	»	Есть
Микропрограммное управление	Нет	»	»

На рис. 13, в приведена структурная схема индивидуального управления МП выполнением ряда операций с помощью самостоятельных датчиков управляющих сигналов для команд, их число равно общему количеству операций, предусмотренных системой команд машины. Работа осуществляется следующим образом: после получения регистром команд из запоминающего устройства ЗУ дешифратор КОП вырабатывает сигнал на одном из своих вводов, который по соответствующей шине поступает на логический элемент И и запускает требуемый датчик управляющих сигналов. Датчик вырабатывает серию сигналов, соответствующих конкретной операции, реализуя один цикл работы машины. Только после окончания этого цикла в работу включается следующий датчик управляющих сигналов через логические элементы ИЛИ. Это уменьшает быстродействие машины, но упрощает конструкцию и значительно удешевляет ее стоимость.

Простейшие операции часто объединяются в одну группу, их исполнение в синхронном режиме обеспечивается одним датчиком управляющих сигналов.

Только при необходимости иметь объем памяти ЭВМ в 200—300 кбайт и выше приходится применять более мощные вычислительные машины ЕС ЭВМ. Основные характеристики некоторых базовых ЕС ЭВМ даны ниже:

	ЕС-1022	ЕС-1035	ЕС-1040	ЕС-1045	ЕС-1060	ЕС-1065
Быстродействие операций, с . . .	80 тыс.	150 тыс.	250 тыс.	800 тыс.	1,5 млн.	5 млн.
Емкость оперативной памяти . . .	128	256	128	2048	1094	4096
ОЗУ, кбайт . . .	512	512	1024	2048	8126	8126
Емкость внешней памяти на магнитных дисках, Мбайт	7,25	29	100	100	100	100
То же на магнитной ленте, Мбайт	25	25	25	25	25	25
Время умножения с фиксированной запятой, мкс . .	29—42	10—12	7	1	0,6	0,23
Время сложения с фиксированной запятой, мкс . . .	3,3—6	1,7—3,2	1,4—1,8	0,4—0,5	0,2—0,3	0,14

	ЕС-1022	ЕС-1035	ЕС-1040	ЕС-1045	ЕС-1060	ЕС-1065
Скорость передачи в мультимплексном канале, кбайт/с	40	40	50— 200	100— 450	100— 450	100— 450
Скорость в селекционном канале, кбайт/с	600	750	1200	1500	1500	1500

Однако при разработке алгоритмов сложной технологической задачи она может быть разделена на ряд частных задач с составлением частных алгоритмов с применением мини-ЭВМ, технологические же параметры процессов поддерживаются локальными регуляторами.

Основные параметры, которыми необходимо управлять при термической обработке (ТО), это температурный режим и время процессов, состав контролируемой атмосферы, давление и другие, а при химико-термической обработке (ХТО) еще углеродный или азотный потенциал, толщина диффузионных слоев и др.

Кроме непосредственного управления технологическими параметрами, ЭВМ используется для моделирования процессов, происходящих при ТО, ХТО и в выборе оборудования. Особенно в тех случаях, когда нельзя получить полную информацию о ходе процессов (например, при ХТО отсутствия данных о кинетике роста диффузионных слоев).

В ряде случаев при использовании моделирования на ЭВМ сложных процессов ТО и ХТО и конструирования автоматизированного оборудования можно заменить натуральный эксперимент, что позволяет при минимальных затратах проанализировать ряд вариантов технологических и конструкторских решений.

Пока наиболее трудной задачей автоматизации процессов ТО и ХТО является разработка математических моделей и алгоритмов процессов. Разработаны частные математические модели и алгоритмы для нагрева и охлаждения при ТО, оптимизации параметров прерывистой закалки массивных деталей, процессов нитроцементации и азотирования в газовой среде и др. Для цементации предложены модели, связывающие конструктивные параметры оборудования с газовым режимом процесса и распределением концентрации углерода по толщине слоя. В качестве примера автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) приведем схему модели автоматизации наиболее распространенных в машиностроении и сложных процессов ХТО в газовых средах.

На входе модели ХТО поступают технологические параметры (температура, давление и состав среды), а на выходе — показатели качества, чаще всего распределенные концентрации элемента (углерода, азота и др.) по толщине слоя. Основными принципами построения модели процесса ХТО являются следующие: описание процессов в активной среде с целью определения зависимости между входными технологическими параметрами и активностью (потенциалом) среды; связь между активностью среды и массопереносом вещества в деталь с учетом свойств обрабатываемого материала; определение кинетики диффузионного насыщения на основании законов диффузии.

Описание процессов в активной среде основывается на термодинамическом анализе, связывающем параметры газовой атмосферы с ее насыщающей способностью, что при данной температуре определяется отношением парциальных давлений (потенциалом элемента). Находится концентрация элемента, которую можно получить в детали на основе зависимостей активности насыщающей атмосферы от температуры, давления и состава газовой фазы.

На активность диффундирующего элемента влияет наличие легирующих элементов, что оценивается коэффициентом легирования.

Для установления зависимости между активностью среды и массопереносом элемента на поверхность детали применяют второй закон Фика при задании определенных граничных условий.

Так, для процесса цементации закон Фика запишется
$$\frac{\partial C(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_{\tau} \frac{\partial C}{\partial x} \right],$$
 где D_{τ} — коэффициент диффузии; $C(x, \tau)$ — концентрация в точке x в момент времени τ .

Граничные условия потока массопереноса для получения результатов, близких к реальным, целесообразнее задавать пропорционально разности концентрации элемента на поверхности детали и в окружающей атмосфере, что является функцией технологических параметров.

Схема управляющего вычислительного комплекса и блок-схема алгоритма работы УВК для процесса цементации приведены на рис. 14. Технологическая информация поступает в центральный процессор УВК. Для ввода в ЭВМ информации о ходе процесса непрерывные сигналы датчиков преобразуются в дискретные значения с помощью модулей аналого-цифрового преобразования. При отклонении технологических параметров от заданных на основе вычислительных рассогласований вырабатывается

корректирующее воздействие на исполнительные органы установки.

При наличии в процессах насыщения многофазных систем (например, при азотировании) приходится вводить уравнения диффузии в каждой фазе и уравнения движения границ между фазами.

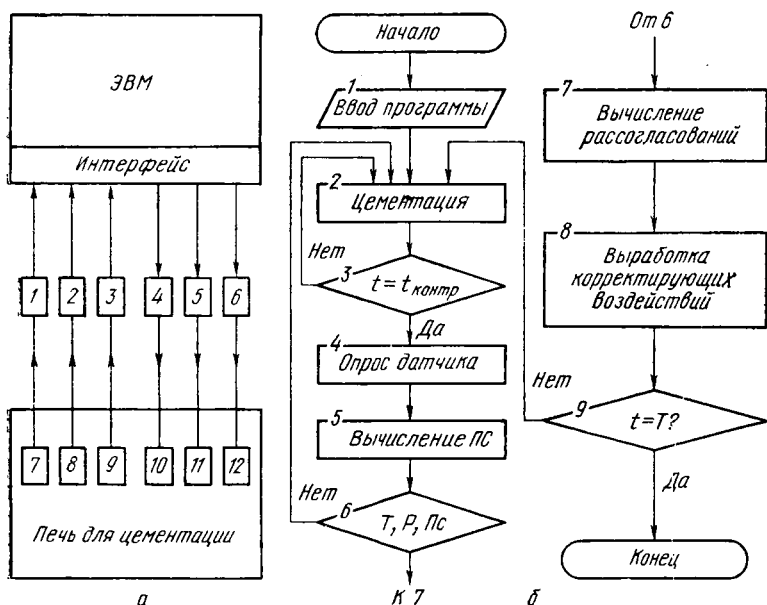


Рис. 14. Схема УВК процесса цементации (а) и блок-схема алгоритма (б): 1, 2, 3 — аналого-цифровой преобразователь; 4, 5, 6 — цифро-аналоговый преобразователь; 7 — датчики температуры; 8 — датчики давления; 9 — датчики углеродного потенциала; 10 — нагреватели; 11 — регулятор давления; 12 — системы газоснабжения. T и t — температуры; P — давление, $П_C$ — углеродный потенциал (Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган, А. А. Булгац)

Для процесса азотирования модель реализована на языке «Фортран» ЭВЦМ, ЕС ЭВМ. В начале программы (рис. 15) в ЭВМ вводятся характеристики процесса (общее время азотирования, предполагаемая толщина азотированного слоя, шаг по времени и число точек по толщине слоя, химический состав стали в виде процентного содержания в ней легирующих элементов).

Подпрограммой распределение учитывается начальное распределение концентрации азота в стали. Подпрограмма табл. дает вывод на печать распределения

концентрации азота по толщине слоя в каждой фазе и толщины слоев фаз.

Блок расчета коэффициента осуществляет вычисление входящих технологических параметров процесса, зависящих от времени (температура, состав газовой атмосферы, степень диссоциации аммиака, общее давление и т.п.).

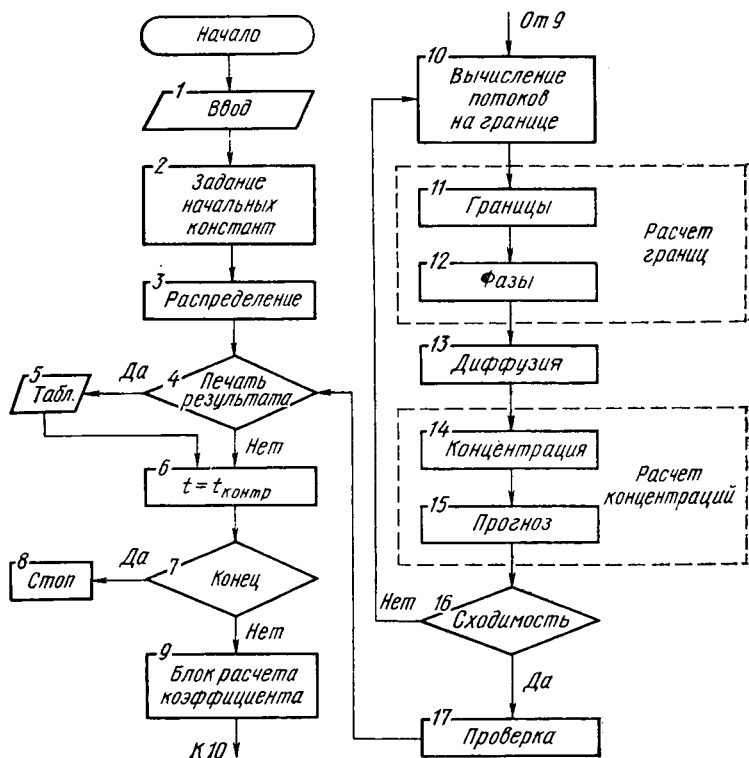


Рис. 15. Блок-схема основной программы расчета полной модели азотирования (Я. Д. Коган, А. А. Булгац)

Блок вычисления потоков азота определяет их значение на границах по уравнению массопереноса.

Подпрограмма границы находит положение межфазных границ и распределение в них концентрации на данном временном слое.

Подпрограмма фазы осуществляет контроль положения границ и фаз, стирает рассасывающиеся фазы.

Подпрограмма диффузия позволяет вычислить зна-

чения коэффициентов диффузии в узлах фаз и номера фаз.

Подпрограмма концентрация проводит вычисление коэффициентов разностных уравнений.

Подпрограмма прогноз определяет коэффициенты путем решения прогонкой нелинейных разностных уравнений.

Подпрограмма проверка проверяет образование новых фаз.

В нашей стране создан Государственный фонд алгоритмов и программ (ГФАП), регулярно пополняемый новыми разработками. Кроме того, создаются отраслевые и ведомственные фонды алгоритмов и программ министерствами и ведомствами на основе материалов, разработанных и используемых в подчиненных им организациях и на предприятиях.

5. Промышленные роботы и гибкие автоматизированные системы

В термических цехах еще много вспомогательных операций, выполняемых вручную, которые необходимо механизировать. Такими универсальными механизмами являются роботы — автоматические машины, выполняющие физическую работу вместо человека. Роботы позволяют освободить человека от монотонных, утомительных операций и опасных для здоровья работ. Основная задача промышленных роботов — это выполнение определенных движений (манипуляций) в производственных процессах, заданных программой.

Чаше роботы применяются как механические руки, но для этого предметы должны находиться в определенных местах и иметь определенную ориентировку. Робот может иметь средства передвижения (например, при обслуживании небольших печей и прессов). Передвижение может совершаться как напольным колесным транспортером, так и по монорельсовым путям.

На рис. 16, а дана схема универсального автоматического робота типа механической руки 1, которая имеет следующие движения: поступательное вдоль осей x , z и y (последнее с помощью тележки 3) и вращательные — с колонной 2 на угол α и вокруг своей оси на угол β . Рабочий захват 6 может автоматически открываться и закрываться с движением по стрелке А и вращаться на угол γ вокруг оси цилиндра 5 механической руки.

Принципиальная схема управляющего роботом уст-

ройства 4 приведена на рис. 16, б; это устройство может быть выполнено в виде конструктивно обособленного блока или встроенного в корпус исполнительной части робота. В устройство управления УУ роботом входят: пульт управления ПУ, позволяющий осуществлять ввод и кон-

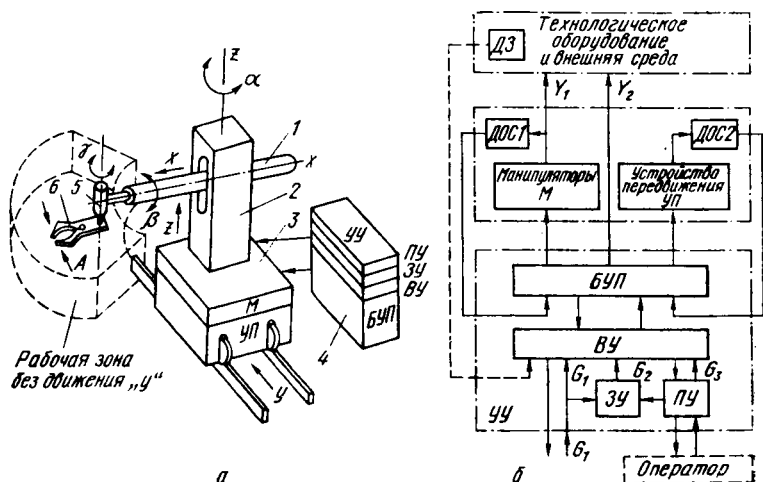


Рис. 16. Автоматический робот-манипулятор:
а — схема устройства; б — функциональная схема управления

троль задания; запоминающее устройство ЗУ, хранящее программу работы и необходимую информацию для расчета траектории движения; вычислительное устройство ВУ, осуществляющее расчет точек траектории движения и оптимизацию алгоритма управления (в очувствленных, адаптивных роботах); блок управления приводами БУП, содержащий элементы следящего привода механизмов манипулятора и устройства передвижения. Также имеются усилители, преобразователи, источники питания, управляющие элементы (реле, контакторы, золотники, электромагнитные клапаны и т. п.). ДДС1 и ДДС2 — датчики обратной связи, число которых определяется числом степеней подвижности манипуляторов и числом координат перемещения исполнительного устройства манипулятора. В качестве датчиков обратной связи используют потенциометры, сельсины, вращающиеся трансформаторы, кодирующие преобразователи и т. п.

Манипулятор робота создает основное воздействие Y_1 на технологическое оборудование или объект манипулиро-

вания (заготовку, деталь, инструмент). Кроме того, на оборудование могут подаваться управляющие воздействия U_2 непосредственно от БУП (например, сигналы на изменение режима работы оборудования).

Разрабатываются роботы, способные к адаптации, распознаванию и анализу создавшихся ситуаций, планированию поведения в виде программы действий (с учетом предыдущего опыта) и другие, имеющие «осязательные» датчики. В осязательных и адаптивных роботах устанавливаются сенсорные и другие датчики для получения дополнительной информации о фактической обстановке в зоне действия манипуляторов робота. Информация датчиков вводится в ВУ для корректировки действия робота.

Широкое применение роботы находят в системах гибких автоматических производств (ГАП). В этом случае на робот могут поступать задающие воздействия G_1 от управляющих устройств более высокого уровня (например, от главной ЦВЭМ).

В автономном режиме задающее воздействие G_2 создается программой, хранящейся в ЗУ. В режиме наладки или обучения задающее воздействие G_3 создается оператором через ПУ. Для решения сложных задач применяют микропроцессоры с мини-ЭВМ.

Промышленные роботы-манипуляторы классифицируются по ряду основных признаков: по числу манипуляторов (1М, 2М, 3М...); числу степеней подвижности (2, 3, ...); типу рабочей зоны (плоская Пл, поверхность Пв, в форме параллелепипеда Пр, цилиндра Цл, комбинированная); грузоподъемности; по типу привода манипулятора (пневматический Пн, гидравлический Г, электромеханический Э, комбинированный); по типу системы управления (с цикловым управлением Ц, позиционным П, контурным К, осязательный робот О, с искусственным интеллектом И), классу точности (0, 1, 2, 3).

Так, робот-манипулятор с обозначением 1М5Цл-8ЭК1 имеет один манипулятор с пятью степенями подвижности, рабочую зону цилиндрической формы, грузоподъемность его 8 кг, привод электромеханический, систему управления контурную, первый класс точности.

В последнее время унифицируют и типизируют схемы модулей манипуляторов промышленных роботов и их узлов. Имея широкий набор стандартных модулей, можно скомпоновать робототехнический комплекс любой сложности, а также реализовать переналаживание робототехнических систем.

На рис. 17 приведены схемы устройства унифицированных модулей промышленных роботов, которые используют для подъема 1, поворота 2, подъема и поворота 3, перемещения с устройством фиксации 4, поворота и перемещения 5, вращения 6, качания 7, выдвижения 8, выдвижения и вращения 9, горизонтального и вертикаль-

ного ходов руки, движения кисти и захватывающих устройств 10—14.

В термических цехах роботы используют для обслуживания печей и закалочных прессов, нагревательных установок (см. рис. 80), контрольных операций, межоперационной транспортировки деталей, особенно в роторных линиях

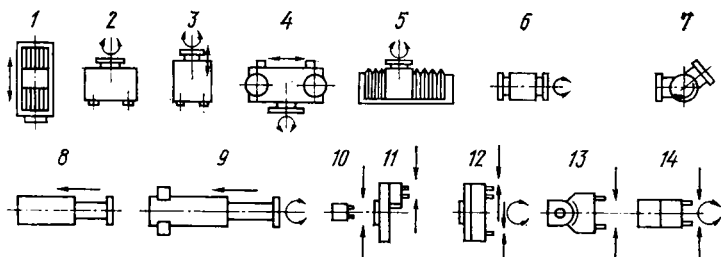


Рис. 17. Схемы унифицированных модулей манипуляторов промышленных роботов

(см. рис. 83) и других. В качестве примера на рис. 18 приведена схема робота, предназначенного для обслуживания карусельной закалочной печи 1. При загрузке печи механическая рука 6 откатывается по раме 4 в нижнее положение и захватывает с позиции 3 деталь, которая поступает из бункера 2 с помощью пневматического толкателя. Далее механическая рука подается в верхнее положение рамы 4 и загружает деталь в печь (это положение показано на рисунке). Для закалки механическая рука вынимает деталь из печи, откатывается в низ рамы и загружает деталь в закалочный пресс 5, находящийся на карусели. Всего на карусели размещено шесть прессов. После закалки карусель поворачивается на 60° , подавая очередной закалочный пресс. Вращение карусели проводится через редуктор 7 от электродвигателя 8. Загрузочный магазин имеет три бункера 2, которые по мере выработки одного из них поворачиваются на 120° .

В Институте машиноведения АН СССР разработана теория и практическое применение авторезонанса для управления роботами. Авторезонанс значительно упрощает средства управления роботами, повышает производительность и дает значительную экономию энергии. Сущность резонанса (в переводе с латинского — «откликаюсь») заключается в том, что система беспрепятственно совершает собственные свободные движения, поэтому действующая на нее внешняя сила подводится лишь для компенсации

потерь на трение. Внешняя сила при резонансе обеспечивает собственными колебаниями системы «режим наибольшего благоприятствования» — и они становятся незатухающими (Л. И. Мандельштам). Механическую систему,

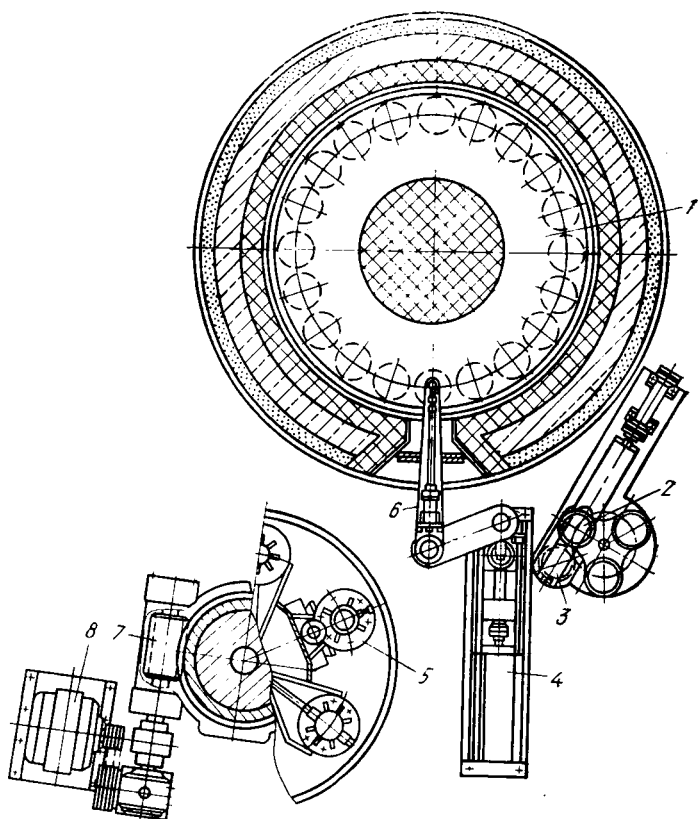


Рис. 18. Схема робота, предназначенного для обслуживания карусельной закалочной печи

способную совершать колебания, оснащают датчиком, который реагирует на ее движение. Энергия извне поступает в систему синхронно с ее собственными колебаниями, что приводит к самовозбуждению и авторезонансу.

На рис. 19 приведена схема резонансного робота МАРС. Робот составлен из трех последовательно соединенных модулей: одного — для вращательного движения и двух — для поступательного (вертикального и горизонтального).

Каждый модуль состоит из двух подвижных одна относительно другой частей, которые связаны пружиной, вследствие чего модуль становится колебательной системой; в крайних положениях он фиксируется защелками. Когда модуль «зашелкнул», его пружина сжата. Освободившись

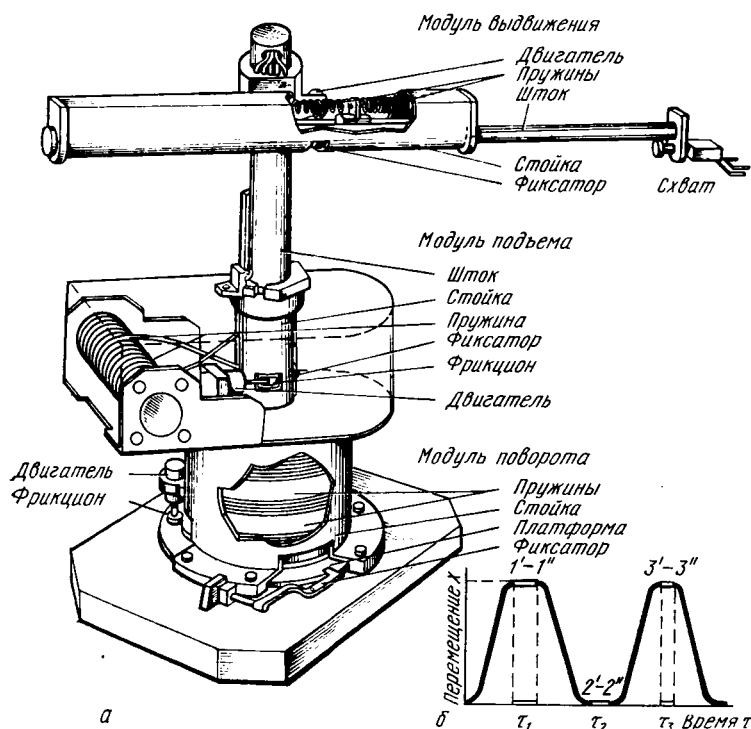


Рис. 19. Схема резонансного робота МАРС (а) и закон движения штоков и платформы (б). Горизонтальные участки τ_1 , τ_2 и τ_3 указывают продолжительности фиксации

от защелки, штоки движутся за счет запасенной энергии, а приводной двигатель малой мощности только слегка подталкивает их, восполняя потери на трение. Проскочив по инерции нейтральное положение, штоки растягивают пружину и защелкивают в другом крайнем положении. Растянутая пружина может в назначенное время (например, по сигналу от предыдущего модуля) отправить штоки обратно.

Авторезонанс применяют и в других системах как

средство оптимальной самонастройки (при сканировании, вибрационной технологии и др.).

В условиях многономенклатурного и мелкосерийного производства при быстроменяющихся производственных условиях и сменяемости выпускаемой номенклатуры применяют гибкие производственные системы (ГПС).

ГПС состоит из двух систем — гибкой автоматизированной производственной системы (ГАПС) и автоматизированной системы управления (АСУ). ГАПС включает автоматизированное универсальное технологическое и вспомогательное оборудование, которое обслуживается роботами-манипуляторами, выполняющими межоперационный транспорт, складирование, вспомогательные и контрольно-измерительные операции. Каждый из соответствующих видов оборудования, входящих в состав ГАПС, образует модуль. АСУ предназначена для управления отдельными модулями технического, вспомогательного и транспортного оборудования.

Отличительной особенностью ГПС по сравнению с автоматическими линиями массового производства является их гибкость, т. е. возможность быстро автоматически перестраиваться на обработку новых деталей и новую технологию в пределах технической возможности комплекса. Особенностью транспортных средств ГПС является также их гибкость, т. е. возможность транспортирования деталей и инструмента к местам обработки, использования и хранения их в произвольной последовательности, применяя «чувствительные», адаптивные роботы с «осязательными», сенсорными датчиками.

Основой автоматизации ГПС является широкое использование систем числового программного управления и вычислительных комплексов для управления и согласования работы оборудования транспорта и всех устройств, необходимых для функционирования ГПС.

Система ГПС объединяет несколько комплексов, в каждом из которых для управления используется ЭВМ, а для управления всей системой — главная ЭВМ.

Основные этапы технического, методического, программного, математического обеспечения и создания пакетов программ ГАПС в принципе остаются теми же, что и при АСУТП. Однако наиболее сложными вопросами являются выбор и построение программного обеспечения управления комплексом от ЭВМ. ГАПС сравнительно просто осуществить при использовании роторных поточных линий.

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Термические цехи и отделения имеют свою специфику. Они не производят деталей, а только придают им определенные физико-механические свойства, причем необходимо сохранение исходной формы и размеров. Кроме случаев, когда в процессе термической обработки специально меняется форма изделия (например, гибка рессорных листов, гибка передней оси автомобиля и т. п.), а также в процессе термомеханической обработки.

Необходимые свойства получаются подбором марки сплава и процессов термической, химико-термической, термомеханической и других обработок, в которых температуры и длительность процессов нагрева, выдержки, скорости охлаждения строго регламентируются. Ускорять процессы термической обработки можно только путем применения прогрессивных методов обработки, предварительно апробированных и включенных в технологические карты. Большое значение в термических цехах, отделениях имеет снижение эксплуатационных расходов (топлива, электроэнергии, материалов, затрат на оплату рабочей силы и др.).

Для реализации основных направлений экономического развития СССР на 1986—1990 гг. и на период до 2000 года необходимо кардинальное ускорение научно-технического прогресса. В свете этих решений задачами термических цехов и отделений являются:

1. Разработка и внедрение технологических процессов термической обработки, значительно ускоряющих и повышающих эффективность производства.

В двенадцатой пятилетке необходимо расширить применение прогрессивных базовых технологий.

В термической обработке предъявляемых к деталям свойств можно достичь различными методами. Так, высокую твердость и износостойкость поверхности деталей можно получить после химико-термической обработки, поверхностной закалки с нагревом т. в. ч., в электролитах, лучом лазера, наплавкой рабочих поверхностей и др. Использование изотермического отжига горячих заготовок (сразу после проката,ковки) для быстрорежущих сталей цикл обработки сокращается с 24—30 до 4—6 ч. Применение термомеханической обработки и упрочнения проката с легированием небольшими дозами карбидообразующих элементов (V, Ti, Nb) позволяет обойтись без последующей термической обработки изделий. В ряде случаев можно заменить высоколегированные стали на менее легированные без использования дорогих и дефицитных элементов, а вместо низколегированных сталей применить углеродистые стали при соответствующих методах термической обработки.

2. Совершенствование оборудования, обновление производства на основе его технического перевооружения и реконструкции, повышение уровня автоматизации и механизации, что очень важно для термических цехов. Основной задачей является замена малопроизводительного оборудования прогрессивным, высокопроизводительным.

Большую роль в совершенствовании оборудования играет разработка и применение стандартизации и унификации печного и агрегатного оборудования, его узлов и деталей, что позволяет резко уменьшить объем работ по проектированию, снизить стоимость изготовления и длительность освоения в производстве.

Для разработки конструкций и изготовления электрических печей и электротермического оборудования у нас имеется ряд проектных институтов.

3. Организация поточного непрерывного производства с применением механизированного и автоматизированного оборудования и поточных линий. Это обеспечивает стабильность технологического процесса со строгим соблюдением температурных режимов. Одновременно значительно повышается качество продукции, сокращаются эксплуатационные расходы, увеличивается эффективность производства.

4. Повышение качества продукции, физико-механических и эксплуатационных свойств деталей (износостойкости, жаростойкости, контактной и усталостной прочности, долговечности и др.) является основной целью термической обработки. Она в значительной степени ответственна за качество деталей. Термическая обработка часто является последней операцией, меняющей свойства. Поэтому в термических цехах и отделениях должен быть тщательно поставлен всесторонний контроль качества выпускаемой продукции.

5. Снижение себестоимости термической обработки благодаря лучшему использованию производственных фондов и оборотных средств, экономии энергетических и материальных ресурсов, хорошей организации производства. Это для термических цехов имеет важное значение, так как они не изготавливают изделия, а только проводят их обработку. Поэтому в себестоимости термической обработки основными статьями являются затраты на топливо, энергию, материалы, рабочую силу и спецобнастку.

Термическая обработка получила значительное распространение на металлургических, машиностроительных, инструментальных и других заводах.

Наиболее целесообразно классифицировать термические цехи по отраслевому признаку, а именно термические цехи и отделения заводов черной и цветной металлургии, машиностроительных заводов, инструментальных и др. Внутри отрасли — по виду обрабатываемой продукции (слитки, трубы, листы, рельсы, поковки, фасонные отливки, готовые детали машин, подшипники, пружины, различные виды инструмента и т. п.). Ниже приводится классификация термических цехов и отделений наиболее распространенных производств в металлургической, машиностроительной и инструментальной промышленности.

Металлургические и метизные заводы черной металлургии — отделения для термической обработки слитков, непрерывно литых заготовок, сортового проката, труб, листов и широкой ленты, проволоки, узкой ленты, рельсов, колес и бандажей, осей, накладок.

Машиностроительные заводы — термические цехи и отделения тяжелого машиностроения для обработки крупных поковок и крупного фасонного литья. Термические заводы массового производства среднего машиностроения (автотракторные, сельхозмашиностроения, моторостроительные и др.). В соответствии со способом изготовления продукции термические цехи и отделения этих заводов разделяются на черновые (первые термические), обрабатывающие заготовки, поковки, мелкое стальное литье, и чистовые (вторые термические), обрабатывающие детали (шестерни, звездочки, разнообразные валы, оси и рычаги, гильзы и др.).

Специализированные термические цехи и отделения для термической обработки деталей подшипников, пружин, рессор и др.

Наконец, возможно размещение оборудования для термической обработки в комплексных поточных линиях основных цехов (механических, механосборочных, кузнечных, литейных).

Инструментальные заводы — цехи и отделения для термической обработки различного вида инструментов, которые могут быть специализированными для одного вида инструмента — режущего (например, завод «Фрезер»), калиброво-измерительного (например, завод «Калибр»), штампового, хирургического. Однако наиболее распространенными являются универсальные термические цехи и отделения для обработки различных видов инструмента и приспособлений, которые имеются на машиностроительных и металлургических заводах.

Возможно также размещение оборудования для термической обработки инструмента в поточных линиях инструментальных цехов, но это пока не получило массового применения.

Металлургические заводы цветной металлургии, цехи и отделения для термической обработки изделий (труб, профилей, листов, проволоки) из тяжелых цветных металлов и сплавов (медных, медно-никелевых и др.) и легких металлов и сплавов (алюминиевых, магниевых, титановых). Однако производство большого числа видов металлургической продукции заводов цветной металлургии имеет много общего в части изготовления, термической обработки и оборудования с продукцией черной металлургии. Поэтому в ряде случаев целесообразно их рассматривать совместно, отмечая особенности производства и термической обработки изделий из цветных металлов.

При размещении отделений термической обработки на машиностроительных заводах необходимо учитывать связь в технологии производства детали с цехами поставщиками и потребителями продукции. Если эта связь имеется с рядом цехов, особенно при единичном и серийном производстве, бывает целесообразным организовать отдельный термический цех.

Размещение агрегатов термической обработки внутри завода зависит от связи термической обработки деталей с другими операциями их изготовления и обработки, а также от расположения цехов и грузопотоков на заводе. Связь термической обработки с другими видами обработки следует из общей технологии изготовления деталей и маршрутных карт.

На металлургических заводах отделения термической обработки размещаются в основных производственных цехах.

На машиностроительных заводах термическую обработку проводят в отдельном термическом цехе (рис. 20, а), в отделениях основных производящих и обрабатывающих цехов: кузнечно-прессовых, фасонносталелитейных, механосборочных, заготовительных (рис. 20, б) или на отдельных агрегатах термической обработки, размещенных на участках и в поточных линиях механосборочных, кузнечно-прессовых, рессорных и других цехов (рис. 20, в).

На инструментальных заводах термическую обработку осуществляют преимущественно в отделениях при инструментальном цехе, а при большом объеме производства — в отдельном термическом цехе.

Специфические особенности некоторых операций термической обработки и вспомогательных участков (азотирования, цианирования, дробеочистки, травления, и т. п.) заставляют выделять их в изолированные помещения с усиленной вентиляцией и другими мерами техники безопасности и охраны труда.

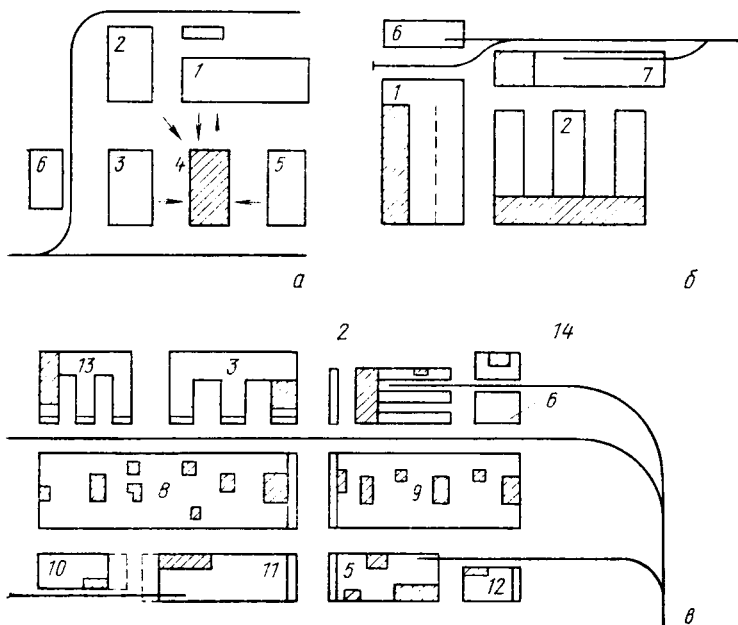


Рис. 20. Схема расположения оборудования для термической обработки внутри машиностроительного завода:

а — отдельный термический цех; б — отделения термической обработки при основных цехах; в — отдельные участки термической обработки в потоке основных и вспомогательных цехов.

Обозначения цехов: 1 — механический; 2 — кузнечный; 3 — литейный; 4 — термический; 5 — инструментальный; 6 — центральный склад; 7 — заготовительный; 8 — сборки; 9 — цех моторов; 10 — опытный; 11 — кузовов; 12 — ремонтный; 13 — ковкого чугуна; 14 — рессорный (А. Г. Солодихин)

В разработке технологии термической обработки большое значение имеет характер производства. В зависимости от номенклатуры, регулярности и объема выпуска изделий различают единичный, серийный и массовый тип организации производства.

Единичное производство характеризуется разнообразной и большой номенклатурой обрабатываемых изделий и малым объемом выпуска однотипных деталей. При

единичном производстве в термической обработке приходится применять обобщенные технологические процессы и универсальное оборудование — камерные печи.

Серийное производство имеет ограниченную номенклатуру периодически повторяющихся изделий и относительно большой выпуск однотипных деталей. При серийном производстве, собирая в группы одинаково обрабатываемые детали, можно применить печи и агрегаты поточного производства, автоматизируя процесс термической обработки. Такие группы подбирают по маркам сталей, однотипной обработке, габаритам и массе деталей.

Массовое производство характеризуется большим объемом выпуска одинаковых и однотипных деталей при небольшой их номенклатуре. Технологические процессы отличаются стабильностью, рабочие места и оборудование специализируются на обработке одного типа деталей. При массовом производстве процесс термической обработки и оборудование подбираются для каждой детали или группы одинаково обрабатываемых деталей. Применяются автоматизированные печи и агрегаты поточного производства, приспособленные для обработки одной или нескольких деталей.

Глава IV

ТЕРМИЧЕСКИЕ ЦЕХИ И ОТДЕЛЕНИЯ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ И МЕТИЗНЫХ ЗАВОДАХ

На металлургических заводах термической обработке подвергают слитки из легированных сталей и цветных металлов, сортовой прокат и пресованные профили, листовой металл, холоднокатаную ленту, трубы, проволоку и основные виды проката, предназначенные для железнодорожного транспорта (рельсы, бандажи, колеса, оси, накладки). Основными технологическими операциями термической обработки, применяемыми на металлургических заводах, являются различные виды отжига, нормализация, высокий отпуск, реже закалка (например, для аустенитных сталей) и закалка с отпуском.

Термическая обработка прокатных изделий может в значительной степени повысить их механические свойства: прочность, пластичность, вязкость, что позволяет снизить массу деталей машин и конструкций, изготовляемых из проката, и повысить эксплуатационную стойкость изделий. Так, термическая обработка рельсов удваивает срок их службы, а термическая обработка железнодорожных вагонных колес увеличивает их стойкость почти в три раза.

В целом ряде случаев можно добиться получения высоких механических свойств прокатных изделий путем комбинации процессов термической обработки и обработки металлов давлением. Для получения высокой прочности в металле нужно создать большое число несовершенств

и искажений в кристаллических решетках, равномерно распределенных по сечению, что возможно сделать путем использования термомеханической обработки. Применяя энергичную деформацию стали в состоянии переохлажденного аустенита и проводя непосредственную закалку не-рекристаллизованного аустенита, можно получить значения прочности до 3000 МПа и выше.

Подготавливая структуру проволоки или ленты путем термической обработки и используя очень высокую степень холодной пластической деформации, можно на проволоке после ее волочения получить значения прочности выше 5000 МПа, а на плющеной ленте — до 3000 МПа.

С дальнейшим развитием науки и техники все чаще становится целесообразным широкое внедрение операций термической обработки непосредственно в потоке прокатных и прессовых цехов.

1. Термическая обработка слитков и заготовок непрерывной разливки стали

Термической обработке подвергают обычно слитки высоколегированных и легированных сталей, а также слитки из цветных сплавов. Термическую обработку проводят с целью понижения твердости и обеспечения возможности обдирки слитка для удаления поверхностных пороков и выравнивания дендритной неоднородности, возникающей в процессе кристаллизации. Понижение твердости конструкционных сталей мартенситного класса (хромоникелевых и хромоникельмолибденовых), которые вследствие устойчивости аустенита получают при охлаждении после прокатки структуру мартенсита или троостита, достигается применением высокого отпуска при 680 °С, обеспечивающего получение структуры сорбита или мелкозернистого перлита.

Слитки из других легированных сталей чаще всего подвергаются полному перекристаллизационному отжигу. Нагрев сталей с высоким содержанием хрома и вольфрама, — повышающим критические точки (3X13, 4X13, X12, X12M, P18, P9), проводят до температур 880—900 °С. Магнитные стали EB6, EK5, коррозионностойкие стали 1X13, 2X13, инструментальные стали XB5, 3X2B8, 4X8B2 нагревают до 820 °С.

Слитки среднелегированных сталей отжигают в том случае, если в результате плавочного контроля они назначаются на обдирку.

Для снижения твердости легированных сталей целесообразно применять изотермический отжиг, задерживая охлаждение слитка сразу после отливки при температуре максимального распада аустенита по типу перлитной ступени. Вследствие ликвации слитки легированных сталей имеют неоднородный химический состав, поэтому приходится делать ряд изотермических выдержек при разных

температурах для того, чтобы каждая точка слитка выдерживалась при соответствующей оптимальной температуре. Для этого применяют сначала значительное переохлаждение аустенита (на 200°C ниже температуры A_{c1}), а затем делают две выдержки при температурах около $A_{c1}=100^{\circ}\text{C}$ и $A_{c1}=50^{\circ}\text{C}$ или же осуществляют замедленное охлаждение слитка в интервале температур от ($A_{c1}=50^{\circ}\text{C}$) до ($A_{c1}=150^{\circ}\text{C}$).

Слитки алюминиевых сплавов для предупреждения растрескивания подвергают отжигу при температуре $275\text{—}300^{\circ}\text{C}$ с выдержкой 1—3 ч, значительно снижающему напряжения. Данная температура соответствует минимальной устойчивости твердого раствора, что вызывает разупрочнение сплава.

Слитки высоколегированных сталей, предназначенные для ответственных изделий, и слитки цветных сплавов подвергают гомогенизации (диффузионному отжигу). С целью ускорения процессов диффузии температура нагрева при гомогенизации выбирается близкой к температуре солидуса. Для стальных слитков температура нагрева при гомогенизации принимается $1100\text{—}1150^{\circ}\text{C}$ с продолжительностью выдержки 12—20 ч, для медноникелевых сплавов температура $1050\text{—}1100^{\circ}\text{C}$ с выдержкой 8—12 ч, для алюминиевых сплавов (Д1, Д16, В95 и др.) температура $460\text{—}520^{\circ}\text{C}$ с выдержкой 16—30 ч в зависимости от степени химической и физической неоднородности слитка. Сплавами меди, для которых необходимо применять диффузионный отжиг, являются оловянистые бронзы, у которых жидкие и твердые фазы значительно различаются по составу, в связи с чем усиливается дендритная ликвация. В меди и латунях ликвационные явления невелики и для их гомогенизации достаточен нагрев под горячую обработку давлением.

Чем сложнее состав алюминиевых сплавов, тем ниже температура гомогенизации и продолжительнее ее выдержки вследствие образования низкотемпературных эвтектик. После гомогенизации алюминиевые слитки охлаждают на воздухе; при их замедленном охлаждении выделяются избыточные фазы.

Выдержка при гомогенизации слитков из алюминиевых сплавов более 25—30 ч нецелесообразна, так как механические свойства слитков после последующей прокатки снижаются.

В результате повышения однородности структуры и химического состава дендритов при гомогенизации слитков

повышаются механические свойства прокатанных изделий и уменьшается степень их анизотропии.

Гомогенизация цветных сплавов способствует, кроме того, частичному растворению и коагуляции пластинчатых выделений, что значительно повышает пластичность сплавов при дальнейшей обработке давлением.

При гомогенизации стальных слитков с высокой температурой нагрева и длительной выдержкой происходит рост зерна и значительное окисление поверхности металла, а в цветных сплавах возможен и пережог. Гомогенизацию стальных слитков лучше

проводить сразу после отливки с охлаждением их до требуемой температуры, при этом экономится топливо и уменьшается время обработки, повышается однородность структуры и уменьшается возможность появления трещины и остаточных напряжений.

На рис. 21 сопоставлены графики гомогенизационного отжига небольших слитков из стали 37ХН3А со специальным нагревом (кривая 1) и с задержкой охлаждения слитка после отливки и последующем охлаждении по режиму изотермического отжига (кривая 2).

Для цветных сплавов целесообразно совмещать процесс гомогенизации слитков с нагревом под прокатку, ковку и прессование, увеличивая для этого продолжительность выдержки в печи при нагреве под горячую пластическую деформацию.

Отжиг и гомогенизацию стальных слитков обычно проводят в печах с выдвижным подом или колодцевых печах. Колодцы размещают вблизи литейной канавы сталелитейного цеха или стрипперного отделения, чтобы на термическую обработку можно было подавать горячие слитки. После снятия изложниц слитки захватывают краном и загружают в колодцы.

Для механизации отжига стальных слитков применяют печи с выдвижным подом. Печи 1 расположены в ряд в боковом пристрое к разливочному пролету сталелитейного цеха (рис. 22) и обслуживаются электрической транспорт-

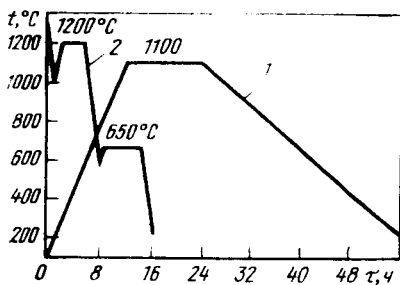


Рис. 21. Кривые гомогенизационного отжига небольших слитков из стали 37ХН3А со специальным нагревом (кривая 1) и с выдержками при охлаждении (кривая 2)

ной тележкой 2. Для приема горячих слитков поды отжигательных печей выдвигаются под кран разливочного пролета. Отожженные слитки проходят окончательное охлаждение вне печи на специальных рельсовых путях 3 и краном передаются в обдирочное отделение.

Гомогенизацию слитков из цветных сплавов (алюминиевых, медноникелевых) чаще проводят в прокатных цехах с совмещением нагрева под прокатку. Для нагрева

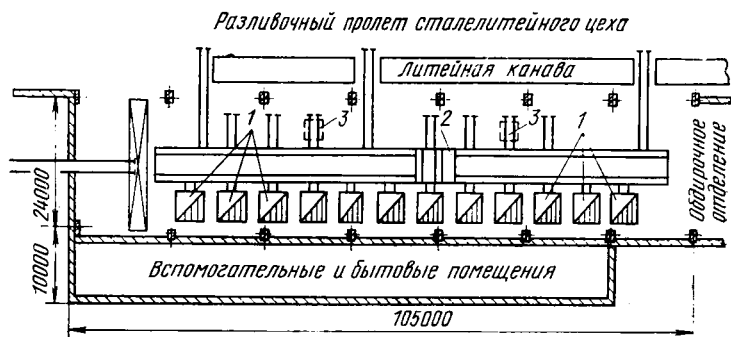


Рис. 22. Схема механизированного отжига слитков в печах с выдвижным подом

применяют ямные печи, в которых при сравнительно низких температурах (600—400 °С) следует применять принудительную циркуляцию воздуха.

Можно гомогенизацию легких цветных сплавов (типа дуралюмина) проводить в поточной линии литейного цеха в туннельной печи (рис. 23). После непрерывной и полунепрерывной отливки в печах 1 (рис. 24) слитки сразу загружают на вагонетки, которые вталкивают в печь 2, где слитки подвергаются гомогенизации. Слитки из печи выдают в пролет прокатного стана 3, где они подвергаются предварительной пластической деформации.

Таким образом, в поточных линиях для гомогенизации используют тепло еще не остывших после литья слитков, а для первой прокатки — тепло нагрева при гомогенизации. Расчет экономической эффективности показал, что при внедрении такой технологии стоимость термической обработки слитков снижается в 2—2,5 раза.

В связи с расширением производства непрерывной разливки стали представляет интерес изучение свойств непрерывно литой заготовки (НЛЗ), которая имеет ряд преимуществ в части малых отходов металла, меньшей

ликации, более мелкой дендритной структуры. Показано на заготовке диаметром 130 мм на стали 30ХГТ, что свойства НЛЗ после нормализации с 930 °С близки к свойствам нормализованной горячекатаной стали, за исключением не-

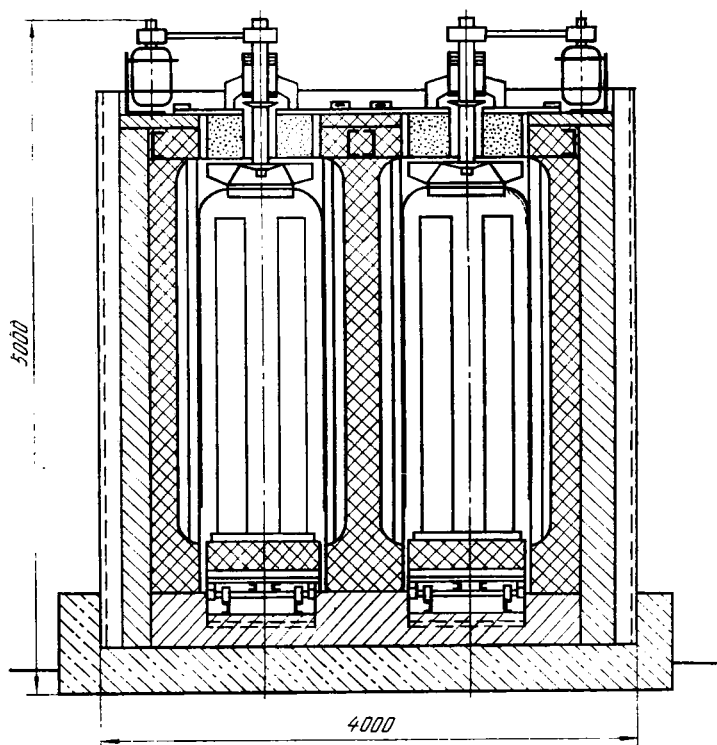


Рис. 23. Поперечный разрез туннельной электрической печи с принудительной циркуляцией воздуха для гомогенизации слитков легких сплавов

сколько меньшей пластичности и ударной вязкости. Наиболее высокий комплекс свойств НЛЗ получается при прокатке с шестикратной вытяжкой, когда ее свойства после нормализации и закалки с низким отпуском находятся на уровне продольных образцов горячекатаной стали после той же термической обработки. Качество непрерывно литой заготовки зависит от значительного числа факторов; от типа применяемой машины непрерывной разливки, конструкции ее основных узлов (промежуточного ковша, разливочных стаканов, кристаллизаторов, опорных устройств,

вторичного охлаждения после кристаллизатора) и технологических режимов литья (скорости разливки, температуры, металлургического качества стали и др.). Существенное значение для получения качественной заготовки, создания

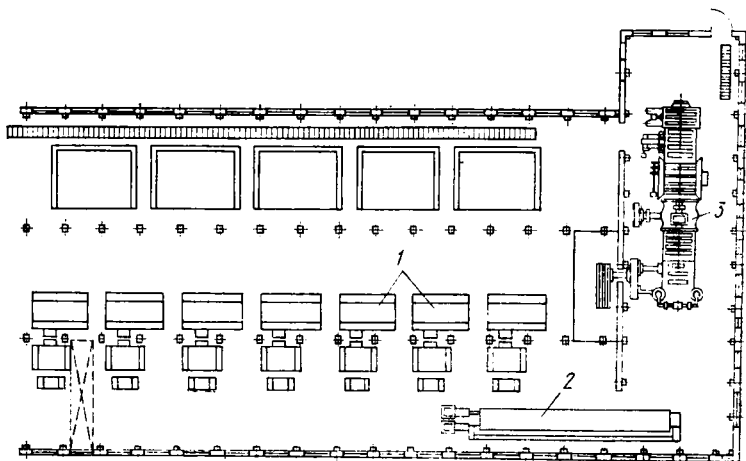


Рис. 24. Расположение гомогенизационной туннельной печи в потоке литейного и прокатного цехов

плотной корочки и исключения выпучивания отливки имеет вторичное охлаждение, которое осуществляется с помощью водовоздушных форсунок. Охлаждающие коллекторы устанавливаются между опорными роликами или брусьями. Для регулирования процесса охлаждения по длине заготовки устраивается несколько охлаждающих зон. При прямоугольном слябе регулируется количество воды, подаваемое на широкие и узкие грани. Температуру поверхности литой заготовки в конце затвердевания рекомендуется поддерживать не менее 800—850 °С. После непрерывной разливки и резки на заготовки следует их прокатка.

Бесспорным преимуществом непрерывной разливки стали является повышение качества отливок и значительная экономия в связи с уменьшением отходов металла. К 1990 г. непрерывная разливка стали должна возрасти в два раза.

2. Термические цехи и отделения для обработки сортового проката и фасонных профилей

Сортовой прокат является наиболее массовым видом продукции (более 50 % всего объема проката). Прутки из черных и цветных металлов изготавливают диаметром или стороной квадрата от 6 до 120 мм. Прокат

из черных и цветных сплавов выпускают и более сложных профилей. Прутки используют в строительных конструкциях, но чаще всего они являются заготовками для получения самых разнообразных деталей и инструмента.

По методу изготовления прутки и профили подразделяют на горячекатаные, холоднокатаные, холоднотянутые и прессованные. Прессованию подвергают преимущественно цветные сплавы с малой пластичностью. Наиболее производительным методом получения прутков является горячая прокатка (прутки диаметром до 6—8 мм). Стальные прутки диаметром меньше 6—8 мм готовят волочением. Прутки из малопластичных цветных металлов получают прессованием с последующим волочением. Горячекатаные прутки общего назначения производят из сталей 10, 20, 35, 45, 20Х, 30Х, 40Х, 10Г2, 15ХМ, 30ХГС, 12ХН2 и др., для шарикоподшипниковой промышленности — из сталей ШХ15, ШХ15СГ, для инструмента — из углеродистых и легированных инструментальных сталей, включая быстрорежущие.

Большое количество стальных прутков используют для армирования железобетонных конструкций.

Согласно техническим условиям, термическая обработка прутков и профилей может быть предварительной, промежуточной и окончательной.

Предварительную термическую обработку горячекатаных стальных прутков и прессованных профилей цветных сплавов (отжиг или высокий отпуск) проводят для понижения твердости, чтобы обеспечить последующую обработку резанием или давлением (высадку, выдавливание, накатку), а также для подготовки структуры к дальнейшей термической обработке.

Конструкционные углеродистые (марки от стали 10 до стали 30) и низколегированные (15Х, 20Х и др.) стали при охлаждении после горячей прокатки на воздухе имеют твердость ниже НВ 230—260 и удовлетворительно обрабатываются давлением и резанием без применения специальной термической обработки. Высоколегированные конструкционные стали бейнитного или мартенситного класса типа хромоникелевых, хромоникельмолибденовых, хромоникельвольфрамовых при охлаждении после прокатки вследствие высокой устойчивости аустенита в перлитной области подкаливаются до НВ 500 и выше. Снижение твердости таких сталей достигается высоким отпуском.

При необходимости перекристаллизации структуры вследствие получения строчечности при низкой температуре прокатки или крупного зерна при отжиге применяют нагрев выше $A_{с3}$ на 20—40 °С с последующим замедленным охлаждением со скоростью 30—50 °С/ч до 600—650 °С.

Для улучшения обрабатываемости резанием конструкционных сталей с содержанием менее 0,2 % С получают в структуре пластинчатый перлит, подвергая сталь нормализации. Стали со средним содержанием углерода (типа

40; 45; 40X и др.), для которых оптимальной является смешанная структура из пластинчатого и зернистого перлита, получают отжигом.

Для углеродистых конструкционных сталей отжиг можно заменить нормализацией с температур $A_{c3} + (30 \div 40^\circ \text{C})$. Для легированных конструкционных сталей, имеющих перлитную ступень распада переохлажденного аустенита, рекомендуется изотермический отжиг с нагревом до $A_{c3} + (30 \div 50^\circ \text{C})$; распад переохлажденного аустенита по перлитной ступени, ориентировочно при температурах $A_{c1} - (80 \div 120^\circ \text{C})$.

Обрабатываемость автоматных сталей улучшают легированием их небольшими количествами серы, свинца, меди, теллура и другими элементами.

Инструментальные стали углеродистые (от марки У7 до У12), легированные (Х, ХГ, 9ХС, ШХ15, Х13Г и др.) и высоколегированные типа быстрорежущих (Р18, Р9, Р6М5, Р6М3 и др.) с целью снижения твердости, улучшения обрабатываемости и подготовки структуры к дальнейшей закалке подвергают отжигу с получением структуры зернистого перлита. При закалке нагрев инструментальных углеродистых и низколегированных сталей проводят до температур немного выше A_{c1} , когда часть карбидов остается в аустените, а при дальнейшей закалке остается в мартенсите, увеличивая износостойкость инструмента. Во избежание снижения пластичности карбиды должны иметь зернистую форму, этого достигают, выдерживая сталь при температуре немного ниже критической точки A_{c1} . Однако это требует много времени, поэтому для получения в инструментальных сталях зернистого перлита их нагревают выше критической точки A_{c1} на $30-50^\circ \text{C}$ с последующим замедленным охлаждением (до $30-50^\circ \text{C/ч}$) при прохождении критической точки. Обычно замедленно охлаждают несколько ниже (до температур $600-650^\circ \text{C}$). Наиболее низкую температуру нагрева применяют для сталей, близких к эвтектоидным, так как они имеют узкий интервал существования карбида в межкритическом интервале (выше A_{c1}). В структуре заэвтектоидных сталей может образоваться сетка цементита, поэтому инструментальные стали перед отжигом контролируют на наличие карбидной сетки. При ее обнаружении сталь подвергают нормализации с нагревом выше A_{cm} , а затем отжигают на зернистый перлит.

В сталях, легированных карбидообразующими элементами (Cr, W, Mo, V), кремнием, критическая точка A_{c1} повышается, поэтому температуру нагрева при отжиге берут

выше. Так, шарикоподшипниковые стали ШХ15, ШХ15СГ отжигают при температуре $A_{c1} + 40^\circ\text{C} = 760 + 40 = 800^\circ\text{C}$, быстрорежущие стали Р18, Р9, Р6М6 при $A_{c1} + 40^\circ\text{C} = 820 + 40 = 860^\circ\text{C}$; скорость их охлаждения в области фазовых превращений до температур $650\text{—}700^\circ\text{C}$ равна $25\text{—}30^\circ\text{C/ч}$. Повышение температуры отжига быстрорежущих сталей ведет к растворению карбидов, в результате чего растет устойчивость аустенита. При длительных выдержках возможно образование стабильного карбида WC , практически не переходящего в раствор аустенита при нагреве под закалку. Для быстрорежущих сталей целесообразно применять изотермический отжиг. После нагрева на 860°C проводят изотермическую выдержку при температурах $760\text{—}780^\circ\text{C}$ для распада аустенита и коагуляции карбидов. Наиболее целесообразно проводить изотермический отжиг горячих заготовок с выдержкой при охлаждении сразу после горячей прокатки при температурах $760\text{—}770^\circ\text{C}$, используя состояние аустенита. Это позволяет провести отжиг в течение $4\text{—}6$ ч вместо $24\text{—}30$ ч при отжиге холодных заготовок в садочных печах. Изотермический отжиг можно применять и для шарикоподшипниковой стали, осуществляя после аустенитизации при $800\text{—}820^\circ\text{C}$ быстрое охлаждение до $660\text{—}680^\circ\text{C}$ и выдержку при этой температуре в течение $3\text{—}4$ ч с дальнейшим охлаждением на воздухе.

Если отжиг инструментальных сталей на зернистый перлит проводят после холодной пластической деформации с обжатиями в $40\text{—}60\%$, то его можно вести с нагревом под критическую точку, так как деформация значительно увеличивает скорость коагуляции карбидов.

Пружинные стали с повышенным содержанием кремния (70С3А, 65С2ВА, 60С2Н2А и др.) целесообразнее отжигать при температурах $700\text{—}720^\circ\text{C}$, при высоких температурах отжига возможно обезуглероживание и графитизация.

Отжиг сортового проката проводят в камерных печах большими садками. Время нагрева зависит от массы садки. При садках $3\text{—}5$, $10\text{—}30$, 50 т и выше скорость нагрева может быть соответственно $150\text{—}200$, $100\text{—}120$, $50\text{—}70^\circ\text{C/ч}$. Средняя нагрузка на 1 м^2 площади пода печи доходит до $2\text{—}3$ т. Сортовой прокат укладывают в специальные скобы и по высоте разделяют рядом прокладок для циркуляции печных газов в толще садки.

Сортовой прокат из газонасыщенной флокеночувствительной стали после горячей прокатки медленно охлажда-

ют в неотапливаемых колодцах. Металл загружают штабелями, температура посадки в колодцы должна быть не ниже 700 °С.

Коррозионностойкие, жаростойкие, жаропрочные и теплоустойчивые стали, имеющие мартенситную, ферритомартенситную и перлитную структуру, подвергают отжигу. Теплоустойчивые стали поставляют по ГОСТ 20072—74, а коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные — по ГОСТ 5949—75, в ГОСТах указана твердость после отжига. Чаще всего отжиг проводят при температуре $A_{c1} + (40 \div 60^\circ\text{C})$ с медленным охлаждением ($25\text{—}40^\circ\text{C/ч}$) до температуры 650—700 °С.

Термическая обработка аустенитных и ферритных сталей является конечной операцией. Аустенитные стали подвергают высокотемпературной закалке с охлаждением в воде или на воздухе, а ферритные — высокому отпуску с быстрым охлаждением для повышения вязкости.

Прутки из калиброванной стали изготавливают из подката после небольшой холодной деформации (2—3 %) с целью получения гладкой поверхности и точных размеров. Методами получения являются волочение и прокатка с калибровкой.

Калиброванную сталь изготавливают из углеродистых и легированных сталей, поставляют ее нагартованной или термически обработанной — для большинства сталей после рекристаллизационного отжига с целью снижения твердости при температурах несколько ниже точки A_{c1} ($A_{c1} - 20^\circ\text{C}$). Подкат для калиброванной стали должен иметь структуру зернистого перлита, что достигается сфероидизирующим отжигом с нагревом выше A_{c1} и замедленным охлаждением до 650—600 °С. К калиброванной стали предъявляют очень жесткие требования по обезуглероженному слою (особенно для подшипников), поэтому отжиг проводят в контролируемой атмосфере типа экзогаса (ПСО-09) с небольшими добавками (2—3 %) природного газа. Глубина обезуглероженного слоя для шарикоподшипниковых сталей не должна превышать 1 % от диаметра прутка. Твердость углеродистой стали после отжига в зависимости от содержания углерода находится в пределах НВ 143—229 (ГОСТ 1050—74), а легированной — НВ 163—255 в зависимости от состава (ГОСТ 4543—71).

Отжиг подката и калиброванной стали проводят в колпаковых печах, в проходных роликовых печах с контролируемой атмосферой или в индукционных установках, а также непосредственным нагревом электрическим током.

Промежуточную термическую обработку проводят между операциями холодной пластической деформации. Цель ее — снятие наклепа и проведение рекристаллизации для осуществления дальнейшей деформации. Наиболее целесообразным видом промежуточной обработки холоднодеформируемого металла является рекристаллизационный отжиг с нагревом ниже критической точки на 20—30 °С. В этом случае рекристаллизация идет быстро, обеспечивая металлу равноверную величину зерна и возврат пластических свойств.

Окончательная термическая обработка прутков и профилей проката назначается в зависимости от марки стали, технических условий и может состоять из следующих операций: нормализации, закалки с последующим отпуском, закалки в воде (для аустенитных сталей). Профили из алюминиевых деформируемых сплавов проходят закалку в воде и последующее старение. Большинство прутков из латуней, медноникелевых сплавов, имеющих структуру однородного твердого раствора, подвергают отжигу. Для термической обработки наряду с нагревом в печах используется нагрев т. в. ч., а для прутков малых сечений — непосредственное пропускание электрического тока через изделие. Широко применяют упрочнение с прокатного нагрева.

Ниже приводятся наиболее распространенные режимы термической обработки прутков и профилей проката.

Прутки и профили общего назначения на металлургических заводах готовят как полуфабрикаты, а упрочняющей термической обработке подвергают детали и конструкции на машиностроительных заводах. Для ряда прутков и профилей проката из углеродистых и низколегированных сталей требования по механическим свойствам обеспечиваются химическим составом и режимом горячей прокатки, поэтому они не подвергаются термической обработке. При несоответствии получаемых свойств техническим условиям для прутков из низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей проводят нормализацию с температур несколько выше точки $A_{с3}$, а для снижения твердости высоколегированных конструкционных сталей — высокий отпуск при 660—680 °С.

Холоднокатаные и холоднотянутые прутки подвергают промежуточному рекристаллизационному отжигу для устранения наклепа. В качестве окончательной термической обработки применяют нормализацию и высокий отпуск. Прутки и профили упрочняют методами высокотемпера-

турной термомеханической обработки (ВТМО) и контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением.

Прутки и профили из нержавеющей и жаростойких сталей аустенитного класса типа Х18Н9Т, Х18Н12Т, 20Х20Н14С2, 20Х23Н18 и др. с целью получения аустенитной структуры при комнатной температуре подвергают закалке с 1050—1100 °С с охлаждением в воде (прутки малого диаметра охлаждают на воздухе).

Полуфабрикаты из ферритных сталей типа Х17Т, Х25Т, Х28, не имеющих фазовых превращений, проходят высокий отпуск при 760—800 °С с ускоренным охлаждением с целью повышения ударной вязкости; из полуферритных и мартенситных сталей 2Х13, 3Х13 и др. подвергаются закалке с 1000—1050 °С и отпуску при 700—800 °С.

Стержни для армирования железобетонных конструкций изготавливают диаметром от 6 до 40 мм из сталей Ст3 (0,14—0,22 % С), Ст5 (0,28—0,37 % С), Ст6 (0,38—0,49 % С), 20ГС, 35ГС, 20ГС2, 35Г2С, 20ХГС, 20ХГ2Ц, 23Х2Г2Т и др. Стержневую арматуру по прочности разделяют на семь классов (ГОСТ 10884—81). С третьего класса стержни подвергают термическому упрочнению (АТ-III). Термическая обработка стержней заключается в закалке со средним отпуском (350—450 °С) в зависимости от марки стали. Для нагрева под закалку и отпуск часто используется электронагрев с непосредственным пропусканием тока через стержень, особенно в случае создания предварительно напряженных железобетонных конструкций. Применяется упрочнение с прокатного нагрева в потоке стана. При этом повышаются механические свойства и значительно снижаются эксплуатационные расходы.

Термически упрочненная арматура в предварительно напряженном состоянии склонна к коррозионному растрескиванию. Как метод борьбы с этим явлением предлагается снизить содержание марганца в стали до 0,4—0,6 % при содержании кремния до 1,5 %, а для повышения прокаливаемости ввести бор (например, для класса АТ-V, сталь типа 25С2Р).

Прутки и прессованные профили из алюминиевых деформируемых сплавов типа Д1, Д16, В95 и др. подвергают старению. Для получения пересыщенного твердого раствора нагрев проводят до 460—500 °С в зависимости от состава сплава. Чем сплав легированнее, тем вероятнее присутствие в нем сложных эвтектик, плавящихся при более низких температурах. Охлаждение проводят в воде. При этом необходимо осуществлять возможно более быстрый

перенос нагретого изделия в воду, иначе возможен распад твердого раствора при охлаждении на воздухе с резким снижением свойств. Старение проводят при температурах 120—140 °С, а для сплава Д1 применяют естественное старение. При этом повышается прочность. Так, на сплавах типа В95 можно получить временное сопротивление до 600 МПа при удлинении 12 %.

Прутки и профили из цветных сплавов типа латуней, медноникелевых сплавов в большинстве подвергаются рекристаллизационному отжигу между операциями холодной пластической деформацией. Температура отжига с целью сокращения времени процесса 600—650 °С, т. е. значительно выше температур рекристаллизации.

Профили из титановых сплавов подвергают отжигу и закалке со старением. Наиболее распространенным видом термической обработки является отжиг, который проводят с целью уменьшения остаточных напряжений, полигонизации, рекристаллизации и фазовой перекристаллизации. Отжиг для уменьшения остаточных напряжений (неполный отжиг) проводят при 500—600 °С. Температура начала рекристаллизации титановых сплавов высокая, в зависимости от типа сплава и размера деформации она равна 800—900 °С. Температура отжига для большинства профилей из титановых сплавов составляет 750—800 °С, а для сплавов типа ВТ18 она повышается до 900—980 °С. Для жаропрочных сплавов ВТ3-1, ВТ8, ВТ9 и др. применяют изотермический отжиг при 900—950 °С с переносом в среду с температурой 580—630 °С, выдержка 1—3 ч.

Упрочняющей термической обработке (закалка + старение) подвергают титановые сплавы со структурой ($\alpha + \beta$). Сплавы с малым количеством β -фазы (ВТ3-1, ВТ6, ВТ14, ВТ16, ВТ23) закалывают от 850—900 °С. При большом количестве фазы (ВТ22, ОТ4) температура нагрева под закалку снижается до 730—750 °С, повышение температуры нагрева вызывает падение прочностных свойств. Большое значение имеет регулирование скорости охлаждения при закалке и быстрый перенос изделия в закалочную среду. Старение проводят при 500—600 °С, когда упрочнение создается дисперсной α -фазой при продолжительности старения от 2 до 12 ч.

Для удаления окалины и газонасыщенного слоя профили после старения проходят травление в щелочном и кислотном водных растворах.

Титановые сплавы сильно насыщаются газами (O_2 , H_2), поэтому их нагрев при отжиге и закалке следует проводить

в атмосфере инертных газов (в аргоне) или вакууме с разряжением не менее 0,7 Па.

Оборудование и организация работы

Для отжига различных профилей проката при массивной садке широко используют камерные печи с выдвижным подом; камерные печи с неподвижным подом, обслуживаемые загрузочной машиной; ямные печи со съёмным сводом и колпаковые печи с контролируемой атмосферой. Печи для отжига чаще располагаются рядами, механизацию загрузки и выгрузки деталей осуществляют загрузочные машины, разнообразные транспортные тележки или мостовые краны.

Для отжига при легкой садке предпочитают применять камерные печи с нижними топками, обеспечивающие быстрый и равномерный нагрев, а также колпаковые печи с контролируемыми атмосферами.

Типичный план цеха с камерными печами для отжига приведен на рис. 25. Печи 2 размещены в один ряд в 24-м пролете. Их обслуживают напольные загрузочные машины 1. Металл из прокатного цеха на платформах по железнодорожному пути поступает в крайний 18-м пролет 1 склада. В конце склада установлены стеллажи для пакетирования металла. С них прутки, пакетированные с помощью скоб, забираются загрузочной машиной и помещаются для отжига в любую освободившуюся печь. После отжига металл окончательно охлаждают на стеллажах, расположенных между печами в 15-м пролетах II—IV. Твердость металла контролируют на столах-рольгангах 3.

Искривленные прутки проходят правку на семивалковых машинах 4 и правильном прессе 5. После правки от прутков отрезают пробы на дисковых пилах 6, и прутки поступают на столы-рольганги 7 для светления, контроля поверхностных дефектов и зачистки площадок на наждачных станках для измерения твердости. Окончательную приемку проводят на инспекторских столах 8. Принятые прутки взвешивают на весах 9 и направляют на промежуточный склад готовой продукции, с которого их отправляют в вагонах по железнодорожным путям, имеющимся в каждом пролете. Передачу из одного пролета в другой, а в случае необходимости в травильное отделение проводят электрофицированной тележкой 10.

При такой планировке изотермический отжиг можно проводить в двух печах. При изотермическом отжиге в одной печи эффективность его невысокая вследствие

медленного охлаждения камерной печи с большой садкой до температуры изотермической выдержки и длительного выравнивания температуры по садке. В результате периодического охлаждения кладки печи существенной экономии топлива не происходит. Механизация загрузки и выгрузки

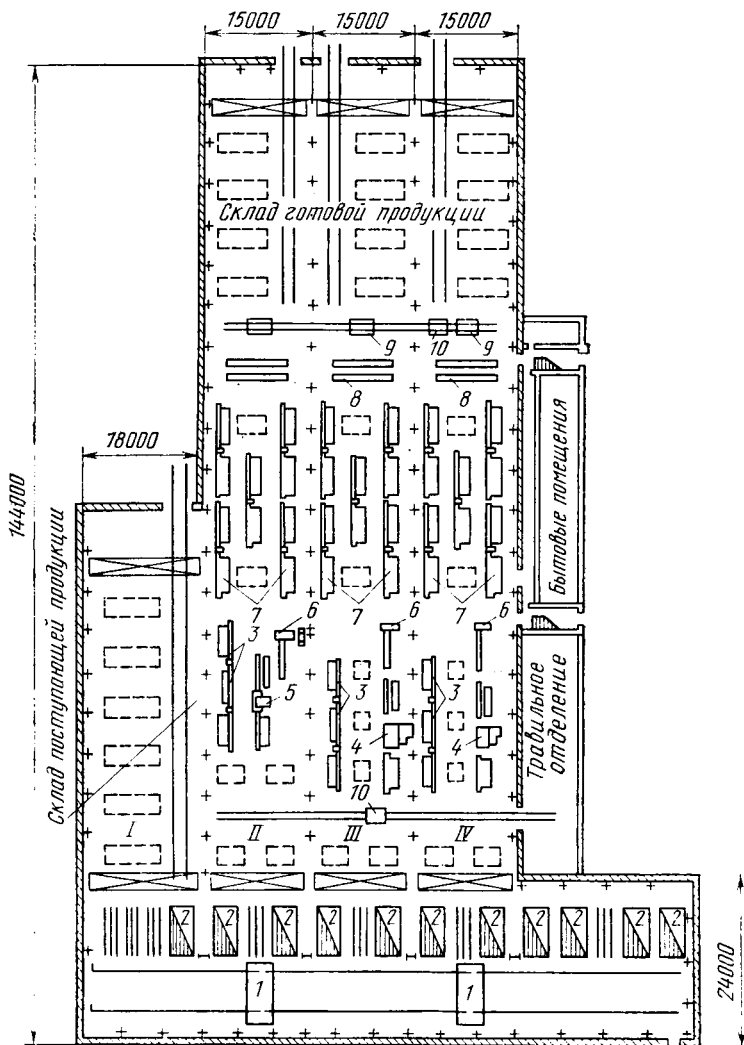


Рис. 25. План цеха для отжига сортового проката в камерных печах с внешней механизацией

с помощью шаржирных машин и транспортных тележек позволяет вести изотермический отжиг с нагревом металла до состояния аустенита в одной печи, а в другой — изотермическую выдержку с последующим охлаждением на воздухе.

План цеха, оборудованного печами с выдвижным подом, приведен на рис. 26. Отжигательные печи 1 располагаются

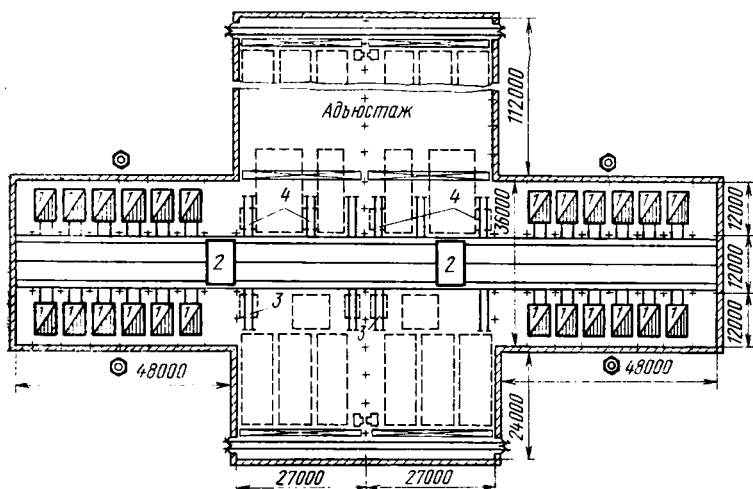


Рис. 26. План цеха для отжига сортового металла в печах с выдвижным подом

в боковых пристройках, примыкающих к основным пролетам, и обслуживаются двумя транспортными тележками 2. Металл в цех доставляется на платформах по нижнему железнодорожному пути и разгружается мостовыми кранами на промежуточные склады. Затем металл пакетируется в скобы и кранами загружается на выдвижные поды печей, находящиеся на тупиковых путях 3. Поды с металлом доставляются тележками 2 к любой свободной печи. Отожженный металл для разгрузки передается теми же тележками на тупиковые пути 4 и дальше мостовыми кранами транспортируется в отделение адьюстажа для контроля твердости, правки, зачистки и т. д. На плане оборудование адьюстажа не изображено, так как его расположение аналогично предыдущему (см. рис. 25). При использовании печей с выдвижным подом упрощается загрузка и выгрузка печей, но нагрев садки происходит неравномерно: из-за

холодного пода низ садки нагревается медленнее, кладка подов печей при их транспортировании часто разрушается.

Агрегаты и поточные линии для термической обработки сортового проката

Сортопрокатные цехи имеют высокую степень автоматизации, которая продолжает развиваться в связи с переходом на непрерывные методы прокатки. Термическая обработка в камерных печах прерывает поточную линию, требует больших площадей и применения ручного труда.

Для создания единого потока в прокатном цехе для обработки легированных сталей, за исключением сталей бейнитного и мартенситного классов, рационально применять изотермический и сфероидизирующий отжиг в роликовых и конвейерных печах с контролируемой атмосферой (ПСО-09) и нагревом радиационными трубами или в установках с индукционным нагревом.

Роликовая печь для изотермического отжига состоит последовательно из участка загрузки, входного тамбура, собственно печи, имеющей восемь температурных регулируемых зон, водоохлаждаемой секции и участка разгрузки. Прутки продвигаются по роликовому поду слоем толщиной 100—120 мм. Режим отжига: нагрев 3 ч (две зоны), выдержка при 800 °С — 1,5 ч (одна зона), охлаждение до 700 °С — 1,5 ч (одна зона), выдержка при 700 °С — 6 ч (четыре зоны) и участок охлаждения вне печи — 1,5 ч.

Однако наиболее целесообразно проводить изотермический отжиг горячих заготовок сразу после прокатки (рис. 27), используя состояния аустенита. Для этого вблизи от-

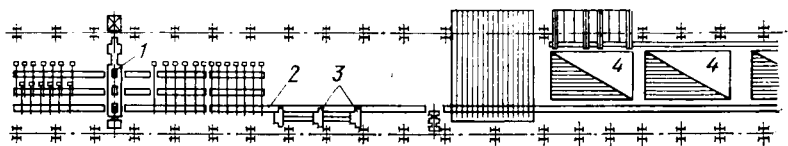


Рис. 27. Схема поточной линии для изотермического отжига горячих заготовок сразу после прокатки

водящего рольганга 2 прокатного стана 1 после ножниц 3 для горячей резки металла следует установить конвейерные или толкательные печи 4, настроенные на температуру изотермической выдержки. После разрезки прутков на заданные размеры их шлеперами забирают с отводящего рольганга и они поступают в проходные механизированные печи

для изотермической выдержки. После отжига прутки рольгангами доставляются на складские места или в ямы для окончательного охлаждения и далее направляются на контроль и отделку.

При изотермическом отжиге требуется быстрое охлаждение заготовок с температуры аустенитного состояния и продолжительная выдержка при температуре переохлаждения. Поэтому для изотермического отжига горячих заготовок сразу после прокатки можно рекомендовать конвейерные печи с двумя последовательно расположенными конвейерами, двигающимися с различными скоростями. На первом конвейере прутки располагаются в один ряд и быстро принимают температуру печи. На втором конвейере происходит длительная изотермическая выдержка. Для этого скорость движения второго конвейера уменьшена и прутки на него укладывают в несколько рядов, что обеспечивается более низким расположением ленты второго конвейера по отношению к уровню расположения ленты первого.

Для отжига на зернистый перлит требуется много времени. Однако для ряда инструментальных сталей (например, шарикоподшипниковых) отжиг можно ускорить применением предварительной сорбитизации с прокатного нагрева. Сортовой прокат сразу после горячей прокатки охлаждают на отводящем рольганге водяным душем до получения сорбитной структуры. В результате этого на 25—30 % сокращается последующий отжиг на зернистый перлит и значительно повышается качество проката.

В последнее время при массовом производстве для рекристаллизационного отжига используют индукционный нагрев. Установка для рекристаллизационного отжига состоит из приемно-загрузочного устройства с подающим механизмом, индукторной группы с тянущим механизмом (число нагревательных индукторов составляет 3—5) и приемно-разгрузочной линии. Скорость перемещения нагреваемого прутка может меняться в широких пределах — от 50 до 200 мм/с и выше. Чем больше индукторов установлено в одну линию, тем больше скорость движения прутков и выше производительность установки. Для нагрева чаще применяют установки т. в. ч. с машинным генератором частотой тока 2500 Гц и мощностью до 300 кВт и более, коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,8 \div 0,9$. В связи с высокой скоростью нагрева т. в. ч. температуру нагрева берут выше на 60—100 °С, чем при печном нагреве. Чем дисперснее исходная структура, тем эта разница меньше.

Для стали ШХ15 при диаметре прутков 24 мм и нагреве на 780 °С скорость их движения через индукторы составляет около 0,3 м/с, а для прутков диаметром 32 мм 0,2 м/с. Линия имеет четыре последовательно расположенных индуктора длиной 650 мм, из них первый и второй имеют по 45 витков, а третий и четвертый — по 31 витку общей мощностью 200 кВт, частотой 2500 Гц и производительностью до 1 т/ч. Расход энергии ~300 кВт·ч/т.

Нормализацию и закалку осуществляют в роликовых печах скоростного нагрева, а также установках индукционного нагрева и контактного электронагрева методом сопротивления. Охлаждение при закалке в установках с печами скоростного нагрева и в индукционных установках проводят водяным или водовоздушным душем при непрерывном движении заготовок через установку. В случае индукционного нагрева индукторы и спрейеры располагают между приводными роликами.

На установках т. в. ч. нагревают прутки от 12 до 120 мм, длиной до 6 м. Применяемая частота для прутков диаметром до 40 мм 8000 Гц, а для прутков больших диаметров 2500—5000 Гц. Потребляемая мощность доходит до 1200 кВт и более, а производительность до 2—3 т.

Для прутков небольшого диаметра может быть использован нагрев с непосредственным пропусканием электрического тока через изделие. Установка для нагрева сопротивления прутков диаметром 10—40 мм и длиной 4—6 м до температур 900 °С при мощности 120 кВт и вторичном напряжении 10—25 В имеет производительность до 250 кг/ч. Время нагрева прутка диаметром 20 мм до 900 °С составляет 2 мин. При мощности 250 кВт производительность достигает 500 кг/ч.

Установка для термоупрочнения методом прямого электронагрева прутков арматуры для железобетонных конструкций приведена на рис. 28. Прутки загружают в бункер 1, затем они поступают в узел высадки головок 2. После этого прутки подают на позицию нагрева 3. Концы прутка зажимают между подвижным и неподвижным контактом. После нагрева до заданной температуры прутки сбрасываются на захват 4 поворотного устройства и погружаются в закалочную ванну 5. Закаленный прутки тем же захватом подается на позицию 6 для нагрева под отпуск. Вращение поворотного устройства осуществляется приводимой в движение рейкой, соединенной со штоком пневматического цилиндра 7.

Значительные перспективы в повышении механических

свойств профилей проката, а следовательно, уменьшения массы конструкций и машин дает применение высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) и контролируемой прокатки. Такая обработка значительно повышает характеристики прочности, пластичности и вязкости

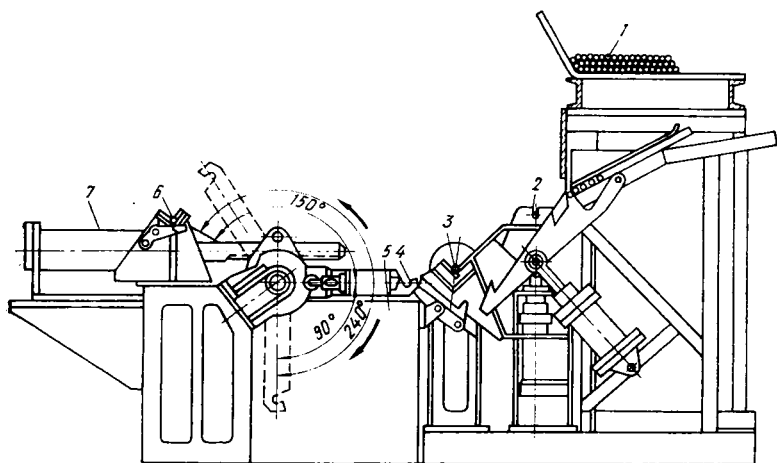


Рис. 28. Схема автоматической установки для термического упрочнения прутковой арматуры методом прямого электронагрева

стали при понижении порога хладноломкости. На стали 35ХГС применение ВТМО с обжатием в последних ручьях 20—25 % и закалки нерекристаллизованного аустенита от 800 °С дает повышение ударной вязкости при испытании в условиях комнатной температуры с 0,2 МДж/м² (после закалки без применения термомеханической обработки) до 0,6—0,7 МДж/м² и выше. При испытании в жидком азоте стали 35ХГСА, подвергнутой ВТМО, ударная вязкость доходит до 0,5—0,6 МДж/м², сжатие площади поперечного сечения 14—16 % и предел прочности 1600—1650 МПа. Та же сталь, закаленная без применения термомеханической обработки, дала при испытании в жидком азоте ударную вязкость 0,1—0,2 МДж/м², сжатие 0—4 %, временное сопротивление 1300 МПа. Однако процесс рекристаллизации аустенита при температурах 850—800 °С протекает очень быстро, поэтому часто ограничиваются упрочнением за счет контролируемой прокатки и быстрого охлаждения сразу по выходе из последней клетки. При контролируемой прокатке стараются выдержать последнее обжатие 20—

25 % и температуру около точки A_{c3} . Трудностью в освоении упрочнения проката было обеспечение интенсивного и равномерного охлаждения стержней, движущихся со скоростями прокатки 15—20 м/с, и высокая температура (1000—1050 °С) по выходе из чистовой клетки. Хорошие результаты дало охлаждение стержней арматуры направленным потоком водовоздушной смеси со скоростью 30—50 м/с, т. е. в 2—3 раза превосходящей скоростью прокатки. Высокие скорости воды позволили одновременно с охлаждением осуществить гидротранспортирование стержней.

Охлаждающее устройство состоит из девяти последовательно расположенных секций общей длиной 30 м. В начале секции устанавливается форсунка 1, которая дает кольцевую струю воды, направленную в охлаждающую камеру 2 на изделие. В конце камеры установлено гидравлическое охлаждающее устройство 3 (рис. 29). Эта установка позво-

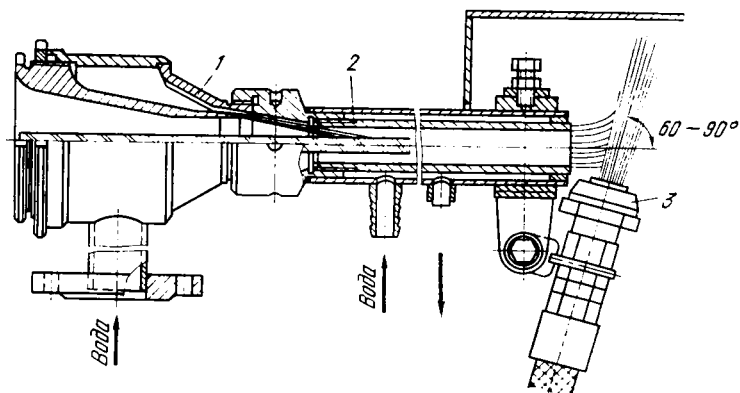


Рис. 29. Схема охлаждающего и гидротранспортирующего устройства для стержней

ляет значительно увеличить скорость охлаждения и на стали Ст5 получить в стержнях диаметром 20 мм временное сопротивление более 900 МПа и удлинение 12 %, а на стали 35ГС — более 1200 МПа при удлинении 7 %.

Вследствие развития рекристаллизационных процессов при высокой температуре пластической деформации в чистовой клетке, для частичного использования эффекта ВТМО проводят энергичное охлаждение стержней сразу по выходе из чистовой клетки (не позднее 0,8—1,5 с).

Криворожским металлургическим заводом упрочнено

несколько миллионов тонн стержней классов АТIII—АТVI. Кроме повышения механических свойств, удалось заменить легированную сталь 20ГС углеродистой сталью Ст5, а сталь 23Х2Г2Т — сталью с меньшей степенью легированности 20ГС, 20ГС2.

Фасонные профили (уголки, швеллеры, двутавры) подвергают упрочнению с прокатного нагрева. Успешно проведено упрочнение уголков № 10, швеллеров № 16—20, двутавровых балок № 55 из сталей Ст3, Ст5, 09Г2. Хорошие результаты при упрочнении дает использование дифференцированного охлаждения с различным подводом охлаждающей воды к тонким и толстым сечениям профиля. Так, при охлаждении уголка поток воды направляют на его внутреннюю часть. Последующий отпуск закаленных профилей при 550—650 °С позволяет получить однородную структуру по всему сечению профиля.

Для некоторых профилей алюминиевых сплавов закалку можно проводить сразу после прессования. Обычно температура прессования бывает несколько ниже оптимальной температуры нагрева для закалки. Поэтому вслед за прессом устанавливают печь для дополнительного подогрева и выравнивания температуры прессованных профилей. За подогревом следует непрерывно-последовательное охлаждение профилей душированием. При охлаждении профили коробятся, поэтому их охлаждают в спрейерных устройствах, которые позволяют реализовать принцип «тепловой правки».

Контроль качества сортового проката и профилей

Контроль твердости. Твердость после отжига или высокого отпуска не должна превышать: для углеродистых сталей НВ 149—229 (ГОСТ 1050—74), для легированных НВ 163—269 (ГОСТ 4543—71), для пружинных НВ 229—285 (ГОСТ 14959—79), для быстрорежущих НВ 255—269 (ГОСТ 19265—73). Для контроля твердости и структуры начинают внедряться в производство магнитные и электрические методы, а для выявления трещин, раковин и других внутренних дефектов применяют ультразвуковые, магнитные и электромагнитные методы. Для сортового проката, согласно требованиям ГОСТ или технических условий, проводят испытание механических свойств при растяжении. Для упрочненной арматурной стали в зависимости от класса прочности временное сопротивление должно быть не менее 800—1300 МПа при удлинении 8—5 %. Прутки, предназна-

ченные для холодного выдавливания, подвергают холодной осадке на $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ или $\frac{1}{4}$ от исходных размеров образца.

Глубину обезуглероженного слоя прутков определяют по ГОСТ 1435—71. Она не должна превышать для малых диаметров 2—3 %, для диаметров свыше 60 мм 1,5 %, а для холоднотянутой стали 1,0 % от диаметра прутка.

Микроструктура шарикоподшипниковых и инструментальных сталей должна представлять равномерно распределенный зернистый перлит. Прутки диаметром или толщиной более 60 мм контролируют на отсутствие в микроструктуре карбидной сетки.

3. Термическая обработка листов и широкой ленты

Выпуск листов и широкой ленты составляет более 40 % от объема проката, их объем производства непрерывно возрастает. Увеличивается и выпуск термически обрабатываемых листов с целью повышения их свойств и снижения металлоемкости изделий, изготавливаемых из проката. В большом количестве листы используют как конструкционный и строительный материал. Их условно делят на толстые (толщиной более 4 мм — ГОСТ 1577—81) и тонкие (толщиной менее 4 мм). Толстые листы изготавливают горячей прокаткой (горячекатаные); значительная часть тонких листов после горячей прокатки для получения гладкой поверхности и равномерной толщины листа подвергается холодной прокатке (холоднокатаные). В большинстве случаев тонкие листы готовят из широкой ленты, получаемой на многовалковых станах непрерывной прокатки. Для изготовления листов в зависимости от их назначения и предъявляемых требований применяются углеродистые, мало и высоколегированные стали и цветные сплавы.

Термическая обработка толстолистовой стали

Толстые листы толщиной 4—160 мм используют при строительстве мостов, промышленных и гражданских сооружений, трубопроводов, в судостроительной, автотракторной, вагоно- и тепловозостроительной, котельной, химической, оборонной промышленности и в значительном количестве как заготовки для получения тонких листов.

Для листов, используемых в конструкциях, важным технологическим свойством является свариваемость, поэтому в стали приходится ограничивать содержание углерода и легирующих элементов, учитывая углеродный эквивалент

$$C_s = C + \frac{Mn}{8} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{5} + \frac{Cu}{13} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{4} \leq 0,43.$$

Стальной толстый лист изготавливают по ГОСТ 5521—76, ГОСТ 5520—79 из углеродистых сталей с содержанием 0,08—0,30 % С или низколегированных хорошо свариваю-

щихся сталей типа 15Г, 20Г, 09Г2, 09Г2Д, 14Г2, 12ГС, 16ГС, 09Г2С, 09Г2СД, 15Г2С1, 15Г2СФ, 15Г2СФД, 15Г2АФ, 15Г2АФД, 14ХГС, 10ХСНД, 15ХСНД и др.

По нормируемым механическим свойствам листы подразделяют на 17 категорий с механическими свойствами в состоянии поставки $\sigma_b = 450\text{—}550$ МПа при $KCU^{-40} = 0,3\text{—}0,4$ МДж/м² в зависимости от категории прочности и марки стали (ГОСТ 19282—73).

Требуемые механические свойства толстых листов из углеродистых и низколегированных сталей часто могут быть получены сразу после горячей прокатки при регулируемом режиме прокатки, а именно при температуре конца прокатки около критической точки A_{r3} . При наличии смотки горячекатаной полосы в рулон стараются поддерживать температуру смотки 600—650 °С. Понижения температуры достигают системой водо-воздушного охлаждения полосы на пути от выхода из прокатного стана до моталки.

Для улучшения структуры, измельчения зерна и повышения механических свойств листы из углеродистых и низколегированных сталей подвергают нормализации с 920—900 °С. В зависимости от технических требований иногда после нагрева применяют спрейерное ускоренное водо-воздушное охлаждение с последующим высоким отпускком при 620—680 °С или закалку с отпускком.

Толстолистовую сталь категорий 7—9 и 13—15 поставляют в термически обработанном состоянии, а категорий 1—6 и 10—12 в зависимости от требований заказчика в термически обработанном состоянии и без термической обработки. Можно получить упрочнение листового проката контролируемой прокаткой, выдерживая температуру конца горячей прокатки около критической точки A_{r3} , а последние обжатия в пределах 20—25 %. Если при этом удастся избежать рекристаллизации полностью или частично, то получается дополнительное повышение свойств в результате наследования структуры деформированного аустенита — высокой плотности дислокаций, мелкого зерна, блочной дисперсной структуры, т.е. удастся использовать высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО). Часто введение в низколегированные стали небольших количеств сильных карбидообразующих элементов (V, Nb, Ti) и применение контролируемой прокатки дает возможность отказаться в дальнейшем от термической обработки. Так, вводя в сталь 09Г2С 0,01—0,03 % Nb и 0,06—0,10 % V, на листе толщиной 20—30 мм получают $\sigma_T \geq 450$ МПа при $KCU^{-40} = 0,4\text{—}0,5$ МДж/м². Повысить

механические свойства марганцовистой стали 04Г4АФ с 3—4 % Мп можно введением в нее 0,15 % V и 0,02 % N. В листах толщиной 20—25 мм $\sigma_T \geq 500$ —550 МПа.

В случае упрочнения толстых листов со специального нагрева экономично использовать часть тепла остающегося в металле после горячей прокатки. На стане 3600 завода «Азовсталь» листы после горячей прокатки охлаждают на рольганге до 500—550 °С, а затем ведут перекристаллизацию с нагревом выше точки A_{c3} в роликовых печах с дальнейшим спрейерным охлаждением в ролико-закалочной машине.

Горячекатаная толстолистовая сталь для холодной штамповки подразделяется на три категории. Листы поставляют с определенными механическими свойствами по ГОСТ 4041—71 и твердостью HB 100—138. Чаще применяют углеродистые стали марок 08, 10, 15, 20 кипящие (кп) и полуспокойные (пс) с величиной зерна не более балла 5—6. Оптимальные свойства толстых листов для глубокой вытяжки получают после предварительной термической обработки — нормализации с 920—930 °С и отпуска при 620—700 °С в проходных печах.

Легированные конструкционные толстолистовые стали поставляют по ГОСТ 1542—71, наибольшее применение находят стали от 60Г до 70Г, от 35Г2 до 50Г2, от 35Х до 40Х, от 20ХГС до 30ХГС, 30ХГСН2А, 12ХН2НФА, 12Х2НВФА, 19Х2НМФА и др. Предварительная их термическая обработка сводится к отжигу или нормализации с высоким отпуском. Требуемые механические свойства в состоянии поставки должны иметь: твердость в пределах HB 149—217, предел прочности 490—735 МПа при удлинении δ_{10} от 11 до 16 % в зависимости от марки стали (ГОСТ 11269—76). Нормализации подвергаются стали (60—70)Г и (35÷50)Г2 с температур 920—940 °С, стали (30÷45)Х с 840—860 °С и стали (20—35)ХГС с 820—840 °С. Отпуск после нормализации проводится при 680—720 °С. Отжиг проводится с нагревом 750—800 °С с последующим охлаждением со скоростью 30—40 °С/ч до 500 °С, далее на воздухе.

Окончательной термической обработкой для толстых листов и плит из углеродистых сталей является нормализация, а для легированных и высоколегированных конструкционные сталей типа хромоникелевых, хромоникелемолибденовых и других закалка с 860—880 °С в масле с высоким отпуском на требуемые свойства, чаще при 620—680 °С.

Коррозионностойкую, жаростойкую толстолистовую

сталь горячекатаную и холоднокатаную поставляют по ГОСТ 7350—77. В зависимости от микроструктуры она может быть аустенитного, аустенитно-ферритного, мартенситного, мартенситно-ферритного и ферритного классов. Листы из стали аустенитного класса (12X18H9, 08X18H10T, 08X18H12T, 08X18H12Б, 10X17H13M2T, 10X23H18, 20X25H20C2, 10X14Г14, 10X14АГ13, 10X14Г14H3, 12X17Г9АН4, 20X20H14Г2), аустенито-ферритного (12X21H4T, 08X21H6M2T, 08X22H6T и др.) подвергают закалке с 1050—1100 °С с последующим быстрым охлаждением в воде или на воздухе. Чем больше в стали углерода и карбидообразующих элементов, тем выше должна быть температура нагрева под закалку для их растворения. Особенно важно проводить быстрое охлаждение в интервале температур от 900 до 500 °С, в котором происходит наиболее интенсивное выделение карбидов по границам зерен. Листы из сталей мартенситного класса (20X13, 30X13, 11X11H2BMФ, 16X11H2B2MФ и др.) и мартенсито-ферритного класса (12X13) закаливают с температур 1000—1050 °С в масле и затем подвергают отпуску при 680—780 °С. Стали ферритного класса (08X13; 12X17; 08X17T, 08X18T1, 14X17H2, 15X28, 15X25T и др.), как не имеющие фазовых превращений, подвергают нагреву при 760—780 °С с последующим охлаждением в воде или на воздухе. Быстрое охлаждение необходимо для того, чтобы избежать отпускную хрупкость, возникающую при замедленном охлаждении в интервале 500—400 °С.

Толстые листы из теплоустойчивых сталей преимущественно изготавливают из сталей 12X1MФ, 18X3MB, 20X3MBФ, 25X2M1Ф и др. (ГОСТ 20072—74). Их подвергают закалке в масле с 950—1000 °С и затем высокому отпуску при 680—720 °С с охлаждением на воздухе.

Значительное количество толстых листов изготавливают из алюминиевых и медных сплавов; они обычно используются в качестве заготовок для получения тонких листов и ленты и специальной термической обработке не подвергаются.

Термическая обработка тонколистовой стали

Тонколистовую сталь (толщина менее 4 мм) поставляют в виде горячекатаных и холоднокатаных листов и широкой ленты из углеродистых и легированных сталей, а также медных, алюминиевых и титановых сплавов.

Горячекатаные листы из низкоуглеродистой стали

в большом количестве используют в автомобильной и тракторной промышленности как черную жечь, кровельное и декапированное железо, динамную сталь и др.

Холоднокатаную сталь широко применяют в машиностроении для деталей, изготовляемых холодной штамповкой, в виде белой жести для консервной промышленности, трансформаторной стали, алюминиевых сплавов для авиации и других назначений.

При изготовлении очень тонких листов и ленты из черных и цветных сплавов приходится применять холодную прокатку заготовок в несколько этапов с промежуточными рекристаллизационными отжигами.

Тонколистовая горячекатаная и холоднокатаная сталь общего назначения в значительном количестве готовится из углеродистых сталей марок от 08 до 50, наибольшее применение находят стали марок от 08 до 20 кипящие (кп) и полуспокойные (пс). По нормируемым механическим свойствам листы подразделяют на пять категорий. В зависимости от категории и толщины листа временное сопротивление изменяется от 265 до 685 МПа при удлинении от 28 до 12 %. Стали категорий 5 и 1 в листах толщиной от 0,2 до 2 мм контролируют дополнительно на вытяжку по Эриксену, которая должна быть для нормальной вытяжки (Н) 5,7—9,9 мм а для глубокой (Г) 6,9—11,8 мм в зависимости от толщины листа (ГОСТ 16523—70). Тонколистовую сталь толщиной от 3,9 до 2,0 мм испытывают на изгиб в холодном состоянии на оправке, равной толщине листа. При загибе на угол 180° в месте изгиба не должно быть надрывов, трещин, расслоения.

Наиболее распространенные легированные стали для тонких листов 16ГС, 09Г2С, 09Г2СД, 10Г2С1, 10ХСНД. Их подвергают отжигу или нормализации.

Тонколистовую холоднокатаную сталь для холодной штамповки выпускают в виде рулонов из низкоуглеродистых сталей 08кп, 08пс, 08Ю. Толщина полосы 0,25—2,3 мм, ширина 610—1300 мм. В зависимости от вытяжки по Эриксену она делится на категории: ВГ — весьма глубокой вытяжки (от 9 до 12 мм), СВ — сложной (от 9,2 до 11,6 мм), ОСВ — особосложной (от 9,4—12,1 мм), ВОСВ весьма особосложной (9,7—12 мм) на толщинах листов от 0,5 до 2 мм. При этом твердость листов HRB 48—46, $\sigma_T = 206—186$ МПа (ГОСТ 9045—80). Рекристаллизационный отжиг (690—700 °С) проводят в рулонах в колпаковых печах с контролируемой атмосферой типа ДАС и медленным охлаждении до 150 °С. При отжиге садки в 80—90 т (3 ру-

лона) общий цикл процесса составляет 100—110 ч (нагрев 32—36 ч, выдержка 16—20 ч и охлаждение 46—50 ч); производительность печи до 0,8 т/ч. Особенно много времени занимает охлаждение, которое проводится в контролируемой атмосфере под металлическим муфелем при снятом нагревательном колпаке. Лучшие результаты получены при ускоренном охлаждении за счет циркуляции части контролируемой атмосферы, охлаждаемой в выносных холодильниках. При отжиге в рулонах свойства ленты по длине не-

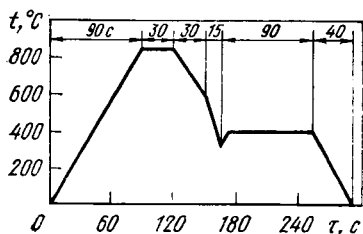


Рис. 30. График скоростного режима непрерывного рекристаллизационного отжига с перестариванием стали 08кп

однородны. Учитывая сохранение поточности производства в прокатном цехе, целесообразно и рекристаллизационный отжиг ввести в поток, применяя протяжные шахтные печи непрерывного действия. Анализ исследовательских работ и зарубежный опыт позволяют рекомендовать скоростной режим непрерывного отжига в протяжных печах с последующим перестариванием. Так, для полосы толщиной 0,6 мм проводится нагрев до

800—820 °С в течение 90 с с выдержкой при этой температуре 30 с, охлаждением до 600 °С — 30 с, ускоренным охлаждением до 300 °С по 20 °С/с, нагрев до 400 °С для перестаривания с выдержкой 90 с и последующим охлаждением по 10 °С/с. Общее время цикла около 300 с (рис. 30). Производительность агрегата достигает 60—65 т/ч при скорости движения полосы около 3 м/с. При этом можно получить $\sigma_T = 200—230$ МПа при $\delta = 34\%$ и $R = 1,4$.

В целях улучшения штампуемости желательно замедление нагрева ленты при температурах 400—600 °С. В этом случае в промышленных сталях облегчается образование ладьеобразного зерна 5—6-го балла.

Для получения $\sigma_T < 200$ МПа при скоростном нагреве в проходных печах непрерывного действия необходимо снижать содержание углерода до 0,03—0,05 % как в стали 05кп, так и в 05Ю. В Японии получена сталь с 0,003 % С путем небольшого легирования ниобием и алюминием со свойствами: $\sigma_T = 160—180$ МПа при $\sigma_B = 300$ МПа и $\delta = 46\%$ с покрытием цинком.

Для получения высокопрочной штампуемой стали, отжигаемой в печах непрерывного действия, разработан ряд

технологических процессов при разном содержании в сталях легирующих элементов. Из низколегированных сталей применяют стали с содержанием $\leq 0,1\%$ С; 0,3—1,0 Мп; 0,01—0,12 Nb и 0,02—0,06 Al. Подбором количества ниобия и режимов непрерывного отжига можно получить предел текучести $\sigma_T = 300\text{—}500$ МПа при прочности $\sigma_B = 500\div 1000$ МПа и удлинении $\delta = 16\div 36\%$. Непрерывный отжиг часто ведется с перестариванием.

Применяются также стали с марганцем, повышенным содержанием азота и небольшим количеством хрома (0,4—0,6 %).

Если требуется высокопрочный лист с $\sigma_B = 400\text{—}500$ МПа и $\delta = 35\text{—}40\%$, применяют стали с упрочненным ферритом; при необходимости иметь высокопрочную сталь с $\sigma_B = 500\text{—}550$ МПа и $\delta = 22\text{—}27\%$ применяют дисперсионно твердеющую сталь; если же необходим лист с $\sigma_B = 600\text{—}800$ МПа и выше, применяют стали с феррито-мартенситной структурой.

Белая жесть представляет собою железо, покрытое оловом.

Термическая обработка жести состоит из двойного отжига. Первый (черновой) отжиг проводят после горячей прокатки, а последний (чистовой) отжиг после дрессировки. Черновой отжиг ведут с нагревом при температурах выше A_{C1} (800—830 °C), а чистовой отжиг при температурах ниже A_{C1} (640—680 °C) в защитной атмосфере.

Кровельное, обшивочное и декапированное железо изготовляют из мягкой углеродистой стали марок 10, 15. Кровельное железо подвергают отжигу с целью получения плотной окалины и повышения вязкости.

Горячекатаные и холоднокатаные листы и ленты из аустенитных и коррозионностойких и жаростойких хромоникелевых сталей типа X18H10T, X23H18, X18H25C2 и др. подвергают термической обработке, состоящей из закалки с температуры 1050—1100 °C в воде. Продолжительность выдержки при нагреве в проходных печах составляет около 1 мин на 1 мм толщины листа. Для повышения прочностных свойств листы и лента из аустенитных коррозионностойких сталей часто выпускаются в наклепанном состоянии.

Листы из хромистых ферритных сталей (X17T, X25T, X28 и др.) для повышения вязкости подвергают высокому отпуску при температурах 700—780 °C с выдержкой в проходных печах по 2 мин на 1 мм толщины листа с последующим ускоренным охлаждением (в воде или на воздухе).

Большинство листов и лент из медных сплавов типа латуней и бронз имеют структуру однородного твердого раствора без фазовых превращений, поэтому их после пластической деформации подвергают только рекристаллизационному отжигу при 600—700 °С.

Медноникельные сплавы НМЖМц 28-2,5-1,5 (монель-металл), МНЖМц 30-0,8-1 (мельхиор), МНМц 15—20 (нейзильбер) и другие отжигают при 750—800 °С.

Исключение составляют бериллиевые бронзы ($\text{Cu} + 1,5 \div 2,5 \% \text{Be}$), которые имеют диаграмму состояния с ограниченной растворимостью бериллия в меди, уменьшающуюся с понижением температуры. Поэтому листы из бериллиевой бронзы проходят быстрое охлаждение в воде с температуры 800 °С и старение при температуре 370 °С. При этом можно получить σ_b до 1200 МПа при пределе текучести σ_t до 700 МПа.

Тонкие листы и ленты из алюминиевых сплавов типа Д1, Д16, В95 и др. для повышения прочностных свойств подвергают закалке в воде для получения пересыщенных растворов (нагрев при 470—500 °С и последующее старение при 160—180 °С). Листы сплава Д1 подвергают естественному старению.

Листы и ленты из титановых сплавов отжигают при 650—700 °С (сплавы типа АТЗ, ВТ6, ВТ15 при температурах до 800—850 °С). Ленты толщиной 1,8—2,0 мм и менее готовятся холодной прокаткой с промежуточными отжигами при 600—700 °С. Перед промежуточным отжигом ленту подвергают травлению для удаления газонасыщенного слоя щелочно-кислотным методом.

Для избежания газонасыщенности титановых листов их отжигают в атмосфере инертных газов (в аргоне, гелии) или в вакууме при давлении не выше 0,13 МПа. Отжиг чаще проводят в рулонах в вакуумных шахтных печах. С целью облегчения удаления из металла газов (водорода) рекомендуется обработка распушенных рулонов. Тонкую ленту из титана и его сплавов нагревают в печах непрерывного действия в атмосфере инертных газов.

Из титана и его высокопластичных сплавов изготавливают фольгу толщиной 0,05—0,10 мм, получая ее из ленты толщиной 0,5—0,8 мм холодной прокаткой за 7—8 проходов с промежуточными отжигами при температурах 600—650 °С в вакууме. В зависимости от сплава выдержка при отжиге 2—5 ч. Выходной отжиг фольги 600 °С, 4—5 ч.

Закалке листы из титановых сплавов подвергают сравнительно редко, при этом необходимо обеспечить безокис-

лительный нагрев, высокую скорость охлаждения и отсутствие коробления. Для большинства сплавов, подвергающихся закалке, температура нагрева принимается 850—900 °С. В качестве наиболее перспективных способов закалки рекомендуется нагрев листов в вакууме и их охлаждение со скоростями 20—30 °С/с в аргоне или гелии. Этих скоростей достаточно для получения пересыщенных растворов и последующего старения с упрочнением сплавов.

Оборудование для термической обработки листов и ленты

При индивидуальном и серийном производстве для термической обработки толстых листов и плит толщиной более 60 мм применяют камерные печи с загрузкой и выгрузкой листов шаржир-машинами, а чаще печи с выдвижным подом. Печи для отпуска необходимо оснащать вентиляторами для принудительной циркуляции печной атмосферы.

На рис. 31 показан план термического цеха для закалки и отпуска толстых листов. Листы поступают по желез-

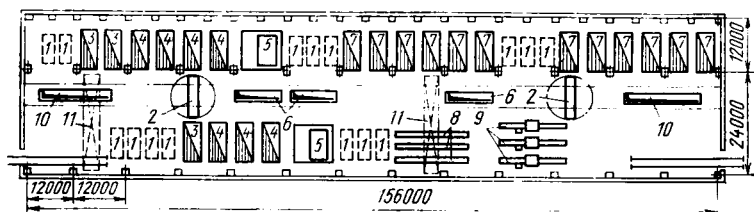


Рис. 31. План цеха для термической обработки толстых стальных листов с внешней механизацией шаржир-машинами

ной дороге и складываются краном на стеллажи 1, откуда шаржир-машиной 2 загружаются в подогревательные печи 3, а затем в закалочные печи 4. Охлаждение при закалке происходит до 250 °С в специальных закалочных прессах 5 со струйным устройством. Дальнейшее охлаждение осуществляют в ямах 6, расположенных под путями шаржир-машины. В ямах листы выдерживают при 180—200 °С и затем передают шаржир-машиной в отпускные печи 7. После отпуска проводят осмотр и зачистку пороков на рольгангах 8, затем дробеструйную очистку в вертикальном положении на установках 9. Для лучшего использования производственной площади предусмотрены склады в виде ям 10 под путями шаржир-машины. Транспортные операции проводятся двумя кранами 11.

При нагреве толстых листов и плит в печах с выдвижным подом и закатке в вертикальном положении целесообразно использовать бак со специальной траверсой (рис. 32). Нагретая плита с выдвижного пода печи захватывается лапами специальной подвески 1 и укладывается на

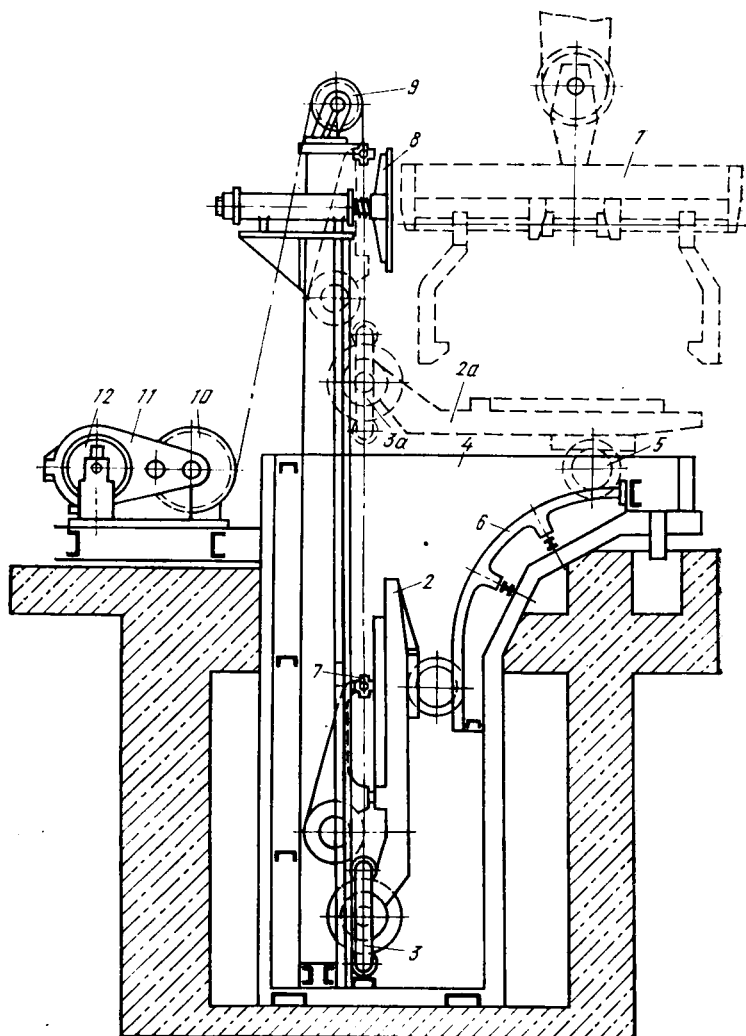


Рис. 32. Бак для закалки толстых листов и плит в вертикальном положении

подвижную траверсу 2а (на рисунке изображены штриховыми линиями). Для центрирования плиты и подвески устанавливается упор 8. Далее, траверса вместе с плитой с помощью каретки 3а погружается в бак 4 на колесах 5 по направляющим 6, занимая вертикальное положение. В опущенном состоянии плита прижимается к траверсе 2 роликом прижима 7. После охлаждения траверса вновь поднимается в горизонтальное положение и плита снимается той же подвеской 1. Подъем и опускание каретки 3 осуществляются через ролик 9 тросом с помощью барабана 10, приводимом во вращение через редуктор 11 электродвигателем 12. Нормализацию проводят обдувкой плиты воздухом на выдвинутой подине. В ряде конструкций на выдвигном поду печи устанавливают полые металлические подставки, через которые подается воздух под давлением. Нагрев для закалки, нормализации и отпуска листов толщиной менее 60 мм в массовом производстве проводят преимущественно в проходных роликовых печах. Время нагрева принимают из расчета 1,0—1,5 мин/мм толщины при холодной и 0,7—1,0 мин/мм при горячей посадке (с температур 400—600 °С), при двухрядной загрузке с прокладками 50—70 мм — 1,5—2,0 мин/мм, а при отжиге и отпуске 3—4 мин/мм толщины листа.

Длина роликовых печей достигает 50—100 м и выше. Движение листов по печи совершается благодаря вращению роликов, диаметр которых бывает в пределах 200—400 мм. Для рабочих температур 950 °С ролики делают из гладких труб из жаростойких сталей с охлаждением цапф водой. При транспортировке тонких листов для увеличения шага роликов и улучшения обогрева листов на трубы насаживают литые диски из жаростойких сталей. Для высоких температур нагрева диски на роликах делают керамическими. Диски на соседних роликах размещают в шахматном порядке. При температуре печи 1000 °С и выше применяют ролики с охлаждаемой осью, которая изолируется малотеплопроводными материалами. Оси роликов выносят из печи и опирают на подшипники, желательной сферической формы, которые уменьшают возможность заклинивания роликов при перекосах. Часто ролики сообщают листу три скорости движения — технологическую, определяющую время пребывания в печи, транспортную — для быстрой выдачи изделий из печи (например, для закалки) и возвратно поступательную на один оборот ролика для предупреждения прогиба роликов при высокой температуре печи. Привод роликов может быть групповым, а для больших пе-

чей — индивидуальным (каждого ролика от своего электродвигателя и редуктора).

Роликовая печь на металлургическом заводе «Азов-сталь» для нагрева под закалку листов шириной до 3,2 м и толщиной 5—50 мм имеет размеры рабочего пространства: ширину 3,8 м, длину 67 м, высоту от оси роликов до свода 1,9 м и до пода 1,4 м. Печь имеет 14 секций и 7 температурных зон, 114 роликов с шагом 580 мм, диаметр бочки ролика 420 мм. Скорость передвижения листов: технологическая 5—50, транспортная 60 и покачивания 12 м/мин. Привод роликов индивидуальный. Производительность печи до 40 т/ч. Горелки (348 шт.) располагаются в два ряда над роликами и под ними. Расход природного газа ($Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 34 \text{ МДж/м}^3$) на отопление составляет 3500 м³/ч. Печи аналогичной конструкции применяют на металлургическом заводе «Азовсталь» для нормализации листов. По выходе из печи закалка или сорбитизация листов проводится в роликоткалочной машине со спрейерным охлаждением. Машина длиной 18 м имеет 23 пары приводных нижних и верхних роликов диаметром 300 мм.

Роликовая печь для нагрева под закалку листов толщиной 12—25 мм, шириной до 2 мм и длиной до 12 м в прессе имеет ширину 2,5 м, длину 40 м. Выдача листов из печи проводится периодически. Печные ролики гладкие с диаметром бочки 275 мм и шагом 450 мм, имеют групповой привод по три ролика от электродвигателя через цепные звездочки. Движение листов совершается со скоростями: технологической 10—20, транспортной 60 и при покачивании 12 м/мин. Горелки располагаются в два ряда — над роликами и под роликами. Производительность печи до 15 т/ч. Пресс для закалки листов имеет две рамы, снабженные рядом полых поперечных опор, через которые подводится охлаждающая вода. Выданный из печи лист нижней подвижной рамой снимается с рольганга, прижимается к верхней раме и подвергается двустороннему охлаждению через отверстия в опорах. Количество подаваемой воды примерно 20 м³/мин.

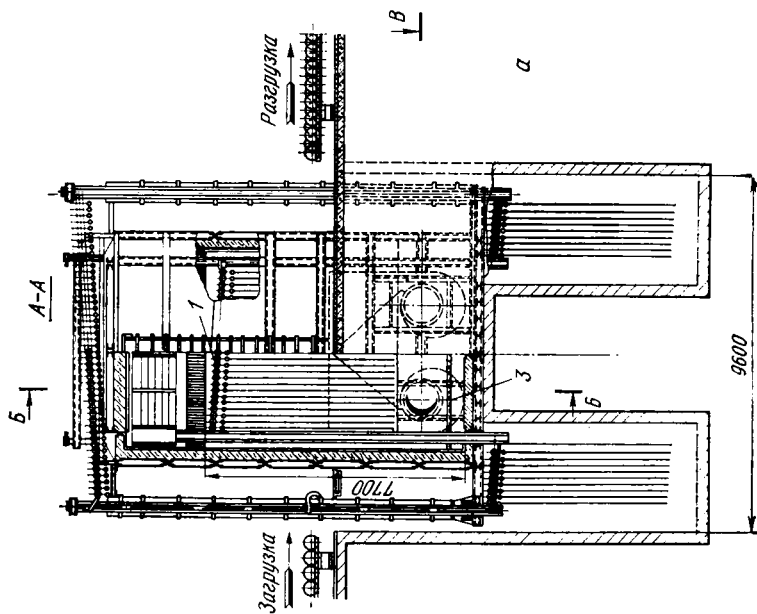
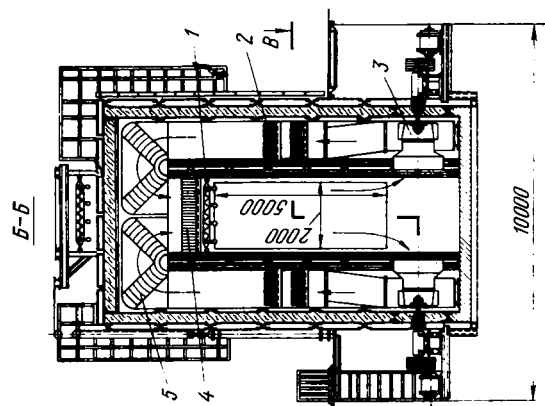
Для нагрева под закалку листов толщиной 5—50 мм и шириной до 3 м из аустенитных сталей роликовая печь имеет рабочую ширину 3,5 м и длину 61 м. Максимальная температура печи 1100 °С. Печь работает на природном газе, 70 горелок располагаются с направлением факела под свод печи и 20 дополнительных горелок устанавливают в первых двух зонах на 0,4 м ниже уровня роликов. Диа-

метр транспортирующих роликов равен 360 мм, шаг роликов 400 мм. Ролики приводятся во вращение от электродвигателя с помощью цепной передачи. Один электродвигатель приводит в действие секцию, состоящую из 40 роликов. Производительность печи составляет при закалке до 25 т/ч. Печь снабжается загрузочными и разгрузочными столами длиной до 15 м и горизонтальным закалочным прессом длиной 12,8 м. Закалочный пресс развивает усилие до 1000 т. При закалке верхняя подвижная плита опускается, погружает в воду приводной рольганг и зажимает лист между двумя решетчатыми плитами. Расход воды для закалки составляет 50 м³/мин.

Для закалки горячекатаных листов из коррозионностойкой стали толщиной 4—6 мм и шириной до 1,6 м используется роликовая печь шириной 2 м, длиной 6,5 м с камерой охлаждения длиной 6 м, оборудованная двусторонним душем. Загрузку и выгрузку листов проводят периодически. Камера нагрева имеет 16 роликов диаметром 200 мм с шагом 400 мм. Ролики приводятся во вращение с помощью цепной передачи. Скорость движения листов: технологическая 0,3—0,4, транспортная 12 и для покачивания 0,25 м/мин. Производительность печи до 2 т/ч.

Для нагрева под закалку листов из алюминиевых сплавов применяют селитровые ванны с наружным или внутренним обогревом и ямные вентиляторные печи.

Схема оригинальной электрической печи для закалки алюминиевых листов в вертикальном положении в поточном производстве приведена на рис. 33, а. Рабочая камера печи имеет длину 5,8 м, ширину 2,2 м, высоту 7,7 м и вмещает 26 листов, каждый из которых закрепляется вертикально на отдельной подвеске 1, движущейся в печи по наклонным направляющим. По обе стороны рабочего пространства размещаются четыре секции калориферов 2 мощностью по 225 кВт. Ниже калориферов находятся четыре центробежных вентилятора 3 мощностью по 55 кВт, которые осуществляют циркуляцию нагретого воздуха в рабочем пространстве печи со скоростью 7 м/с. Для уменьшения потерь напора и равномерного распределения горячего воздуха в верху печи имеются два ряда направляющих лопаток 5 и горизонтальная распределительная решетка 4. Печь по длине имеет две самостоятельно регулируемые температурные зоны. Каркас стенок печи выполнен из швеллеров и двух четырехмиллиметровых листов. В качестве изоляционного материала используется слой шлаковой ваты толщиной 300 мм. При нагреве листов толщиной 3 мм до



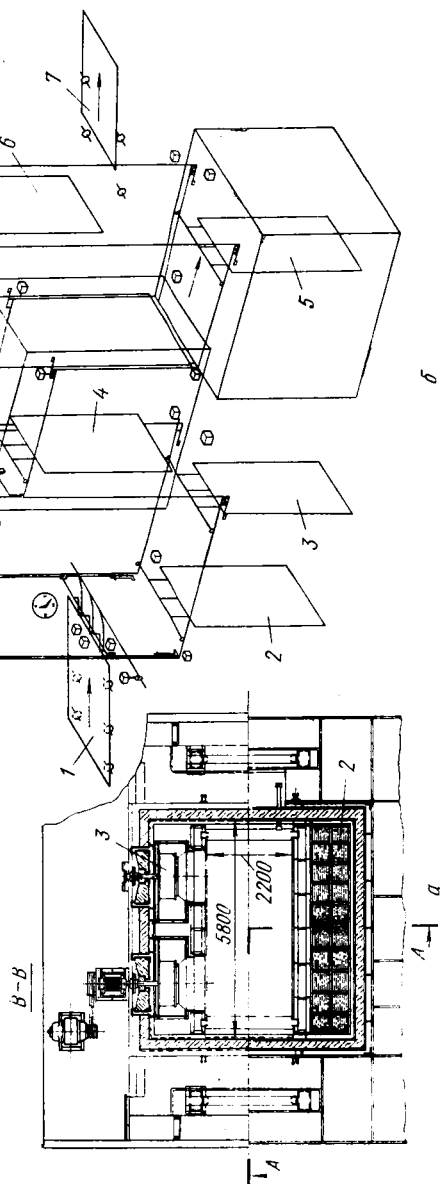


рис. 33. Электрическая толкательная печь для нагрева под закалку алюминиевых листов в вертикальном положении (а) и схема транспортирования листов (б)

500°C в течение 40 мин производительность печи достигает 3,5 т/ч. Печь может быть встроена в поточную линию.

Схема транспортировки листов представлена на рис. 33, б. Листы с горизонтального подводящего рольганга (положение 1) захватываются эксцентриковыми зажимами, поднимаются вертикально и затем опускаются вниз (положение 2), где по наклонным направляющим скатываются под печь (положение 3). Через щель в поду печи подвески с листами поднимаются на уровень наклонных направляющих, по которым перемещаются толкателем (положение 4). В крайнем правом положении подвески снимаются с направляющих, и листы погружаются в закалочный бак, расположенный под печью. Движение листов в баке происходит по наклонным направляющим (положение 5), в крайнем положении листы на подвесках поднимаются из бака вверх (положение 6) и опускаются по специальным направляющим на отводящий горизонтальный рольганг (положение 7). Эксцентриковые зажимы освобождают лист, и свободная подвеска поднимается на верхние наклонные направляющие, проходящие над печью, по которым вновь возвращается к загрузочному концу печи.

Движение подвесок с листами полностью автоматизировано, подъем и опускание подвесок производятся с помощью электродвигателей через соответствующие редукторы и барабаны. При достижении листами крайнего положения электродвигатели автоматически отключаются конечными выключателями.

Для упрощения технологии и создания комплексных линий закалку и нормализацию листов следует проводить с температуры конца прокатки. Для этого параллельно отводящему рольгангу прокатного стана устраивается охлаждательный рольганг, на который лист передается шлепперами с основного рольганга. Для нормализации следует применить принудительное охлаждение воздухом, подаваемым на обе стороны листа вентиляторами. Это легко осуществить, если рольганг поместить в проходную железную камеру, при этом с одного конца камеры вводить холодный воздух, а с другого конца отводить нагретый воздух. При упрочнении листов с использованием температуры конца прокатки применяют роликозакалочные машины, у которых между роликами по обе стороны листов устанавливают охлаждающие форсунки.

Если температура конца прокатки значительно ниже критической точки A_{r3} (например, при прокатке тонких

листов), следует перед охлаждением листов ввести промежуточную подогревательную печь.

Для уменьшения длины потока можно применить ряд параллельных линий (рис. 34). С отводящего рольганга 2 прокатного стана 1 лист шлепперами 3 передается на рольганг подогревательной печи 4, пройдя которую он транспортируется для охлаждения шлепперами 7 на второй рольганг 5, а дальше шлепперами 3 на рольганг 6.

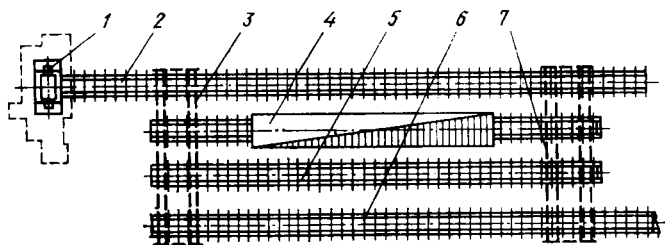


Рис. 34. Схема поточной линии для термической обработки листов сразу после прокатки

При совершенствовании прокатного оборудования и достижении высоких скоростей прокатки и больших обжатий в последних проходах (до 20 % и выше) можно будет проводить закалку листа сразу после прокатки в состоянии наклепанного, но не рекристаллизованного аустенита. В результате этого можно получить высокие характеристики вязкости с одновременным повышением на 20—30 % характеристик прочности.

Нагрев для термической обработки тонкой ленты проводится в протяжных горизонтальных и вертикальных печах при непрерывном движении ленты. На рис. 35 изображена горизонтальная протяжная печь производительностью 6—7 т/ч для непрерывной заправки горячекатаной ленты из коррозионностойкой стали шириной 1,5 м и толщиной 0,5—4 мм. Печь имеет камеру нагрева с температурой 1150 °C длиной 12 м, оборудованную десятью опорными роликами диаметром 200 мм, приводимыми в движение с помощью цепной передачи. Ролики вращаются синхронно с движением ленты в печи. Скорость ленты можно регулировать от 2 до 12 м/мин. За камерой нагрева установлена камера для заправки ленты двусторонним водяным душем.

Кроме камер нагрева и охлаждения для заправки или нормализации ленты, агрегат имеет размоточные и намоточные барабаны, тянущие ролики, натяжную станцию, сва-

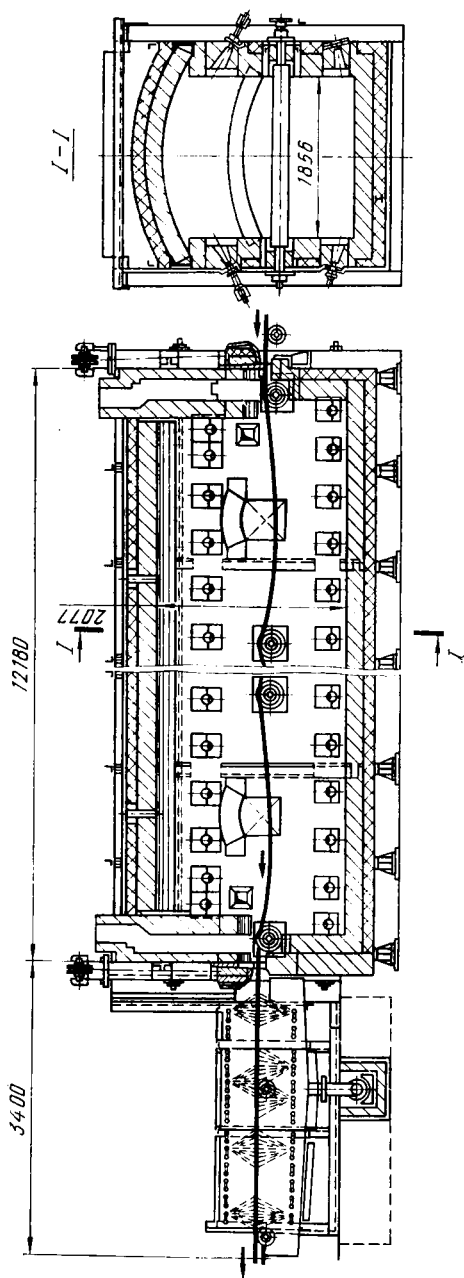


Рис. 35. Горизонтальная протяжная печь для непрерывной заковки ленты из коррозионностойкой стали

рочный аппарат, ножницы и другие устройства. Для обеспечения непрерывности процесса во время приварки новой ленты, обрезки и заправки предусмотрены секции запаса с петлеобразным движением ленты.

Схема общей поточной линии для нормализации или закалки ленты приведена на рис. 36. Лента с размоточного устройства 1 через семивалковую правильную машину 2 и направляющее устройство 3 поступает в гильотинные ножницы 4 для обрезки конца ленты. Далее, через протиры 5 лента идет в стыковой сварочный аппарат 6, где она приваривается к концу предыдущей ленты. После сварки лента с помощью подающих роликов 7 через яму запаса 8 попадает в тянущие ролики 9, которые направляют ленту в печь 10 и камеру охлаждения 11. После термической обработки лента вновь проходит через подающие ролики 12, секцию запаса 13, тянущие ролики 14, затем место сварки обрезается на ножницах 15, и через регулятор натяжения 16 лента сматывается в рулон на намоточный барабан 17.

Устройство поточной линии для термической обработки листов и ленты упрощается при нагреве токами высокой частоты (т.в.ч.). Нагрев широкой ленты т.в.ч. целесообразнее проводить в поперечном магнитном поле. Это повышает к.п.д. установки и снижает необходимую мощность. При нагреве т.в.ч. коррозионностойкой ленты толщиной 1,5—0,5 мм, шириной 400—600 мм такой индуктор длиной 1120 мм, мощностью 500 кВт дает производительность около 1 т/ч при скорости движения ленты через индуктор 9—10 м/мин.

Если требуется большая точность нагрева и высокая однородность свойств ленты, ее после нагрева в индукторе помещают в печь для выравнивания температуры.

На рис. 37 показана схема установки для непрерывной закалки ленты из алюминиевых сплавов с нагревом т.в.ч. в индукторе 2 с поперечным магнитным полем, выдержкой в шахтной печи 3 и охлаждения в баке 4.

Индукционный нагрев лент из цветных немагнитных сплавов в поперечном магнитном потоке более экономичен, чем в продольном, при этом к.п.д. установки может быть доведен до 80—85 %.

Движение ленты 1 происходит в вертикальном направлении между двумя половинками индуктора. Индуктор (рис. 37, а) представляет собой систему намагничивающих катушек 2, сделанных из изолированных медных трубок. Намагничивающие катушки располагаются на общем железном магнитопроводе и создают замкнутые магнитные

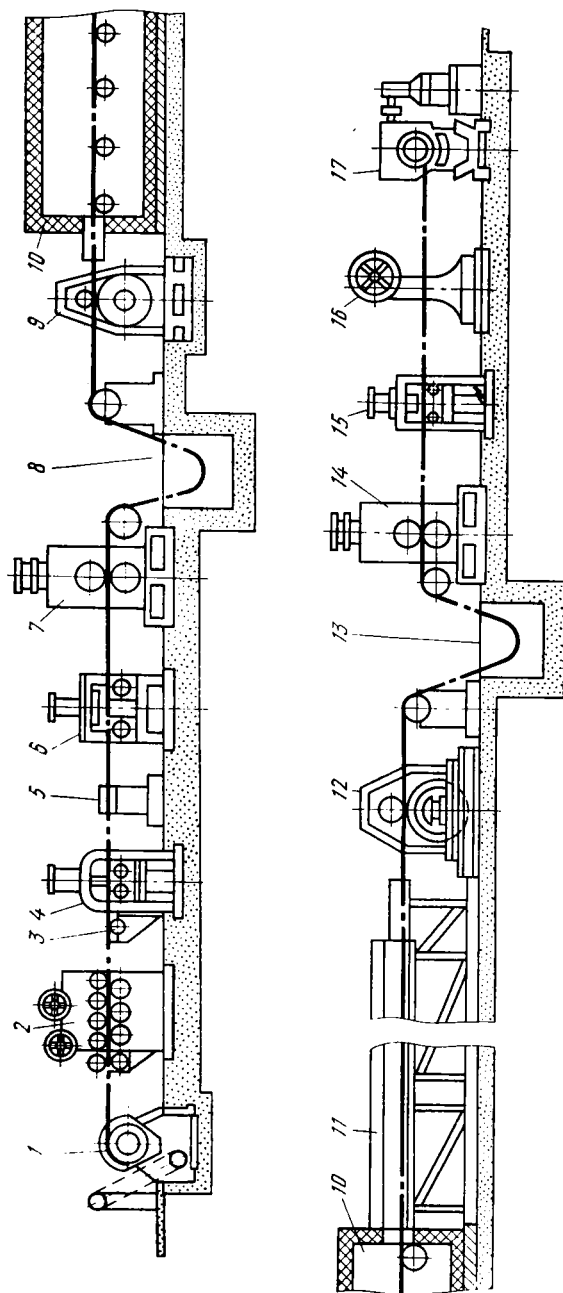


Рис. 36. Схема поточной линии для закалки или нормализации ленты

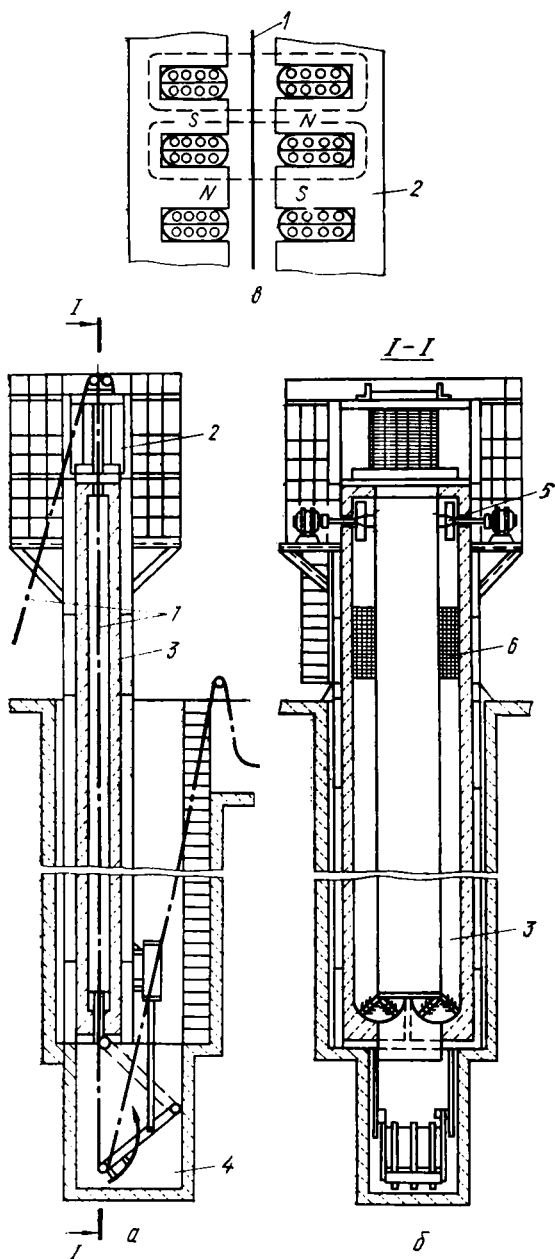


Рис. 37. Схема установки для непрерывной заковки ленты из алюминиевых сплавов с нагревом т. в. ч. в индукторе с поперечным магнитным полем и выдержкой в шахтной печи.

потоки, пронизывающие движущуюся ленту 1. Знаки полюсов половинок индуктора противоположны. Поверхность нагретой ленты при ее вертикальном движении через индуктор и печь сохраняется неповрежденной, так как лента в процессе нагрева под закалку ни с чем не соприкасается. Печь для выравнивания температуры имеет высоту 10 м, при этом длина пути ленты в индукторе и в печи равна 12 м.

Для улучшения теплоотдачи конвекцией осуществляется циркуляция воздуха в печи со скоростью около 10 м/с двумя центробежными вентиляторами 5, расположенными вверху печи. Вентиляторы отсасывают воздух из рабочего пространства печи и направляют его через боковые камеры с нагревательными калориферами 6 в низ печи.

Температура ленты контролируется на выходе из индуктора контактной роликовой термпарой с автоматическим электронным потенциометром, который через электромагнитный усилитель меняет ток в обмотке возбуждения специального генератора постоянного тока, питающего двигателя тянущих роликов. Таким образом регулируется скорость движения ленты и поддерживается требуемая температура ее нагрева.

На аналогичной установке нагревалась лента из дуралюмина шириной 700—1400 мм, толщиной 0,25—2 мм. Для ленты толщиной 2 мм выдержка в печи составляла 2 мин, а оптимальная скорость движения 6 м/мин. Мощность индуктора 500 кВт, мощность печи, выравнивающей температуру ленты, 100 кВт, производительность установки 2,5—3 т/ч.

Отжиг листов и плит толщиной более 60 мм проводят в печах с выдвижным подом.

Для отжига тонких листов в стопах и ленты в бунтах применяют колпаковые, шахтные, муфельные, толкательные и туннельные печи. Для предохранения от окисления и обезуглероживания используют контролируемые атмосферы, преимущественно экзогаз ПСО-09.

Колпаковые печи работают с двумя и тремя подами. На одном происходит нагрев металла под нагревательным колпаком печи, на других — охлаждение садки, разгрузка и загрузка листов. Чтобы охлаждение происходило в контролируемой атмосфере, стопу металла закрывают, кроме нагревательного колпака, еще металлическим муфелем из листовой жаростойкой стали, под который подводят защитный газ. Для транспортировки нагревательных колпаков цех должен быть оборудован мощными кранами. Для на-

грева металла до 650—700 °С температура нагревательного колпака должна быть не менее 750—800 °С. Перенос колпака с одного пода на другой продолжается 15—20 мин, за это время температура его внутренней поверхности снижается с 750—800 до 600—650 °С.

Для отжига тонких листов и ленты из специальных сплавов (титановых, трансформаторной стали) в бунтах используют колпаковые вакуумные печи. При этом исключается окисление металла и значительно улучшается его качество. Шахтные печи с муфелем в виде реторты применяются для отжига бунтов цветных сплавов.

Толкательная печь непрерывного действия для промежуточного отжига бунтов ленты из алюминиевых сплавов показана на рис. 38. Она представляет собой футерованную шлаковой ватой камеру длиной 44 м. Камера вдоль печи разделена вертикальной перегородкой на две неравные части. В более широкой части печи на решетчатых поддонах движутся бунты ленты. В другой части печи находятся калориферы и центробежные вентиляторы ВРС-10, которые устанавливают на расстоянии, равном длине двух поддонов. Вентиляторы отсасывают воздух из рабочего пространства и направляют его через калориферы и распределительные решетки вверх. Скорость движения воздуха 9 м/с. Печь вмещает 36 рулонов и имеет 18 тепловых регулируемых зон (по числу вентиляторов). Общая мощность печи 488 кВт. Движение поддонов осуществляется гидравлическим толкателем 1, а выдача их из печи гидравлическим вытаскивателем 2. После выдачи поддона из печи бунт убирается краном, а поддон с помощью конвейера 4, расположенного под печью, возвращается обратно к загрузочному торцу печи. Поддон на конвейер передается гидравлическим подъемником 3, створки столика, находящегося перед печью, раздвигаются: шток гидравлического цилиндра идет вниз и ставит поддон на конвейер. Поддон снимается с конвейера штоком гидравлического цилиндра 5 и поднимается на уровень загрузочного столика, состоящего из двух половинок, которые сдвигаются под поддоном с помощью гидравлических цилиндров 6. Шток цилиндра опускается, оставляя поддон на столике. Затем на поддон загружается бунт ленты. Выдача поддонов из печи проводится через каждый час, при этом производительность печи составляет 1 т/ч. Температура нагрева бунтов около 400 °С, скорость охлаждения до температуры 250 °С равна 5 °С/ч. Продолжительность нагрева составляет 4 ч, а охлаждения 32 ч. Для того чтобы обеспечить малую скорость

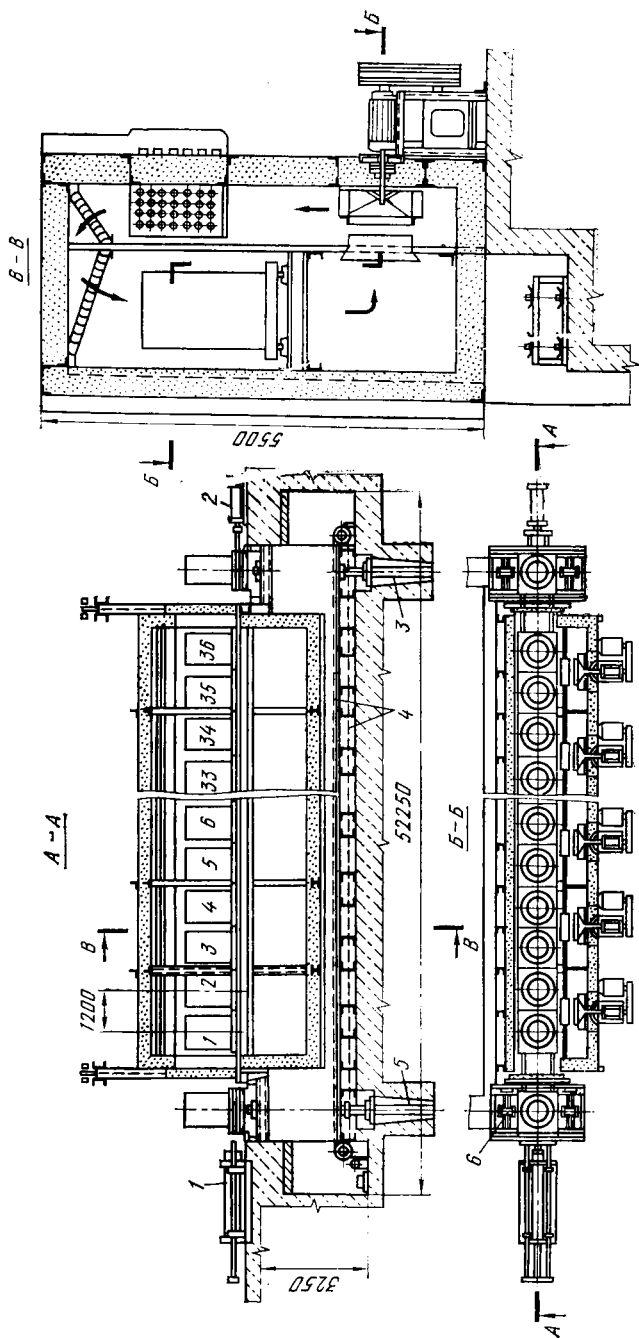


Рис. 38. Толкательная печь для промжуточного отжига бунтов ленты из алюминиевых сплавов

охлаждения, камеру охлаждения требуется подогревать.

Чтобы снизить расход топлива в толкательных печах, для отжига можно использовать принцип рекуперации тепла. Для этого детали должны двигаться в два ряда по ширине или высоте печи встречными потоками. В этом случае подогрев только что посаженных деталей будет происходить за счет тепла остывающих. Камеры подогрева и охлаждения могут быть сделаны одинаковой конструкции.

Для термической обработки листов в стопах при массовом производстве применяют трехзонные туннельные печи с камерами подогрева, нагрева и охлаждения. Движение металла происходит на футерованных вагонетках. В зоне охлаждения прокладывают трубы с охлаждающей водой или циркулирующим в них воздухом.

Для предохранения от окисления стопы листов закрывают муфелями из жаростойкой стали. В этом случае целесообразно вагонетки помещать сразу в зону повышенных температур, что сократит длину подогревательной камеры, а окончательное охлаждение с температуры 600 °С вести вне печи. Однако наиболее целесообразно проводить отжиг в защитных атмосферах. Преимущество туннельных печей состоит в возможности строгого соблюдения намеченного режима отжига при относительно высокой производительности печи.

Туннельная печь для отжига в стопах листов динамной стали имеет 13 вагонеток размерами 3,2×2,2 м. На каждую вагонетку укладывают по две стопы металла (16 т). Для предохранения металла от окисления в связи с отсутствием контролируемой атмосферы стопы закрывают литыми муфелями. Общее время нагрева и выдержки листов в печи составляет 24 ч, темп толкания вагонеток 2 ч, производительность печи до 9 т/ч. Туннельные печи могут быть сконструированы и как вакуумные взамен вакуумных колпаковых печей. Конструкторским бюро электротехнического оборудования (ЭТО) разработаны вакуумные туннельные печи СЛВ-16.128.16/14,5, СЛВ-16.320.16/14,5 для нагрева до 1400 °С, общей мощностью соответственно 1650 и 2650 кВт. Печи имеют три камеры: низкотемпературную до 1000 °С, высокотемпературную до 1450 °С и камеру охлаждения. Каждая камера имеет свой механизм транспортировки тележек, отдельную вакуумную систему, разделяются камеры одна от другой вакуумными затворами.

В протяжных печах непрерывного действия отжигают тонкую ленту. Поточные линии с горизонтальными печами получают очень большой длины. Установлено, что длина

ленты в горизонтальной печи должна быть не более 150—200 м, а скорость не выше 100 м/мин, при этом производительность печи будет около 10—15 т/ч. При более высоких скоростях движения происходит биение и соскальзывание ленты.

Для увеличения производительности поточных линий непрерывного отжига ленты применяют вертикальные печи башенного типа, в которых лента проходит последовательно через ряд вертикальных участков, огибая верхние и нижние печные ролики. При этом толщина стальной ленты не должна быть более одного миллиметра. Благодаря большому углу охвата роликов получается хорошее центрирование ленты, что позволяет увеличить скорость движения ее в башенной печи до 600 м/мин.

Сооружение башенных печей является экономичным только при больших скоростях движения ленты (свыше 150 м/мин), иначе не оправдываются затраты на сооружение и эксплуатацию агрегата. Как правило, башенные отжигательные печи имеют несколько температурных зон: нагрева, выдержки, замедленного и ускоренного охлаждения. Кроме печи, поточная линия имеет разматывающие и наматывающие барабаны, сварочную машину, ножницы, очистные, промывные и сушильные устройства, тянущие ролики, башни запаса и натяжные аппараты.

Схема башенной печи для скоростного непрерывного отжига жести с производительностью до 30 т/ч показана на рис. 39. Скорость движения ленты в печи 300 м/мин, общая длина ленты, находящейся в печи, равна 600 м, время пребывания ленты толщиной 0,25 мм около 120 с. Печь состоит из ряда отдельных камер.

В камере 1 лента нагревается до 720 °С, делая шесть вертикальных ходов. Лента нагревается горизонтальными радиационными трубами, расположенными с двух сторон движущейся ленты (на рисунке не показано). В камере выдержки 2 лента также делает шесть вертикальных ходов. Расход тепла в этой камере мал, так как тепло расходуется только на компенсацию потерь в окружающее пространство через стенки печи, поэтому достаточно экономично можно применять электрический нагрев. В камере замедленного охлаждения 3 лента совершает два вертикальных хода, охлаждаясь с 720 до 500 °С. Камера снабжена как электронагревателями, так и охлаждением. Регулировка режима охлаждения автоматическое с включением по мере надобности охлаждения или электронагревателей. В камере ускоренного охлаждения 4 лента делает двад-

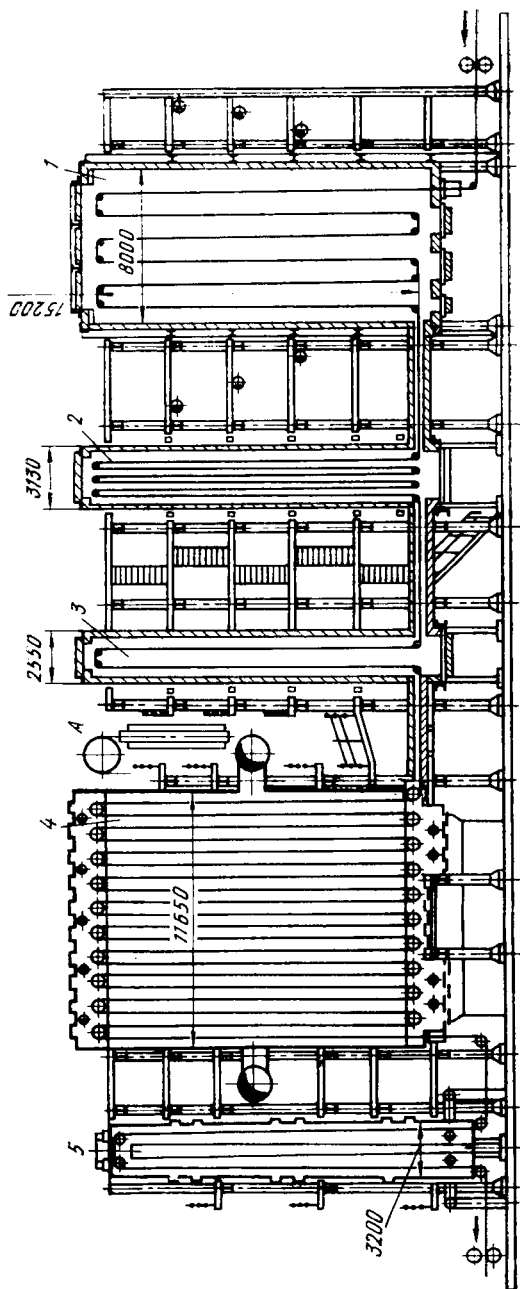


Рис. 39. Башенная печь для непрерывного отжига ленты из жести

цать вертикальных ходов, охлаждаясь с 500 до 150 °С. Охлаждение ленты проводится за счет продувания инертными газами или водяными кессонами, которые расположены по обе стороны ленты (узел А). При светлой поверхности ленты и низкой температуре коэффициент теплоотдачи мал, охлаждение затягивается, и поэтому необходима большая длина охладительной камеры. Для усиления охлаждения ленты можно применить в охладительной камере искусственную циркуляцию защитного газа от вентиляторов, что увеличит теплоотдачу путем конвекции. Для ускорения охлаждения ленты из углеродистой стали ее можно с температуры 250—300 °С замачивать в воде. При этом поверхность ленты не окисляется, остается светлой. В результате применения замочки ленты в воде значительно уменьшается длина камеры 4 быстрого охлаждения, исчезает необходимость установки камеры 5 с обдувкой воздухом для охлаждения ленты от 150 до 20 °С и создается герметичный затвор при выходе ленты из печи.

Башенные печи применяют для обезуглероживающего отжига трансформаторной стали. Их начинают использовать для отжига медной и латунной ленты и рекристаллизационного отжига мягкой автостали для глубокой вытяжки вместо колпаковых печей.

На рис. 40 приведена поточная линия небольшой производительности с башенной печью для отжига медной и латунной ленты шириной до 600 мм и толщиной 0,2—1,6 мм. Бунты ленты перед отжигом поочередно надевают на один из размоточных барабанов 1, затем обрезают концы рулона на подвесных электровиброножницах 2. Начало нового рулона приваривается к концу предыдущего в электросварочной машине 3. Далее лента поступает в ванну 4 с трихлорэтиленом для обезжиривания. Из ванны лента выводится с помощью ведущих приводных роликов 5 и поступает в башню запаса ленты 6 с петлевым устройством. Затем лента направляется вниз отжигательной башенной электропечи 7 с высотой рабочей камеры 6,7 м, в которой делает восемь оборотов, нагреваясь до температуры 600 °С, далее она поступает для охлаждения в вертикальную охладительную камеру 8 с защитной атмосферой. Там она делает два оборота и ведущими приводными роликами 9 направляется в выходную башню запаса ленты 10 с петлевым устройством, откуда выводится тянущими приводными роликами 11. Ролики снабжены индикатором, обнаруживающим места сварки, которые в дальнейшем вырезают подвесными электрическими виброножницами

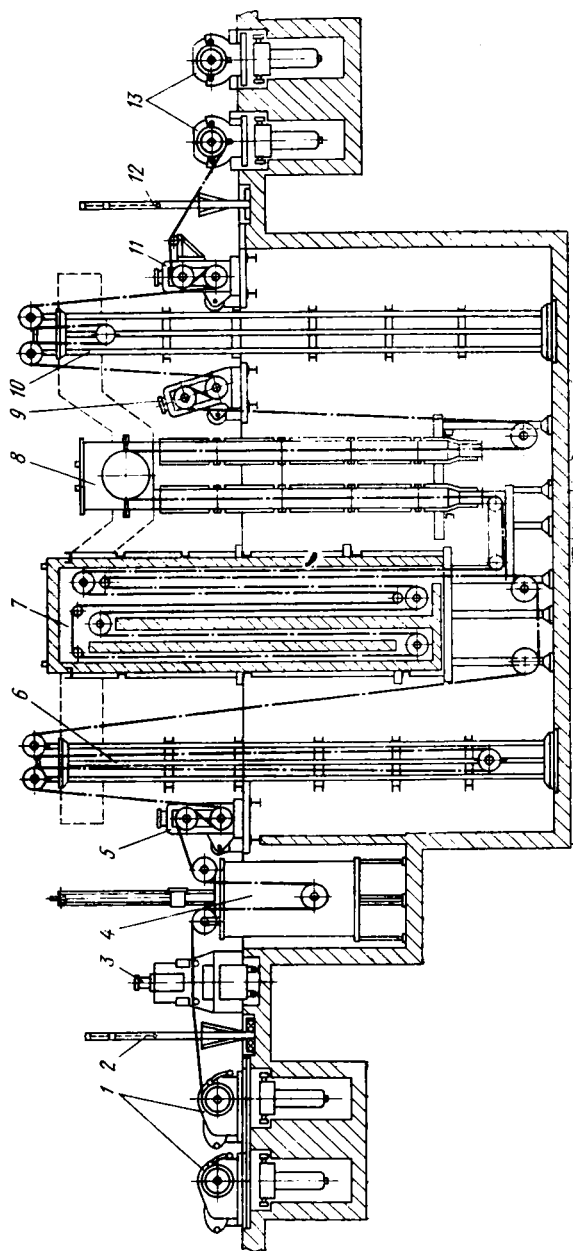


Рис. 40. Агрегат с башенной печью для отжига медной и латунной ленты

12. Лента сматывается в рулон на барабанах 13. Барабаны имеют приспособление для устранения ступенчатости при намотке рулона. Описанная выше поточная линия занимает площадь 190 м², мощность установки 170 кВт, производительность до 1 т/ч. Скорость движения ленты в печи может изменяться в пределах от 2 до 10 м/мин в зависимости от толщины отжигаемой ленты.

Для ускорения процесса нагрева и охлаждения ленты при рекристаллизационном отжиге можно применять башенные печи с расплавом металлического натрия. Средний коэффициент теплопередачи при нагреве до 700 °С в газовых печах не превышает 40 Вт/(м²·К), а в охлаждающих секциях еще ниже. Металлический натрий имеет очень высокий коэффициент теплоотдачи, около 4000 Вт/(м²·К), причем он возрастает с увеличением скорости движения ленты. Так, при скорости движения ленты 300 м/мин коэффициент теплопередачи составляет до 20 000 Вт/(м²·К).

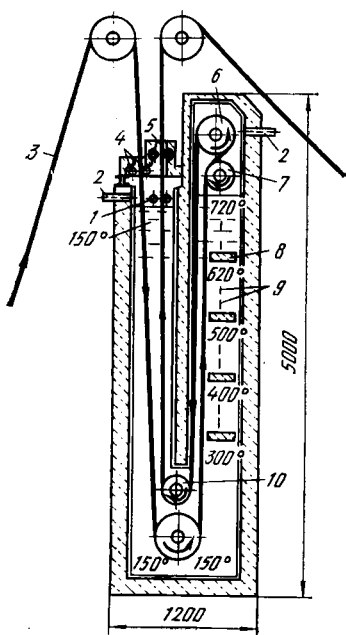


Рис. 41. Продольный разрез башенной печи для непрерывного отжига ленты в расплавленном металлическом натрии

Схематический продольный разрез башенной печи для непрерывного отжига ленты в расплавленном металлическом натрии приведен на рис. 41. Печь состоит из двух сообщающихся колен, заполненных металлическим натрием, уровень которого показан штриховой линией. Расплав металлического натрия находится в контейнере, который из-

готавливается из сталей типа Х18Н9 или Х25Н20, не поддающихся воздействию натрия. Неотожженная лента 3 входит в печь сверху через затвор, состоящий из пары резиновых роликов 4, в левое колено, погружается в расплав металлического натрия, который имеет температуру около 150 °С. Лента огибает ролик и поднимается вверх правого колена, которое разделено по высоте поперечными перегородками 8 на зоны с различным подводом тепла U-образ-

ными горизонтальными трубами 9. Температура этих зон 300, 400, 500, 620, 720 °С. Вверху лента проходит натяжной ролик 7, огибает ролик 6 и возвращается вниз несколько левее ленты, подвергающейся нагреву. Внизу лента огибает ролик 10 и выдается из печи через левое колено и двойной роликовый затвор 1 и 5. Для предохранения металлического натрия от окисления на его поверхность через трубки 2 подводят защитный газ. Охлаждение ленты в значительной степени осуществляется в результате отдачи тепла зоне нагрева, что повышает к. п. д. печи и снижает расход топлива по сравнению с обычными печами в 3 раза.

Производительность печи при рекристаллизационном отжиге ленты из жести шириной 800 мм достигает 30 т/ч. Скорость движения ленты толщиной 0,3 мм доходит до 300 м/мин (время нагрева около 1 с). Для окончательного удаления слоя натрия с поверхности ленты применяют щетки из серебряноникелевого сплава, которые вращаются в направлении, противоположном движению ленты.

Термическая обработка электротехнической стали

По условиям работы электротехнических (магнитно-мягких) сталей требуется высокая магнитная проницаемость ($\mu = B/H$) и малые потери энергии при перемагничивании, определяемые при индукции 1,5 и 1,7 Т. Суммарные потери энергии в основном состоят из потерь при перемагничивании и потерь вследствие образования вихревых токов. Потери энергии при перемагничивании зависят от площади петли гистерезиса, т. е. от остаточной индукции и коэрцитивной силы H_c . Для уменьшения площади петли гистерезиса при высокой магнитной индукции должна быть получена очень малая коэрцитивная сила. Потери на вихревые токи тем меньше, чем выше электрическое удельное сопротивление ρ .

Наиболее простым магнитно-мягким материалом является очень чистое железо, которое в зависимости от чистоты имеет коэрцитивную силу $H_c = 1$ Э и ниже при магнитной проницаемости $\mu = 3000-4000$ Гс/Э. Но удельное электрическое сопротивление мало, поэтому железо может применяться там, где удельные сопротивления роли не играют. Кроме того, железо подвержено магнитному старению. Поэтому для динамной и трансформаторной стали необходимо легирование железа элементами, повышающими удельное электросопротивление. Вместе с тем легирующий элемент не должен вызывать дисперсионного твердения, резко повышающего коэрцитивную силу.

Значительно повышают электрическое удельное сопротивление кремний и алюминий, они образуют твердые растворы, не подверженные дисперсионному твердению и имеющие высокую магнитную проницаемость.

Кремний и алюминий, будучи энергичными раскислителями, парализуют вредное действие кислорода и серы. Углерод способствует образованию карбидов и его должно быть возможно меньше. Наиболее дешев и технологичен в производстве кремний, в связи с чем распространенные электротехнические стали представляют собой кремнистые стали с возможно малым количеством других примесей, включая углерод, серу, кислород. С повышением содержания кремния значительно уменьшаются потери энергии, но резко снижается вязкость и повышается порог хладноломкости, поэтому содержание кремния ограничивают до 3,8—4,8 %. Сталь с 2,8—3,8 % Si применяется как трансформаторная, а с 0,8—1,8 % Si как динамная для изготовления роторов и статоров асинхронных двигателей и магнитных цепей электрических машин.

По действующему ГОСТ 21427—75 изготавливаются 44 марки горячекатаной и холоднокатаной электротехнических сталей, они подразделяются по структурному состоянию и виду прокатки на классы: 1—горячекатаная изотропная, 2—холоднокатаная изотропная, 3—холоднокатаная анизотропная с ребровой текстурой. Номера этих классов представляют первую цифру в марках стали. Вторая цифра — содержание кремния (1—0,4÷0,8 %; 2—0,8÷1,8 %; 3—1,8÷2,8 %; 4—2,8÷3,8 %; 5—3,8÷4,8 %). Третья цифра дает основную нормируемую характеристику (1— $P_{1,5/50}$, $P_{1,7/50}$; 2— $P_{1,5/400}$, $P_{1,0/400}$; 3, 4, 5, 6— $B_{0,4}$; 7— B_{10}). Четвертая цифра в марке означает порядковый номер типа стали.

Особый вред на свойства электротехнических (магнитномягких) сталей оказывают содержание углерода, серы и растворенных газов, загрязненность границ зерен включениями и выделением карбидов; наличие в металле напряжений, получаемых при прокатке и ускоренном охлаждении. Существенное влияние на магнитные свойства электротехнической стали оказывает размер зерна. С увеличением его возрастает магнитная проницаемость и снижаются потери на гистерезис, но значительно увеличиваются потери на вихревые токи. В настоящее время считают, что надо получать мелкое зерно, а магнитные характеристики повышать изменением технологии производства, текстурованности и др.

Листовую электротехническую (магнитномягкую) сталь выпускают горячекатаной и холоднокатаной толщиной 0,5 и 0,35 мм. Прокатку ведут на многовалковых непрерывных станах.

Типовая термическая обработка динамных сталей состоит в длительном отжиге при 860—900 °С с последующим замедленным охлаждением. Основное назначение отжига — снижение содержания углерода, удаление вредных примесей, снятие наклепа, получаемого при прокатке, и проведение рекристаллизации. Для повышения чистоты границ зерен сплава, улучшения условий выгорания углерода применяют отжиг в обезуглероживающих атмосферах (диссоциированном аммиаке).

Для снижения потерь энергии при термической обработке трансформаторной стали ее подвергают сложной обработке. Основное — это получение кристаллографической магнитной текстуры высокой степени совершенства, оптимального размера зерна и определенным образом ориентированных упругих напряжений. Наиболее распространены анизотропные стали с ребровой текстурой (110) [001], в которой преимущественное направление легкого намагничивания совпадает с направлением прокатки. Основным процессом, обуславливающим получение указанной текстуры, является вторичная рекристаллизация, при проведении которой необходимо затруднить собирательный рост зерен. Этому способствуют дисперсные частицы второй фазы (нитриды алюминия или сульфиды марганца). При температурах выше 900 °С вследствие растворения или коалесценции частиц отдельные зерна получают возможность роста. Своеобразием вторичной рекристаллизации трансформаторной стали является необходимость создания условий преимущественного роста зерен с определенной их ориентировкой.

Это связано с получением текстуры, создаваемой в результате предшествующих операций холодной прокатки и рекристаллизационных отжигов.

Принятая на некоторых металлургических заводах технология производства анизотропной холоднокатаной электротехнической стали включает выплавку слитков (или слэбов), горячую прокатку на полосу толщиной 2,5 мм, холодную прокатку с толщины 2,5 до 0,7 мм, промежуточный рекристаллизационный отжиг при 810—830 °С, холодную прокатку с толщины 0,7 мм до 0,35, обезуглероживающий отжиг при 830 °С, нанесение термоизолирующего покрытия (основной компонент MgO) и окончательный рекристаллизационный отжиг при 1050—1100 °С в атмосфере водорода с точкой росы —40 °С (рис. 42). Высокотемпературный отжиг проводят в рулонах с медленным нагревом и охлаждением. Время отжига составляет 120—150 ч, в том

числе выдержка при $1050-1100^{\circ}\text{C}$ до 40 ч. Отжиг обеспечивает протекание вторичной рекристаллизации в наиболее оптимальных условиях, рафинирование металла от примесей, исключение возможности образования дисперсных частиц, снижающих магнитные свойства.

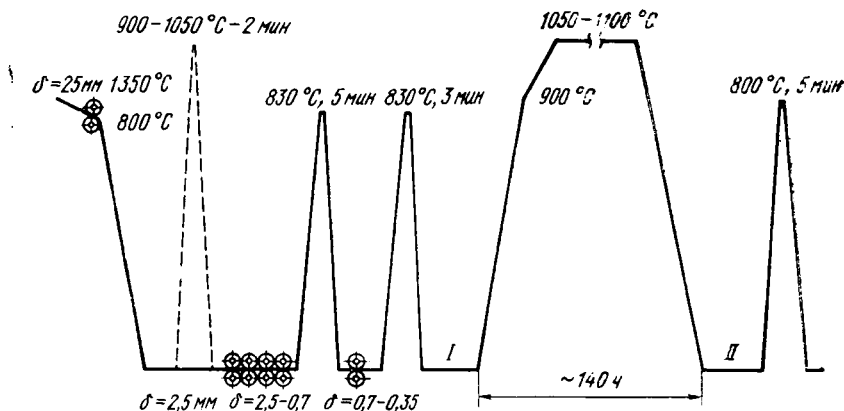


Рис. 42. Схема отжига трансформаторной стали

I — нанесение изолирующего покрытия; II — нанесение изолирующего магнитоактивного покрытия

Заключительные технологические операции состоят в нанесении электроизоляционного покрытия, отжига для сушки покрытия и снятия рулонной кривизны. В последнее время применяют нанесение особых магнитно-активных электроизоляционных покрытий, создающих определенное упруго-напряженное состояние из-за различных температурных коэффициентов металла и вещества покрытий (обычно типа силикатных стекол). Это ведет к существенному снижению удельных потерь при перемагничивании. Трансформаторная сталь 3416 при толщине листа 0,35 мм имеет удельные потери $p_{1,5/50} = 0,85 \div 0,95$ Вт/кг стали.

Технологический процесс получения трансформаторной стали совершенствуется: включена термическая обработка горячекатаной полосы, заключающаяся в быстром нагреве металла до $1000-1050^{\circ}\text{C}$ и охлаждении с контролируемой скоростью с целью подготовки структуры и получения наиболее дисперсной второй фазы (на рис. 42 показана штриховой линией); увеличена степень деформации при второй холодной прокатке (вплоть до обжатий 90 %), что приводит к формированию более благоприятных текстур деформации и рекристаллизации.

В массовом производстве трансформаторной стали применяют горизонтальные и вертикальные протяжные печи. Первая холодная прокатка с толщины 2,5 до 0,7 мм проводится за несколько проходов на четырехвалковых станах. Первый отжиг полосы осуществляется в вертикальной протяжной печи длиной 56 м, шириной 6,4 м, высотой 20 м, мощностью 8050 кВт и производительностью 28 т/ч. Общая длина ленты в печи 640 м, скорость ее движения до 150 м/мин. Печь имеет камеры нагрева до 830 °С на 6 ходов, выдержки на 8 ходов, регулируемого охлаждения до 700 °С на 4 хода, ускоренного охлаждения до 150 °С на 22 хода и переходного тамбура на 2 хода с длиной размещаемой ленты соответственно 96; 128; 64; 354 и 32 м (рис. 43, а).

Вторая холодная прокатка с толщины 0,7 до 0,35 мм проводится на двадцативалковом стане с последующим обезуглероживающим отжигом (рис. 43, б) при 830 °С в горизонтальной проходной протяжной печи в азотводородной среде. Печь по высоте двухъярусная, причем каждый ее ряд работает самостоятельно, длина печи 250 м, ширина 2,7 м, высота 1,83 м, мощность 4500 кВт, производительность до 15 т/ч. Скорость движения ленты в печи до 40 м/мин. Печь имеет камеры нагрева до 830 °С длиной 98 м, выдержки длиной 120 м, регулируемого охлаждения до 700 °С 18 м и быстрого охлаждения 24 м (рис. 43, б). В камере регулируемого охлаждения установлены 30 труб с воздушным охлаждением, в ней температура металла снижается до 700 °С. Участок печи быстрого охлаждения состоит из водоохлаждаемой секции и трех секций струйной обдувки, после чего металл охлаждается до 150—200 °С.

Для сушки электроизоляционного покрытия и выпрямляющего отжига с целью устранения кривизны полосы после высокотемпературного отжига используют горизонтальную протяжную печь (рис. 43, в) длиной 92 м, шириной 1,5 м и высотой 1,28 м. Мощность ее 2075 кВт, производительность 6 т/ч. Нагрев до 850 °С и регулируемое охлаждение до 650 °С ведется в печи с водяными кессонами, а дальнейшее охлаждение на воздухе в двух ярусах, расположенных под печью (рис. 43, в). Скорость движения полосы до 120 м/мин.

Высокотемпературный рекристаллизационный отжиг (рис. 43, а) с нагревом до 1100 °С проводят в колпаковых печах с водородной атмосферой. Размеры рабочего пространства печи 2,5×6,2×2,0 м, полезный объем 31 м³, садка

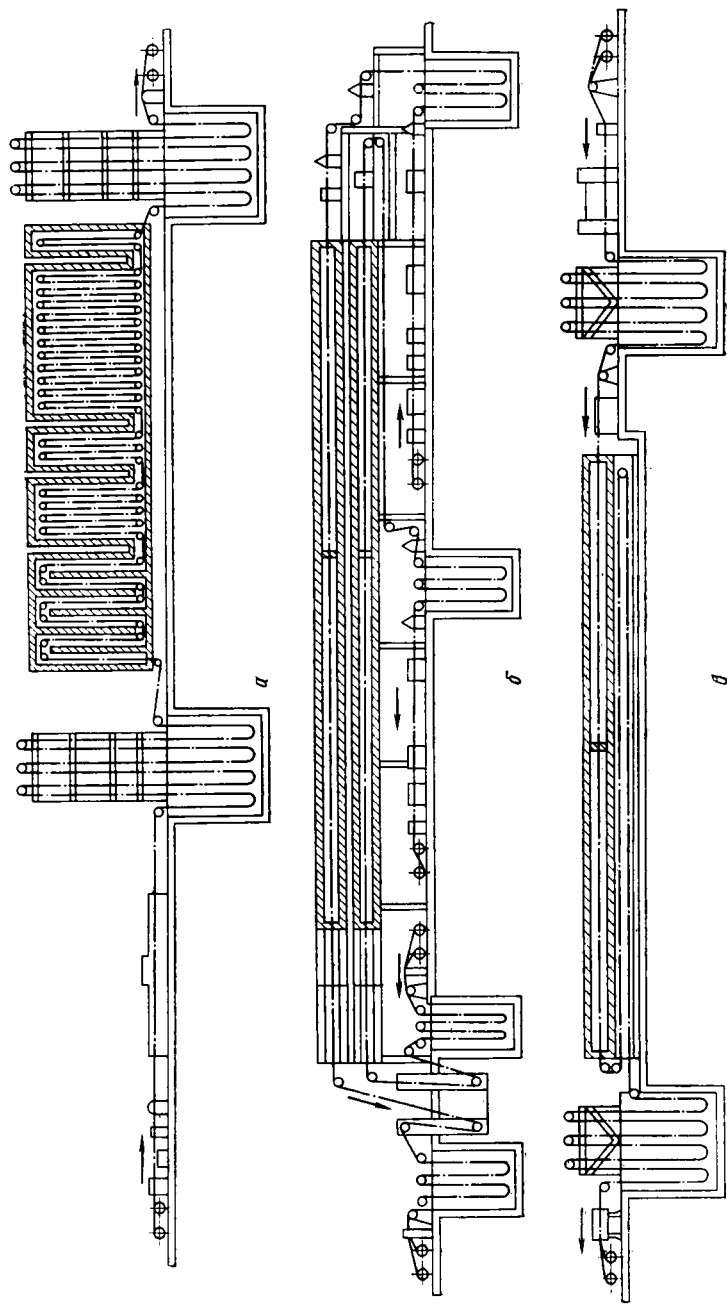


Рис. 43. Агрегаты для обработки трансформаторной стали

48 т (6 рулонов по 8 т), мощность 770 кВт. Рулоны размещают в трех металлических муфелях диаметром 1,6 м, высотой 1,8 м. Масса нагревательного колпака 60 т; производительность печи 0,21 т/ч. Режим отжига: нагрев до 350 °С и выдержка для удаления влаги в течение 30 ч, нагрев до 950 °С, выдержка 10 ч, нагрев до 1100 °С, выдержка 45 ч, охлаждение под колпаком до 500 °С, выдержка 75 ч. Расход водорода 50 м³/ч.

4. Термическая обработка труб

Трубы широко используют в народном хозяйстве для транспортировки жидкостей и газов, в паровых котлах, в аппаратостроении, строительных конструкциях, нефтяной, газовой, подшипниковой промышленности и в других отраслях. По способу изготовления трубы подразделяют на бесшовные, сварные и литые.

Бесшовные трубы изготавливают до диаметра 25 мм с толщиной стенки 3,0—2,5 мм горячей прокаткой, как наиболее производительным процессом. При толщине стенки трубы менее 2,5 мм применяют холодную прокатку и волочение. Наиболее высокая производительность наблюдается при изготовлении труб методом холодной прокатки, при которой могут быть получены обжатия до 75—85 %. Однако холодная прокатка экономично может применяться только в массовом производстве, так как для нее требуются дорогостоящие калиброванные валки. Кроме того, холодной прокаткой нельзя получать трубы диаметром менее 5—10 мм и с толщиной стенки менее 0,4 мм. Поэтому при изготовлении стальных труб малых диаметров, даже при массовом производстве, прибегают к сочетанию холодной прокатки и волочения. Значительное количество труб большого диаметра получают из ленты сваркой в виде прямошовных и спиральношовных. В XII пятилетке будет увеличен выпуск труб с различными антикоррозийными покрытиями.

Стальные литые трубы, изготавливаемые методом центробежного литья в металлические формы, выпускают ограниченно.

Трубы изготавливают также из цветных сплавов типа латуней, медно-никелевых и алюминиевых сплавов.

Трубы для добычи нефти и газа изготавливают в виде бурильных (ГОСТ 631—75), обсадных (ГОСТ 632—80) и насосно-компрессорных (ГОСТ 633—80). Применяют преимущественно бесшовные трубы диаметром от 30 до 400 мм. В зависимости от назначения и условий эксплуатации предусматривается семь категорий прочности (Д, К, Е, Л, М, Р, Т) с изменением предела текучести от 370 до 1000 МПа при удлинении $\delta_5 = 10—12\%$ и ударной вязкостью не менее 0,4—0,3 МДж/м². Химический состав стали для труб нефтяного сортамента не оговаривается стандартами. Наиболее часто для данных труб применяют стали 35, 45, 32Г2, 32Г2С, 38ХА, 30ХГС, 40ХГР, 38ХНМА, 35ХГ2СВ и др.

В зависимости от требуемых свойств и принятой марки стали упрочняющая термическая обработка сводится к нормализации или закалке с отпуском. Для труб из легированных сталей, особенно предназначенных для работы на севере, применяют закалку с отпуском на сорбит, так как это повышает пластические свойства и хладостойкость стали. Нормализацию проводят с 870—900 °С, отпуск при 600—630 °С. Нагрев под закалку принимается на 20—30 °С ниже, а отпуск при температурах 580—660 °С. Обсадные, бурильные и насосно-компрессорные трубы требуют высокой точности герметических размеров. Поэтому в состав термических отделений входят обязательно средства для исправления геометрии упрочненных труб — калибровочные и правильные станы; часто калибровку и правку ведут в теплом состоянии, сразу после отпуска.

На рис. 44 приведена схема отделения по производству обсадных высокопрочных труб диаметром 170—350 мм

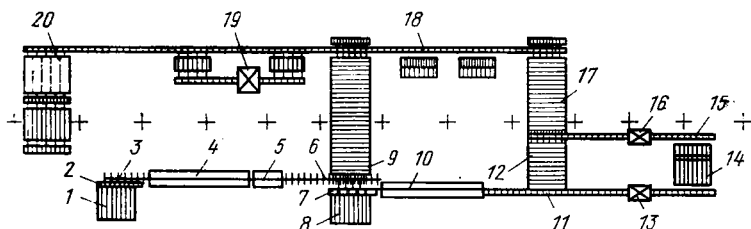


Рис. 44. Схема термического отделения для обработки обсадных высокопрочных труб

в трубопрокатном цехе. В массовом производстве для нагрева под закалку, нормализацию и отпуск труб используют преимущественно роликовые печи. Данная планировка позволяет проводить различные упрочняющие режимы термической обработки на непрерывных линиях. Трубы мостовым краном укладывают на наклонный стеллаж 1 и через дозатор 2 передают на задающий рольганг 3 для подачи в роликовую закалочную печь 4. После нагрева в печи трубы подвергают струйному охлаждению в установке 5, затем они поступают на рольганг 6, после чего их переключают на задающий рольганг 7 отпускной печи 10. После отпуска рольгангом 11 трубы передают на стан тепловой калибровки 13, откуда по наклонному рольгангу 14 они поступают на рольганг 15, которым задаются на стан тепловой правки 16. Далее трубы выдают на холодильник 17 и на стеллаж осмотра 20, где они проходят контроль на

дефектоскопах. При необходимости холодной правки трубы с рольганга 18 передают на стан 19.

В случае нормализации трубы со стеллажа 1 после нагрева их в печи 4 поступают на холодильный стан 9 и правильный стан 19. Если после нормализации необходим отпуск, то трубы с рольганга 6 передаются на вводный рольганг 7 отпускной печи 10. При выходе из печи трубы поступают на холодильник 12 и далее на холодную правку на стане 19. При необходимости только одного отпуска трубы поступают со стеллажа 9.

Для термической обработки (закалки с отпуском) бурильных и обсадных труб (диаметром 140 мм, длиной 8—12 м, изготовленных из сталей 32Г2, 32Г2РТ) на Таганрогском заводе используют индукционный нагрев. Сначала нагревают и закаливают утолщенные концы труб длиной 200 мм с толщиной стенки 20 мм. На каждый конец устанавливается индуктор (мощность 200 кВт, частота 50 Гц).

Общий нагрев поверхности трубы для закалки (толщина стенки 10 мм) проводится двумя индукторами с трансформаторными преобразователями мощностью 620 кВт и четырьмя индукторами с машинными преобразователями по 500 кВт с частотой 1000 Гц. Охлаждение при закалке с помощью спрейеров.

Температура закалки 850 °С. На отпускной линии размещены шесть индукторов мощностью по 500 кВт, частотой 50 Гц, и два корректирующих индуктора мощностью по 500 кВт, частотой 1000 Гц. Температура нагрева при отпуске ~680 °С. После индукционного нагрева трубы для выравнивания их температуры проходят муфельную электропечь длиной 3,5 м. Скорость движения трубы ~3,2 м/мин. Длина закалочной линии 14,3 м, отпускной 16 м. Качество труб контролируют ультразвуковым дефектоскопом типа УКТ-1А.

Трубы для теплоэнергетики (котлов и паропроводов) работают при повышенных температурах (540—600 °С) и давлении (до 25 МПа), поэтому одним из основных требований к ним является высокая длительная прочность. Расчетный срок службы труб 100 000 ч. В энергомашиностроении применяют бесшовные горячекатаные и холоднодеформируемые трубы размером от 10×2 до 460×60 мм, изготавливаемые из сталей перлитного, ферритного и аустенитного классов. Для труб с феррито-перлитной структурой применяют стали 20, 15ХГ, 15ХМ после нормализации с 900—940 °С и стали 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 12Х2МФСР, 12Х1В2МФ после нормализации с 970—

1000 °С и отпуска при 720—760 °С в течение не менее 2—3 ч.

Трубы из сталей аустенитного класса (12X18H10T, 12X18H12T, 12X14H18B2БP) закаливают с 1100—1150 °С в воде.

Продолжительность выдержки после полного прогрева для нормализации или заковки ориентировочно можно принимать из расчета 1 мин на 1 мм толщины стенки трубы, но не менее 20 мин. Предел длительной прочности за 100 000 ч для перлитных легированных сталей составляет при температуре 540 °С до 105—110 МПа, а при 600 °С до 50—60 МПа; для аустенитных сталей при температуре 600 °С — до 110 МПа.

Трубы нефтяного сортамента и другие подвергают термомеханической обработке. Это позволяет повысить прочностные характеристики, понизить порог хладноломкости, использовать для изготовления труб недорогие стали. Повышение прочностных свойств дает возможность уменьшить толщину стенки и получить до 30 % экономии металла.

На рис. 45 приведена типичная схема расположения оборудования поточной линии термомеханической обра-

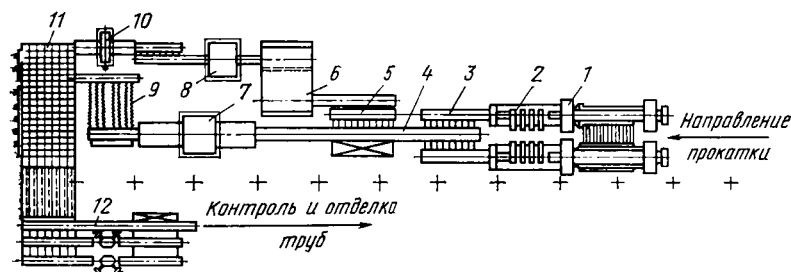


Рис. 45. Схема расположения оборудования поточной линии термомеханической обработки труб на ТПУ 250-2

ботки труб на ТПУ250-2. Трубы после раскатных станов 1 попадают в спрейное устройство 2. Закаленные трубы после раскатных станов 3 поступают на центральный рольганг 4 и через устройство для слива воды 5 подаются в отпускную печь 6 с шагающими балками. Для отпуска труб целесообразнее использовать печь с цепным конвейером. Трубы после отпуска поступают в калибровочный станок 8. После калибровки с суммарными обжатиями до 15 % их подвергают тепловой правке в стане 10, затем передают на холодильник 9 и далее с помощью рольгангов на отделку и контроль.

При нормализации, если не требуется отпуска, трубы по центральному рольгангу 4 через калибровочный стан 7 поступают на холодильник 9 и затем на контроль и отделку.

Сварные трубы для магистральных газо- и нефтепроводов. В связи с увеличением диаметра труб до 1200—2000 мм с толщиной стенки 8 мм и более возрос объем сварных спиральношовных и прямошовных труб, изготавливаемых из ленты сталей 17Г1С, 17Г2АФ, 12Г2АФЮ, 16Г2СФ, 16Г2СФБ и др. Поскольку ударная вязкость сварного шва, особенно в зоне термического влияния, получается низкой ($K_{CU} 0,1—0,2$ МДж/м²), приходится применять термическую обработку сварных труб — локальную или объемную. Для труб ответственного назначения чаще применяют объемную термическую обработку с полной перекристаллизацией. Закалку труб из указанных сталей проводят с 900—930 °С с последующим спрейерным охлаждением до 400—500 °С, отпуск при 650—700 °С. При этом в сварном соединении достигается ударная вязкость K_{CU}^{50} до 0,4—0,6 МДж/м² при $\sigma_b = 600—750$ МПа. При массовом производстве для нагрева применяют секционные роликовые печи с косо расположенными роликами, которые наряду с поступательным движением трубы обеспечивают ее вращение. При пяти нагревательных камерах общей длиной $1,5 \times 5 = 7,5$ м печь имеет среднюю производительность до 5 т/ч при скорости движения трубы 1—2 м/мин (в зависимости от толщины стенки и ее диаметра).

Спрейерное охлаждающее устройство располагают непосредственно за печью. Труба перемещается через спрейер, вращаясь вокруг своей оси. Чаще применяют два типа спрейеров (рис. 46, а, б). В радиальном спрейере вода из кольцевого коллектора 3 через продольные трубы 2 радиально расположенными соплами 1 направляется на охлаждаемое изделие. В осевом спрейере вода на охлаждаемую трубу подается через щелевые сопла 1 в виде сплошной конусной струи. В последнем случае получается более равномерное охлаждение.

Для нагрева сварного шва при локальной термической обработке (ЛТО) используют индукционный нагрев до 950—1000 °С. Хорошие результаты дает применение локальной термомеханической обработки сварных труб (ЛТМО). На сварном шве делают валик, с тем чтобы после его горячей раскатки в валках до толщины стенки основного металла осуществлялось среднее обжатие порядка 20—25 %. После раскатки ведут спрейерное охлаждение со скоростями 30—80 °С/с. Далее проводят отпуск шва с ин-

дукционным нагревом при $650\text{--}700^\circ\text{C}$ с выдержкой около 5 мин. На указанных выше сталях применение ЛТМО позволяет получить временное сопротивление до $700\text{--}800$ МПа при ударной вязкости KCU^{50} до $0,7\text{--}1,0$ МДж/м².

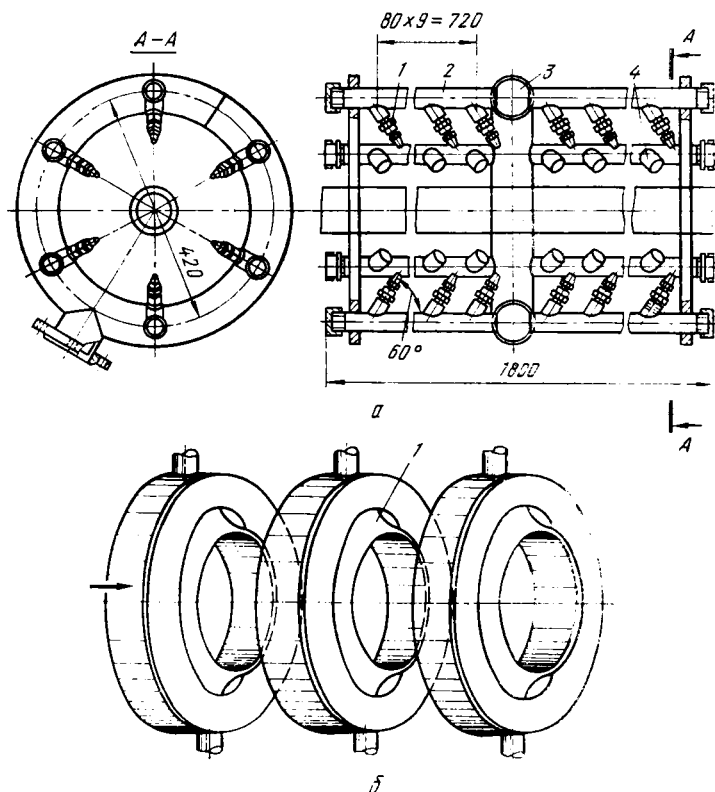


Рис. 46. Спрейерные устройства для охлаждения труб:
а — радиальное; б — осевое

Промежуточная термическая обработка труб применяется для подшипниковых и конструкционных сталей, а также цветных сплавов.

Шарикоподшипниковые трубы изготавливают из сталей ШХ15 и ШХ15Г в виде горячекатаных диаметром $70\text{--}200$ мм и холоднодеформируемых диаметром $20\text{--}90$ мм.

Горячедеформируемые готовые и передельные трубы подвергают сфероидизирующему отжигу на твердость НВ

187—207 (для стали ШХ15) и НВ 197—217 (для стали ШХ15СГ).

Холоднодеформируемые стальные трубы проходят рекристаллизационный отжиг (твердость НВ 207—260). Микроструктура готовых труб должна состоять из мелкозернистого перлита с равномерно распределенными карбидами. В случае обнаружения карбидной сетки перед отжигом проводят нормализацию с 900 °С. Чтобы исключить образование карбидной сетки, горячую прокатку заканчивают при температурах деформации не ниже 860 °С с последующим спрейерным охлаждением на рольганге за калибровочным станом. В массовом производстве для отжига шарикоподшипниковых труб применяют проходные многозонные роликовые печи с контролируемой атмосферой. Сфероидизирующий отжиг проводят при температуре выше критической точки A_{c1} (800—820 °С) с выдержкой 4—6 ч и последующим замедленным охлаждением по 30 °С/ч до 660 °С. Общая продолжительность отжига составляет 10—14 ч.

Хорошие результаты дает применение изотермического отжига с аустенитизацией при 800—820 °С, переохлаждением до 600 °С и нагревом для изотермической выдержки при 700—720 °С в течение 4—6 ч для распада переохлажденного аустенита и коагуляции карбидов.

Рекристаллизационный отжиг после холодной деформации подшипниковых труб проводят при 680—700 °С в роликовых печах в течение 0,5—1,5 ч в зависимости от толщины труб. С целью предохранения от обезуглероживания при нагреве печи радиационными трубами и электрическими нагревательными элементами применяют экзогазовую контролируемую атмосферу.

Трубы из конструкционных сталей и сплавов малых диаметров в большом количестве производят холодным волочением. Поэтому их при переделах многократно подвергают промежуточным рекристаллизационным отжигам. Повторяемость технологических процессов необходимо учитывать при размещении оборудования. При изготовлении трубы несколько раз проходят волочение, отжиг, травление и сушку. Целесообразно располагать оборудование в пролетах одинакового назначения.

На рис. 47 приведен план цеха холодного волочения труб Первоуральского новотрубного завода. Цех имеет пять пролетов и крытую эстакаду — склад. В пролете I располагается травильное отделение, в двух последующих (II и III) волочильные станы, в пролете IV отжигательные печи,

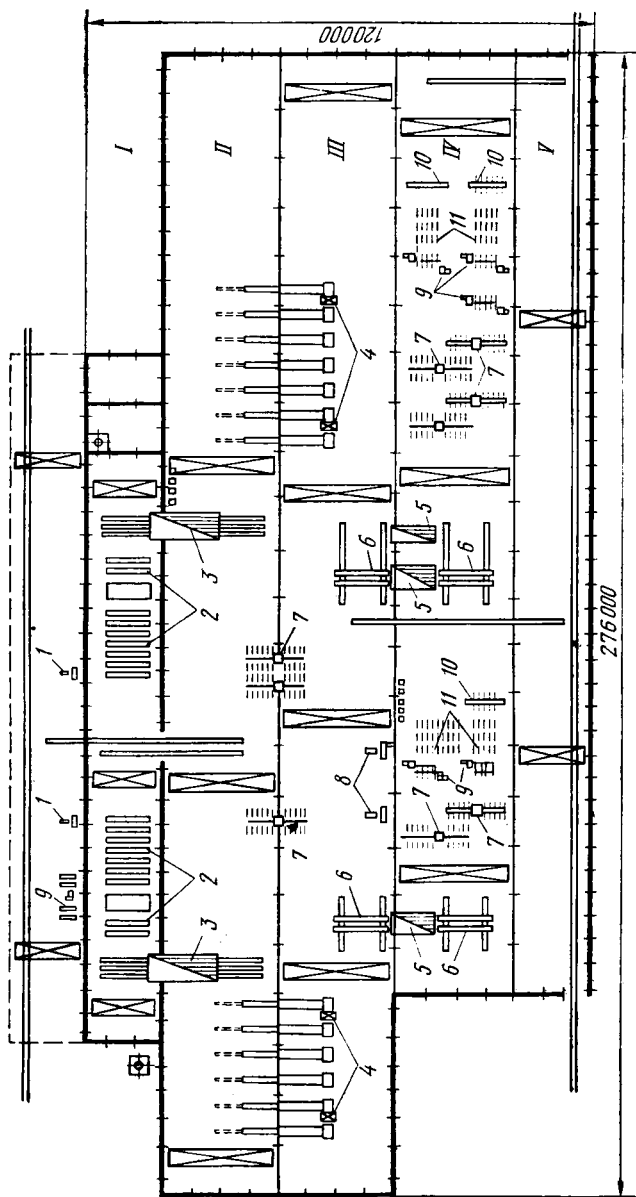


Рис. 47. План цеха холодного водочения и отжига труб

отделка труб и инспекция контроля. Последний пролет V отведен под склад готовых труб.

Учитывая легкие садки для отжига, применяют камерные печи с нижними топками и внешней механизацией загрузки и разгрузки печей посадочной машиной. Передача труб из пролета в пролет производится в большинстве случаев через производственные агрегаты: из травильного отделения к волочильным станам через сушильные печи 3, из пролета II в пролет III — через волочильные станы 4, от волочильных станов в пролет IV через отжигательные печи 5.

Горячекатаные трубы доставляют железнодорожным путем на склад-эстакаду, раскладывают на стеллажах по маркам стали и размерам. Здесь же происходит забивка концов труб на молотах 1 и наборка труб в пакеты. Пакеты труб на тележке железнодорожным путем передают в травильное отделение (пролет I), где они последовательно проходят травление, промывку, омеднение в ваннах 2, сушку в печах 3 и двумя потоками выдают к волочильным станам 4. После протяжки трубы обрезают на пилах трения и затем они поступают в отжигательные печи 5 камерного типа с внешней механизацией загрузки и выгрузки пакетов труб напольной машиной 6.

При необходимости дальнейшего волочения трубы направляют через правильные машины 7 в пролет II, где набираются в пакеты, которые передаются в травильное отделение, затем процесс обработки труб повторяется. Окончательно термически обработанные трубы из отжигательных печей 5 выдаются в отделочный пролет IV. Здесь они правятся на машинах 7, обрезаются на станках 9, проходят испытание на прессах 10 и инспекторскую приемку на стеллажах 11. После приемки трубы передают узкоколейными железнодорожными путями на склад готовой продукции в пролет V.

В последнее время для рекристаллизационного отжига труб используют установки прямого электронагрева. Такая установка для отжига в контролируемой атмосфере латунных и медноникелевых труб длиной до 7,5 м и диаметром до 50 мм при мощности 100 кВт имеет среднюю производительность 240 кг/ч. Время нагрева труб в зависимости от толщины стенки составляет 40—60 с. К. п. д. установки 80 %.

Окончательная термическая обработка труб из конструкционных сталей и алюминиевых сплавов в виде закалки проводится с нагревом в ямных печах, селитровых ваннах и вертикальных шахтных печах. При закалке длинных тон-

ких стальных и алюминиевых труб и прессованных профилей из алюминиевых сплавов требуется быстрый перенос их из нагревательной печи в закалочный бак, так как иначе в результате подстуживания возможен распад твердого раствора до закалки.

С целью уменьшения коробления длинных труб и профилей охлаждение их при закалке желательно вести в вертикальном положении. Поэтому длинные трубы с тонкой стенкой и профили нагревают в вертикальных печах с подвижным дном и с закалочным баком, размещенным под печью. Загрузку и выгрузку деталей из печи осуществляют снизу, для чего закалочный бак делают передвижным. Печь с высотой рабочего пространства 9 м и диаметром 1,3 м при нагреве труб и профилей из алюминиевых сплавов до 500 °С имеет среднюю производительность 1 т/ч при мощности 400 кВт. Средняя масса единовременной садки 2 т, продолжительность выдержки в печи 2 ч.

Контроль труб после термической и термомеханической обработки

Объем контроля определяется требованиями ГОСТ или ТУ. Испытание на статическое растяжение при комнатной температуре проводят по ГОСТ 1497—84 и ГОСТ 10006—80; при пониженных температурах (до —100 °С) — по ГОСТ 11150—84, а при повышенных температурах — по ГОСТ 19040—81. Ударную вязкость определяют по ГОСТ 9454—78 с учетом вида концентратора напряжений. Твердость определяется при комнатных температурах; желательно для измерения твердости использовать неразрушающие методы контроля. Технологические пробы на изгиб проводят по ГОСТ 3728—78, на раздачу — по ГОСТ 8694—75, на сплющивание — по ГОСТ 8695—75, на бортование — по ГОСТ 8693—80. Трубы из ШХ15 и ШХ15СГ, изготавливаемые по ГОСТ 800—78, контролируют на глубину обезуглероженного слоя (ГОСТ 1763—68), на неметаллические включения, карбидную ликвацию, наличие пористости и микроструктуру (ГОСТ 801—78). Загрязненность котельных труб контролируется по ГОСТ 1778—70, величина зерна — по ГОСТ 5639—82, полосчатость — по ГОСТ 5640—68, а микроструктура по эталонным шкалам ТУ 14-3-460—75.

Трубы из аустенитных коррозионностойких сталей контролируют на содержание α -фазы металлографическим или магнитным методом (по ГОСТ 11878—66). Трубы из высоколегированных сталей испытывают на межкристаллитную коррозию (ГОСТ 6032—84). Для выявления внутрен-

них дефектов (трещин, пустот и др.) используют ультразвук (ГОСТ 17410—78). Необходимость проведения ультразвукового контроля определяют ТУ на трубы.

Трубы, работающие под давлением, испытывают внутренним гидравлическим давлением (по ГОСТ 3845—75).

При необходимости определения химического состава металла проб отбирают по ГОСТ 7565—81.

5. Термические цехи (отделения) для обработки проволоки

Технология термической обработки проволоки

Проволоку применяют для изготовления канатов, тросов, пружин, кардоленты, подшипников качения, велосипедных спиц, разнообразных игл, заклепок, сеток, электронагревателей, термопар и других изделий, а также используют в виде упаковочной, телеграфной и сварочной проволоки.

Изготавливают проволоку из горячекатаной заготовки (катанки) диаметром $6 \div 8$ мм. Минимальные размеры проволоки могут доходить до сотых долей миллиметра. Проволоку производят из углеродистых и легированных сталей (марганцовые, кремнистые, хромистые, хромоникелевые, хромовольфрамовые и др.), а также из цветных металлов и их сплавов. Канатную проволоку изготавливают из сталей 45, 55, 60; пружинную — из сталей 60, 60Г, У9А, 60С2; кардную и ремизную — из стали 50; шарикоподшипниковую — из сталей ШХ15, ШХ9; игольную — из сталей У7А, У8А, У10А; для часов — из сталей У7А, У10А и т. п. Цветные сплавы используют главным образом для изготовления проволоки высокого омического сопротивления и для линий электропередач.

Заготовкой для изготовления проволоки служит катанка — проволока диаметром 6—8 мм, получаемая горячей прокаткой, а проволока диаметром ниже 6 мм изготавливается холодным волочением. Для того чтобы проволока хорошо тянулась, необходимо подготовить ее поверхность и структуру начиная с катанки. Лучшей структурой для катанки и проволоки из углеродистых сталей перед волочением является сорбит, позволяющий уменьшить число обработок и получить хорошие свойства в готовой проволоке. Для получения структуры сорбита в катанке применяют ускоренное охлаждение сразу после выхода катанки из последнего калибра прокатного стана до моталок. На действующих станах это расстояние для размещения охлаждающих

устройств составляет около 10 м, а скорость прокатки достигает до 30 м/с. Температура смотки желательна около 600—650 °С, поэтому необходимо обеспечить высокую скорость охлаждения катанки. Это достигается различными путями, хорошие результаты дает пропускание катанки в трубчатую проводку, в которую подается вода, нагнетаемая форсункой с направлением потока, совпадающим с направлением прокатки, со скоростью, в 1,5—2 раза превышающей скорость движения катанки. Это обеспечивает, кроме высокой скорости охлаждения (1500—2000 °С/с), гидротранспортирование катанки. В ряде установок для сокращения пути охлаждения катанки ее свертывают в виде coils, которые подвергают спрейерному охлаждению.

Удаление окалины с горячекатаной проволоки осуществляют травлением ее в водных растворах кислот. После травления проводят промывку холодной и горячей водой, нейтрализацию в горячем растворе извести и нагрев до 200—300 °С для уничтожения травильной хрупкости, связанной с поглощением водорода в процессе травления.

Для облегчения волочения проволоку перед известкованием часто покрывают тонким слоем меди путем погружения на короткое время в бак с раствором медного купороса. Наибольшую способность к пластической деформации при волочении стальной проволоки имеет структура тонкопластинчатого сорбита, полученного при патентировании, т. е. изотермическом превращении переохлажденного аустенита в области температур 450—550 °С. Самой нежелательной по свойствам исходной структурой для волочения является грубопластинчатый перлит и наличие цементитной сетки.

Патентированная проволока из стали с содержанием 0,8—1,0 % С, обладая высокой способностью к пластической деформации, после холодного волочения при суммарном обжатии 75 % имеет временное сопротивление до 2500 МПа, а при суммарном обжатии 98 % — до 5000 МПа и выше.

С увеличением степени легированности сталей повышается устойчивость переохлажденного аустенита, и при непрерывном патентировании требуются очень длинные ванны для полного изотермического превращения. Поэтому для проволоки из легированных сталей в качестве термической обработки применяют закалку в масле с последующим высоким отпуском. Однако патентирование легированных сталей по сравнению с закалкой и отпуском на ту же твердость придает проволоке после волочения более высокий комплекс механических свойств.

Закалка с отпуском применяется как окончательная операция термической обработки следующих видов проволоки: пружинной, кардной, ремизной и гребнечесальной. Проволока из высокоуглеродистых сталей (игольная, инструментальная, шарикоподшипниковая) подвергается отжигу на зернистые карбиды с целью улучшения обрабатываемости при изготовлении изделий на станках-автоматах и подготовки структуры к закалке в изделиях.

Для улучшения качества поверхности горячекатаной шарикоподшипниковой проволоки применяют окислительный отжиг при 760—740 °С с выдержкой 10—14 ч. В результате окислительного отжига уничтожаются многие поверхностные пороки (мелкие закаты, волосовины, плены, обезуглероженный слой) и получается структура зернистого перлита, требуемая по техническим условиям. Горячекатаная проволока из углеродистых сталей часто перед началом волочения подвергается нормализации. Нормализацию целесообразно совместить с охлаждением проволоки после горячей прокатки, подвергая мотки проволоки ускоренному охлаждению в струе воды или кратковременному замачиванию в воде для быстрого снижения температуры до 500 °С. В этих условиях получается структура сорбита, которая является хорошей исходной структурой как для волочения, так и для последующей термической обработки (патентирования, закалки, отжига).

Проволоку из аустенитных коррозионностойких и кислотостойких сталей (марок типа X18H9, X18H9T) и сплавов высокого омического сопротивления (нихромов типа X20H80, X15H60) подвергают закалке в воду с 1050—1100 °С. Для передельных размеров проволоки (диаметром более 2 мм) температура нагрева для закалки может быть снижена: для коррозионностойких сталей до 900—950 °С, а для нихрома — до 720—760 °С. Ферритные стали типа X17 проходят высокий отпуск при 720—740 °С с последующим быстрым охлаждением для повышения пластичности.

Проволока из цветных сплавов подвергается промежуточным рекристаллизационным отжигам для возможности проведения дальнейшей пластической деформации. Окончательной термической обработкой для проволоки из цветных сплавов (кроме бериллиевой бронзы) также является отжиг. Для изделий из бериллиевой бронзы (Cu + 2 % Be) окончательной термической обработкой является закалка с 800—820 °С в масло и старение при 380 °С. Бериллий в количестве до 2,1 % имеет ограниченную растворимость в меди, уменьшающуюся с понижением температуры.

Патентирование проволоки проводят в непрерывно действующих установках (рис. 48) перемоткой ее с фигурок (размоточных устройств) 1 через нагревательную печь 2 и ванну 3 на намоточные приводные барабаны 4. Нагрев ведется в протяжных трубчатых печах до температуры вы-

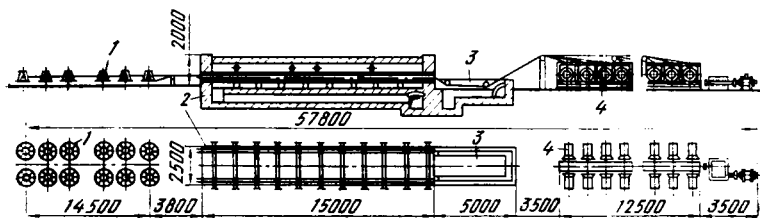


Рис. 48. Схема установки для непрерывного патентирования проволоки

ше точки A_{c3} на $80-100^\circ$, что обеспечивает однородность аустенита и оптимальный для волочения размер зерна (№ 2—3). Сталь с крупным зерном можно подвергать волочению с большими степенями деформации, при этом готовая проволока получает лучшие свойства. Для переохлаждения аустенита и изотермической выдержки чаще применяют электродные соляные ванны. В качестве солей используют расплавы смесей натриевой и калиевой селитры ($65-75\% \text{ NaNO}_3$ и $35-25\% \text{ KNO}_3$) или едких щелочей ($70-75\% \text{ NaOH}$ и $30-25\% \text{ KOH}$). Для нагрева под аустенитизацию преимущественно используют протяжные горизонтальные трубчатые печи, нагреваемые газовыми горелками или электрическими нагревательными элементами. На поду печи укладывают в один ряд 24 трубки, по которым движется нагреваемая проволока. Сверху трубки изолируют слоем шамота. Горелки размещаются в рабочем пространстве печи над трубами. Отвод продуктов горения совершается через каналы в боковых стенках печи в сборный бороз. Печь при размерах пода $15 \times 1,5$ м и длине ванны для изотермического распада аустенита 5 м имеет производительность $0,6-0,8$ т/ч. В последнее время для патентирования используют установки с кипящим слоем (рис. 49). В первой ванне (рис. 49, а) проволока подвергается нагреву для аустенитизации на 950°C , а во второй (рис. 49, б) проходит охлаждение и выдержку с получением структуры сорбита. В установке одновременно движутся

24 ряда проволок со скоростью 12 м/мин на высоте 225 мм над уровнем колпачковой решетки. При длине камеры нагрева 6 м и камеры охлаждения 4 м производительность достигает 1 т/ч. Температура в камере охлаждения регулируется в пределах 100—600 °С. В качестве зернистого материала используют корунд № 10, высота кипящего слоя 350 мм. Нагрев осуществляют природным газом, его расход

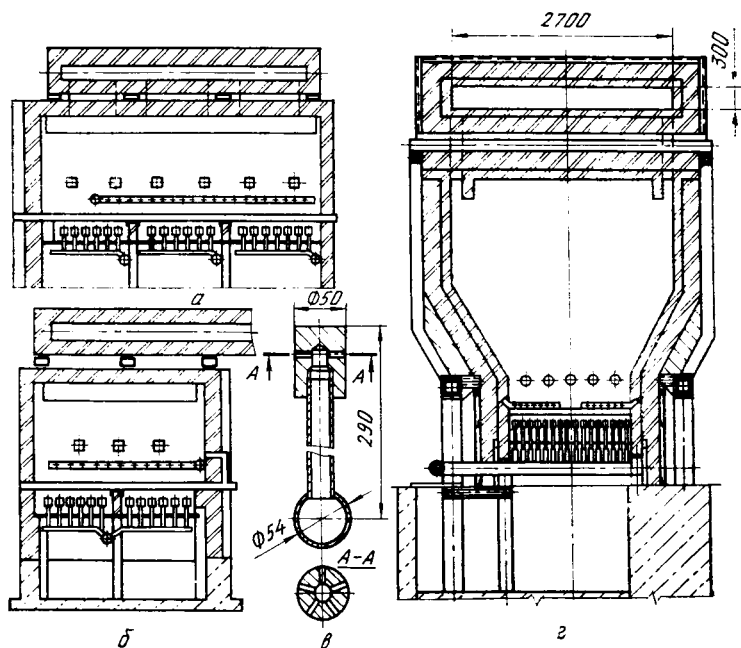


Рис. 49. Установка для непрерывного патентирования проволоки в кипящем слое:

а — камера нагрева; б — камера охлаждения; в — колпачок; з — поперечный разрез (против позиций а и б увеличен в два раза)

составляет 0,7 м³/мин. Герметичность входных и выходных отверстий достигается с помощью песочных затворов.

Промежуточный отжиг чаще проводится с нагревом проволоки в бунтах в вентиляторных колпачковых печах, муфельных шахтных печах и в печах с выдвижным подом. Для рекристаллизационного отжига цветных сплавов на конечном размере проволоки преимущество имеют протяжные печи. В протяжных печах, применяя более высокую температуру печи и увеличенную скорость движения проволоки, можно ускорить нагрев; при этом процесс ре-

кристаллизации завершится, а зерно не успеет вырасти. В результате этого проволока будет иметь мелкое равномерное зерно и высокие пластические свойства.

На некоторых заводах успешно применяется отжиг с нагревом в электродных соляных ваннах. Отжигу в бунтах подвергалась проволока сталей 65 и 65Г в ванне с внутренними размерами $2 \times 1, 2 \times 1,5$ м с 12 электродами (мощностью 240 кВт). Время выдержки при рекристаллизационном отжиге в солях достигает 1—0,5 ч в зависимости от размера садки и марки стали. Однако лучше вместо соляных ванн использовать нагрев в кипящем слое, который обеспечивает ту же интенсивность нагрева, что и расплавы солей.

Закалку и отпуск проволоки проводят в непрерывно действующих установках. Схема установки для термической обработки кардной и ремизной проволоки диаметром 0,2—0,5 мм приведена на рис. 50. Проволока

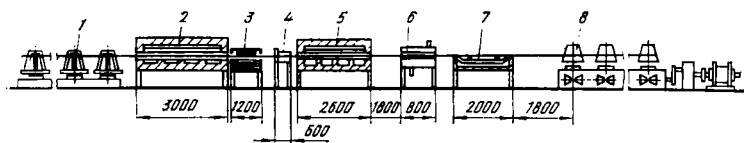


Рис. 50. Схема непрерывнодействующей установки для закалки и отпуска кардной и ремизной проволоки

с размоточных фигурок 1 последовательно проходит нагрев в трубчатой электрической печи 2, закалку в масляном баке 3, очистку от масла на столике 4, отпуск в электрической печи 5, охлаждение в водяном холодильнике 6 и окончательную очистку от масла в керосиновой ванне 7, после этого она наматывается на барабаны 8. Нагрев для аустенитизации и отпуска проводят в протяжных трубчатых горизонтальных печах с рамными электрическими нагревателями. При полезных размерах закалочной печи $3,6 \times 0,6 \times 0,2$ м и мощности 80 кВт производительность составляет 200 кг/ч. Закалку проволоки проводят в горизонтальном положении в закалочном баке, имеющем двойные стенки. Уровень закалочной жидкости во внутреннем баке выше движущейся проволоки, закалочная жидкость переливается через отверстия для прохода проволоки в пространство между наружными стенками, из которого насосом вновь перекачивается в бак.

Оригинальная конструкция установки для закалки и отпуска ремизной и кардной проволоки изображена на

рис. 51. Нагрев непрерывно движущейся проволоки осуществляется электрическим током, пропускаемым непосредственно через нее. Проволока, разматываясь с конической размоточной фигурки 1, проходит через роликовый контакт 2 и трубчатый контакт 6, нагреваясь до закалочной температуры 900 °С. Для уменьшения потерь тепла проволока

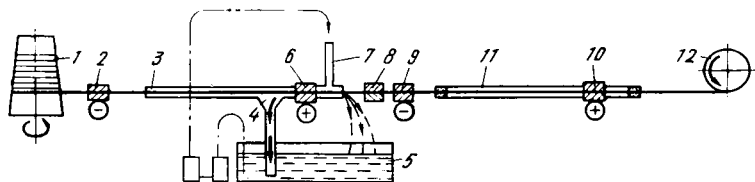
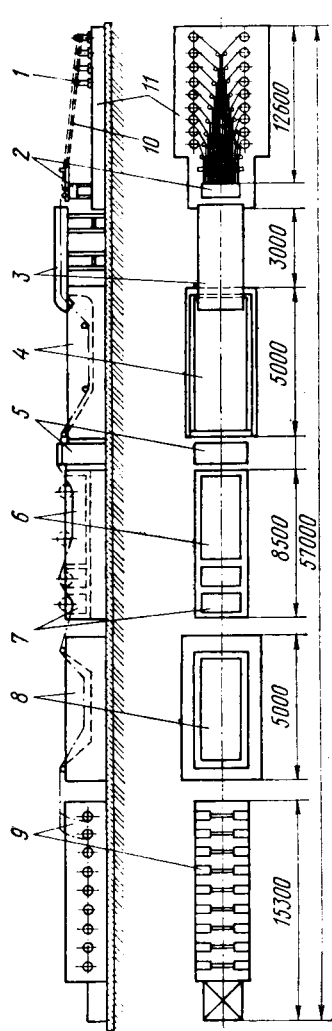


Рис. 51. Схема установки с контактным электронагревом для закалки и отпуска непрерывно движущейся проволоки

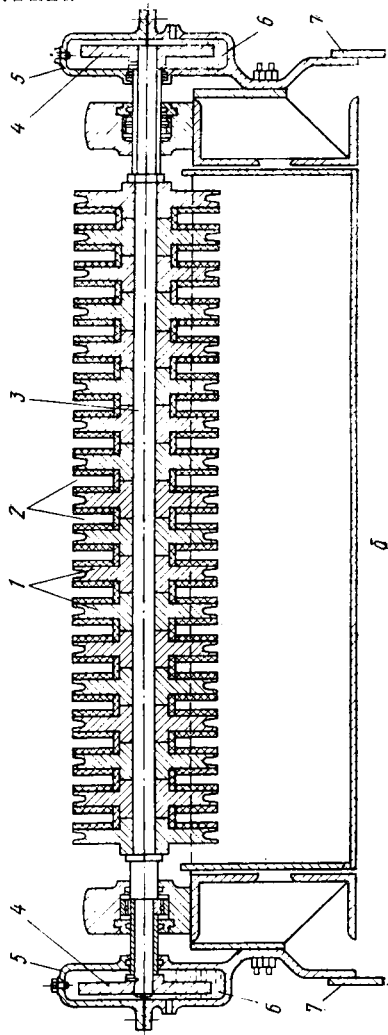
изолируется фарфоровой трубкой 3. В конце трубки проволока закаливается струей масла, подаваемой насосом через тройник 7 из бака 5. Закалочное масло стекает из трубки 3 через воронку 4 и второй конец трубки в общий сборный бачок 5. После закалки проволока очищается от масла, проходя между двумя резиновыми пластинами 8, и попадает на плоский контакт 9 и трубчатый контакт 10, между которыми происходит нагрев для отпуска. Температура нагрева для отпуска кардной проволоки равна 400 °С, а для ремизной 650 °С. Для уменьшения потерь тепла нагретая проволока помещается в фарфоровую трубку 11, концы которой закрываются асбестовыми пробками. Закаленная и отпущенная проволока навивается на барабане 12 в моток. При скорости движения проволоки 60 м/мин расстояние между контактами 2 и 6 должно быть около 1,5 м, а между контактами 9 и 10 около 2,2 м. Для повышения срока службы контакты делают из твердых сплавов.

На рис. 52, а, б представлена поточная линия с контактным электронагревом стальной проволоки диаметром 2—4 мм для патентирования и цинкования. Проволока с размоточных фигурок 1 попадает в ванну первого контакта 2 и далее в свинцовую ванну 4 с температурой около 500 °С, в которой происходит изотермический распад переохлажденного аустенита. Свинцовая ванна одновременно является вторым контактом для осуществления электронагрева проволоки до аустенитного состояния. Для уменьшения потерь тепла при контактном нагреве проволоку помещают в муфель 3. После патентирования проволока охлаждается в ванне 5, проходит травление в кислотной ванне 6, нейт-



a

Рис. 52. Схема установки с контактными электронагревом для непрерывного патентирования и цинкования проволоки



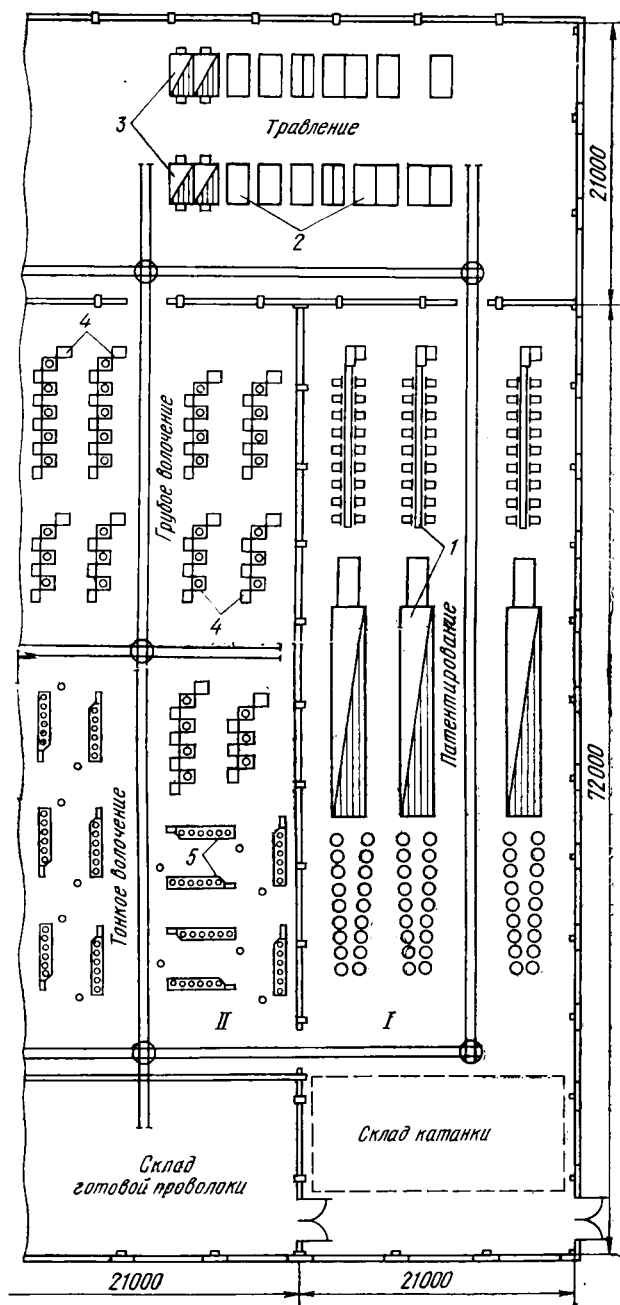
б

рализацию в баке 7 с раствором флюса. Далее она подвергается цинкованию в ванне 8 с расплавом цинка, после чего сматывается на намоточные барабаны 9. Ванну 2 первого контакта и размоточные фигурки для электроизоляции размещают на деревянном настиле 11. Нитки проволоки на пути до первого контакта изолируют друг от друга направляющими трубками 10. Для гашения возникающих электрических дуг и уменьшения коррозии ванна первого контакта заполняется 2,0—3,0 %-ным раствором тринатрийфосфата. Первый контакт набран из восемнадцати бронзовых роликов 1 (рис. 52, б) соответственно числу одновременно обрабатываемых проволок. Торцовые стороны роликов изолированы винипластом так, что соскользнувшая с контакта проволока попадает в изолированную от тока канавку 2. Кроме того, изоляция роликов винипластом облегчает заправку линий новой проволокой. Подвод тока к роликам осуществляется через центральный вал 3 от ртутного контакта 6. Постоянный контакт при вращении вала обеспечивается диском 4, вращающимся в заполненном ртутью корпусе 5, к которому ток подводится шиной 7. Второй контакт осуществляется шиной, подводящей ток непосредственно к тиглю свинцовой ванны.

Установка контактного нагрева работает на постоянном токе от двух мотор-генераторов мощностью по 137 кВт каждый, напряжение до 110 В. Практически применяется напряжение 40—50 В, при этом сила тока составляет 100—130 А на каждую нитку проволоки. При работе на постоянном токе напряжение хорошо стабилизировано, что обеспечивает постоянную температуру нагрева.

Нагрев проволоки диаметром 2—4 мм ведется при скорости движения 20—12 м/мин, дальнейшее повышение скорости ухудшает качество последующего покрытия цинком.

Технологический процесс изготовления оцинкованной проволоки можно упростить, если вместо свинцовой ванны для изотермического распада переохлажденного аустенита установить ванну с расплавленным цинком. Такое совмещение операций патентирования и цинкования вполне возможно, так как температуры обоих процессов совпадают (около 500 °С). Успешные опыты по совмещению операций патентирования цинкования были проведены на Одесском сталепроволочноканатном заводе. При охлаждении проволоки от температуры нагрева до температуры ванны успевает пройти насыщение проволоки цинком при повышенных температурах, что нежелательно. Этого можно избежать, если перед цинковой ванной для предварительного переох-



лаждения поставить ванну с флюсом и энергично перемешивать его.

В поточных линиях можно осуществить нагрев проволоки для закалки или патентирования токами высокой частоты. С целью повышения производительности индукционной установки проволоку диаметром 3 мм и менее можно пропускать через индуктор пучком в 6—8 ниток в зависимости от мощности генератора (100—150 кВт).

На рис. 53 показана примерная схема изготовления стальной проволоки с использованием описанных выше поточных агрегатов для ее термической обработки. Горячекатаная проволока в мотках поступает на подвесной дороге или электрокарах в пролет I на склад. Затем она проходит патентирование в установке I с протяжными печами и ваннами и поступает в травильное отделение для удаления окалины, омеднения и нейтрализации в ваннах 2. После нагрева в ямных сушилках 3 проволока доставляется в смежный пролет II для грубого волочения на станках 4 и для тонкого волочения на станках 5. Для возврата пластических свойств после волочения проволоку направляют на повторное патентирование по указанному маршруту.

Для нагрева под закалку, патентирование или отпуск тонкой проволоки целесообразно применять электродные ванны, в которых можно получить проволоку со светлой поверхностью. Агрегат для закалки с нагревом в солях состоит из нагревательной ванны, водяного закалочного бака, ванны электролитического подтравливания с 1 %-ным раствором серной кислоты, механической полировальной установки, намоточного и размоточного устройства.

Многочисленные исследования показали, что для получения высокопрочной проволоки возможно применить процесс НТМО. При этом есть возможность непосредственного волочения проволоки в переохлажденном аустенитном состоянии с одновременным обжатием до 40—43 %. В этом случае поточный агрегат будет состоять из размоточного устройства, печи с защитной атмосферой или ванны для аустенитизации, ванны с температурой 300—400 °С для переохлаждения аустенита и волочильного барабана. При волочении проволоки с 0,8—0,9 % С в переохлажденном аустенитном состоянии с обжатиями 35—40 % можно получить временное сопротивление выше 3000 МПа при относительном удлинении до 2 %.

Узкая лента изготавливается первоначально из горячекатаной ленты, затем проходит холодную прокатку до требуемой толщины и размеров. Далее лента подвергается термической и механической обработке (шлифованию, полированию, резке). Наименьшая ширина высокопрочной ленты до 1, а пружинной до 4 мм. Ниже приводится режим термической обработки пружинной ленты.

Пружины изготавливают из углеродистых сталей с содержанием 0,7—1,0 % С и легированных сталей 65Г, 50С, 60С2 с небольшими добавками хрома, вольфрама, ванадия, молибдена. При изготовлении пружинной ленты перед холодной прокаткой применяют отжиг на зернистый перлит и промежуточные рекристаллизационные отжиги в процессе холодной прокатки. Окончательная термическая обработка пружинной ленты заключается в ступенчатой закалке с нагревом в протяжных печах.

Схема поточной линии термической обработки пружинной ленты приведена на рис. 54. Мотки ленты поступают в отделение I, где проходят ступенчатую закалку в агрегате, состоящем из размоточных фигурок 1, трубчатой горизонтальной нагревательной печи 2, соляной ванны 3 для переохлаждения аустенита и печи 4 для отпуска. Движение ленты через агрегат осуществляется намоточными аппаратами 5. Недостатком ступенчатой закалки является повышенное количество остаточного аустенита в стали и необходимость наличия большого участка для охлаждения ленты на воздухе после ванны ступенчатой закалки. С целью уменьшения количества остаточного аустенита, повышения качества ленты и сокращения длины поточного агрегата охлаждение ленты водой проводят после ванны ступенчатой закалки перед отпускной печью.

После ступенчатой закалки лента проходит шлифовку кромок в отделении II на станках 6 с шестью шлифовальными кругами у каждого и полировку ленты в отделении III на станках 7. При полировании лента с фигурок 8 размоточного устройства пропускается через ванну 9 с полировальной пастой, затем через проволочные щетки 10, войлочные щетки 11, «бархатные» щетки 12 из хлопчатобумажной ткани и наматывается на барабаны 13. Для получения защитной оксидной пленки на участке IV в трубчатой печи 14 проводится колоризация. После этого проводят контроль качества ленты по размерам и испытание механических свойств с определением временного сопротив-

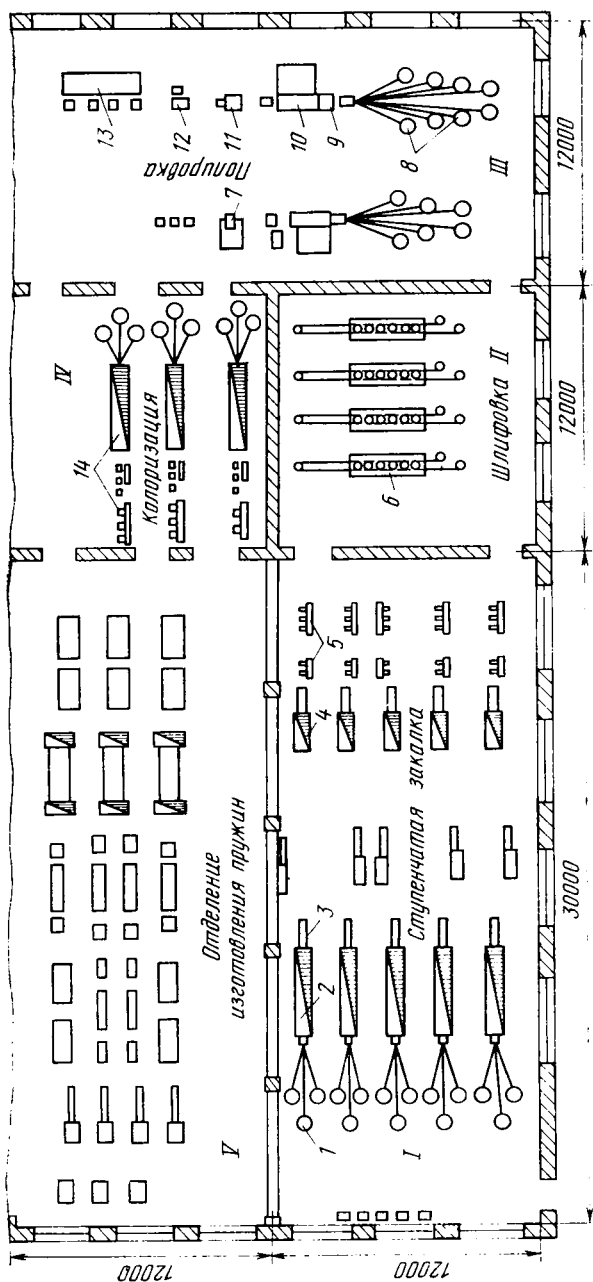


рис. 54. Схема поточной линии производства и термической обработки пружинной ленты

ления, числа гибов и угла пружинности. Годная лента отправляется в отделение V для изготовления пружин.

При изготовлении узкой пружинной ленты хорошие результаты дает метод плющения проволоки. После получения готового размера при плющении лента проходит закалку с отпуском в горизонтальных протяжных печах описанных выше конструкций. При изготовлении плющением лента не требует шлифовки кромок.

Высокие механические свойства ленты с временным сопротивлением 3000 МПа и выше можно получить при плющении проволоки в состоянии переохлажденного аустенита с процессом НТМО. При плющении проволоки диаметром 2 мм на ленту сечением $0,7 \times 2,63$ мм в состоянии переохлажденного аустенита при температурах 380—400 °С с последующим охлаждением ее на воздухе и отпуском при 360 °С в течение 5 мин временное сопротивление ленты из стали 60С2 составляет до 3100 МПа, а из стали 65 Г до 2850 МПа. Способ плющения проволоки следует широко использовать при организации поточных линий изготовления высокопрочной пружинной ленты. Поточная линия должна иметь размоточные фигуры, печь с защитной атмосферой или соляную ванну для нагрева проволоки до состояния аустенита, соляную ванну с температурой 360—400 °С для ее переохлаждения, плющильный стан, участок для охлаждения ленты, печь или ванну с температурой 360—400 °С для отпуска и намоточные аппараты. Организация такой поточной линии вполне возможна, но ее производительность будет невысокой из-за отсутствия специализированных станков, позволяющих вести одновременное плющение нескольких ниток проволоки.

На рис. 55 приводится схема поточной линии для изготовления ленты с применением НТМО в четыре нитки с использованием для плющения проволоки четырех параллельно расположенных трехклетевых станков с диаметром валков 165 мм и длиной бочки 76 мм. Проволока сматывается с размоточных фигурок 1, проходит через башню запаса 2, подвергается прямому электронагреву в установке 3 и переохлаждению аустенита в свинцовой ванне 4, которая служит одновременно вторым контактом установки электронагрева. Проволока в состоянии переохлажденного аустенита обжимается на четырех плющильных станах 5 и закаливается в баке 6. Далее проволока проходит обогреваемый обтир 7, отпускную соляную ванну 8, промывочное устройство 9, натяжной аппарат 10, масляный обтир 11, подвижные ролики 12 и сматывается в бунты на намо-

точном устройстве 13. Для обрезки и сварки концов нового бунта устанавливаются ножницы 14 и сварочный аппарат 15. Длина всей линии 57 м. При скорости плющения и движения ленты 40 м/мин в четыре нитки производительность линии составит 260 кг/ч. Данная скорость обеспе-

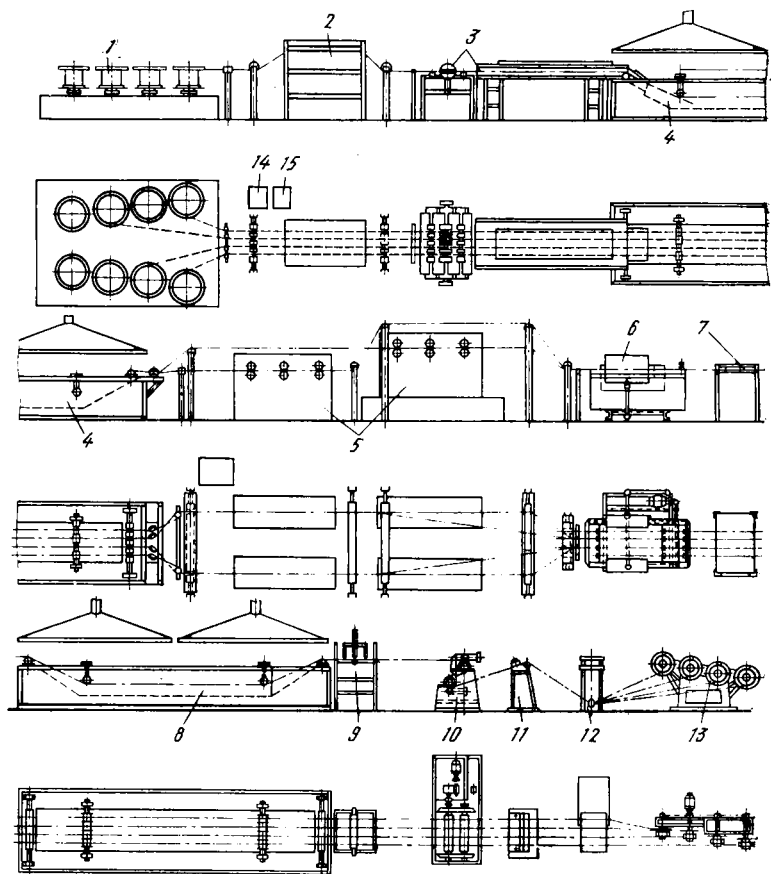


Рис. 55. Схема поточной линии изготовления ленты с применением НТМО (линия размещена на рисунке в три ряда)

чивается при электроконтактном нагреве с выдержкой 7 с, в ванне переохлаждения 10 с и в отпускной печи 5 с. Ближайшей задачей для внедрения поточных линий изготовления тонкой ленты с использованием НТМО является разработка конструкций плющильных станов на 12—20 ниток ленты.

6. Термические отделения и участки для обработки изделий, применяемых на железнодорожном транспорте

Наиболее ответственными изделиями железнодорожного транспорта, изготавливаемыми прокаткой и проходящими термическую обработку, являются рельсы, бандажи, колеса, оси, накладки.

Термическая обработка рельсов

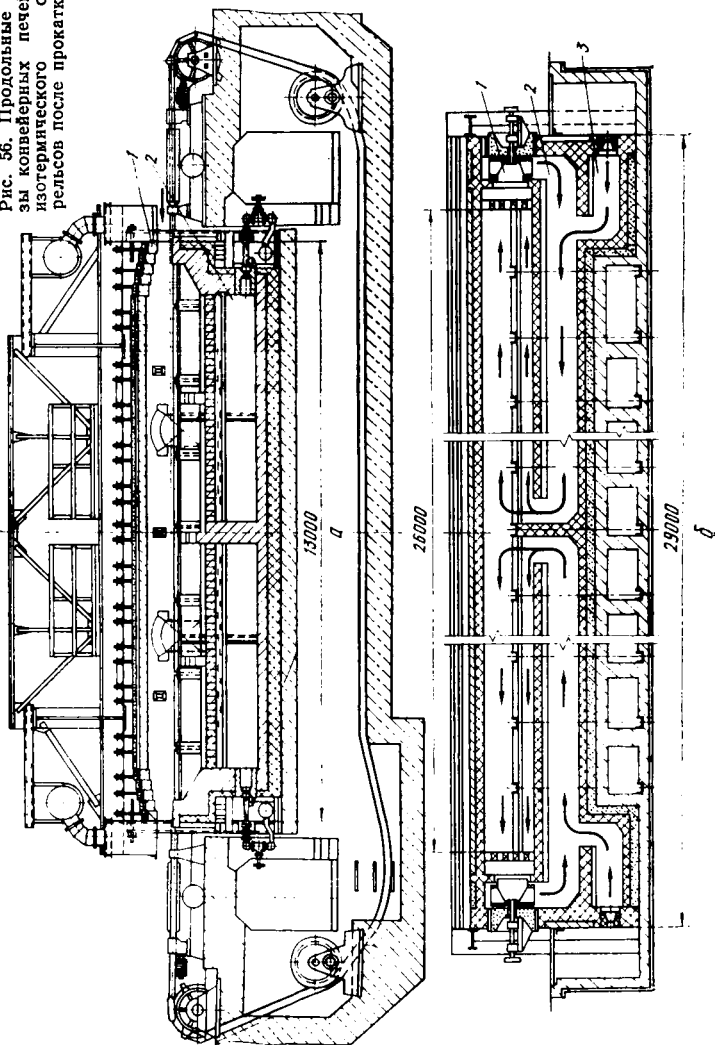
СССР занимает ведущее в мире положение по исследованию и массовому промышленному применению термически упрочненных рельсов. ГОСТ 24182—80 предусматривает три основных профиля рельсов широкой колеи Р75, Р65 и Р50 соответственно с массой одного метра длины 75, 65 и 50 кг при длине рельса 25 м.

Для изготовления рельсов применяется углеродистая мартеновская или конвертерная сталь с повышенным содержанием марганца (0,71—0,82 % С, 0,75—1,05 % Мп и 0,18—0,40 % Si). Данная сталь после термической обработки обеспечивает временное сопротивление выше 1100 МПа при удлинении больше 6 %. В результате термической обработки необходимо избежать образования флокенов (в газонасыщенной стали), уменьшить остаточные напряжения, улучшить структуру рельса по всему объему и увеличить поверхностную твердость и стойкость головок рельсов против износа, смятия и контактной усталости. Для получения равнопрочного рельса необходимо повышенное сопротивление смятию концов рельсов.

Для предотвращения образования флокенов и уменьшения остаточных напряжений сразу после прокатки проводят замедленное охлаждение рельсов в интервале температур 550—150 °С в течение не менее 6—8 ч или применяют изотермическую выдержку в интервале фазового превращения при температурах 550—575 °С в течение не менее 2 ч.

Замедленное охлаждение рельсов после прокатки с целью борьбы с флокенами проводится в хорошо изолированных коробах или колодцах (заводы «Азовсталь» и им. Дзержинского). Температура рельсов при посадке в колодцы должна быть не менее 500—530 °С, общее время выдержки и охлаждения до 150 °С составляет 8—10 ч. Применение коробов или колодцев требует больших площадей, нарушает поточность производства и не обеспечивает равномерного охлаждения рельсов в объеме садки. Поэтому лучшим решением является применение изотермического отжига сразу после прокатки (Новотагильский металлур-

Рис. 56. Продольные разре-
зы конвейерных печей для
изотермического отжига
рельсов после прокатки



гический комбинат). Для изотермической выдержки применяют конвейерные печи (рис. 56), в которых рельс транспортируется длиной поперек печи четырнадцатью параллельными цепными конвейерами с шагом цепи 450 мм. Ширина печи (26,5 м) рассчитана на пропуск рельса длиной 25 м. Длина печи 13 м, площадь пода 345 м². При нагреве рельсов на 550 °С температура печи составляет 600 °С. Время нагрева и выдержки 2 ч. Производительность печи до 40 т/ч. Печь имеет подвесной свод 1 и двадцать четыре нижних продольных подподовых топки 2 с решетчатыми сводиками (рис. 56, а). Средняя скорость движения рельсов 0,1 м/мин, мощность привода конвейера 45 кВт. Поскольку горелки расположены со стороны отверстий для загрузки и выгрузки рельсов, печь заглублена на 4 м. В этом случае целесообразно применить поперечные топки с боковым расположением горелок (рис. 56, б). Для повышения равномерности нагрева используется циркуляция продуктов горения центробежными вентиляторами 1 через каналы 2. Потери тепла возмещаются добавлением горячих газов из топок 3, расположенных ниже циркуляционных каналов.

На рис. 57 приведена схема отделения для предварительной термической обработки рельсов в потоке прокатного цеха НТМК с применением изотермического отжига; производительность 200—220 т/ч.

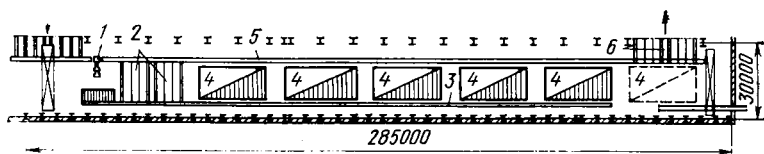


Рис. 57. Схема отделения для предварительной термической обработки рельсов в потоке прокатного цеха с применением изотермического отжига

Рельсы после прокатки и резки на пилах поступают по отводящему рольгангу к гибочной машине 1. После выгибки на подовшу их подстуживают до 600—500 °С на передаточных шлепперах-холодильниках 2, с которых подводящим рольгангом 3 с выступающими опорами передают в пять печей 4 для изотермической выдержки. После двухчасовой выдержки при 550—575 °С рельсы выдают из печей, затем по отводящему рольгангу 5 через передаточные шлепперы 6 направляют на склад и далее для окончательной термической обработки.

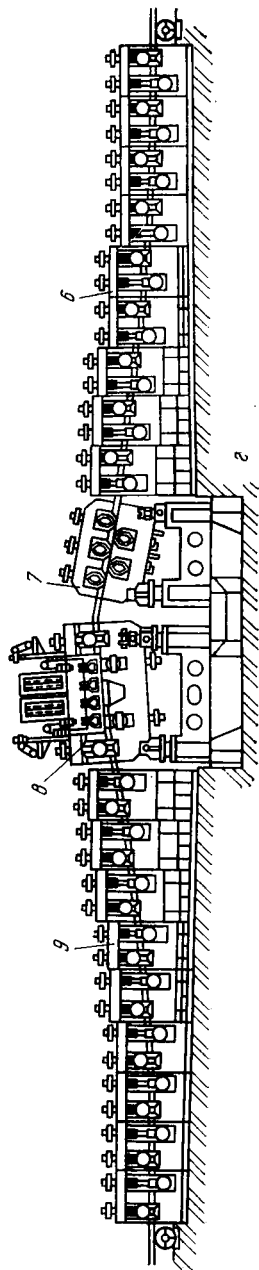
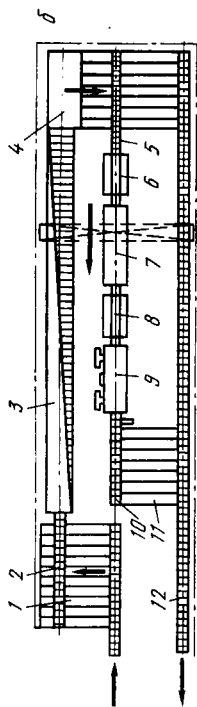
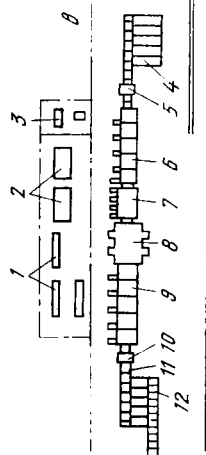
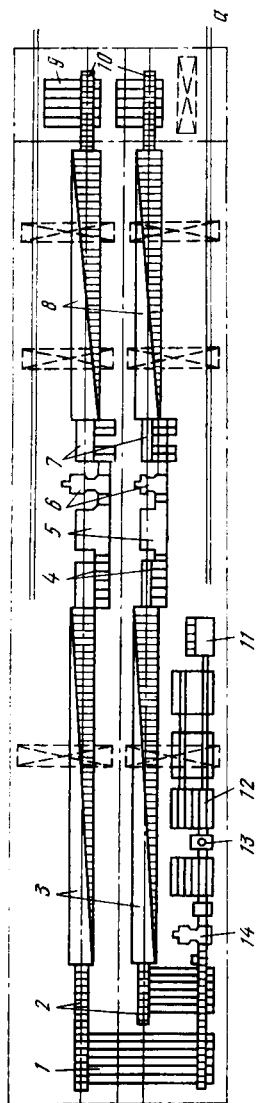
Окончательную термическую обработку рельсов прово-

дят по трем основным вариантам: объемная закалка в масле с отпуском (НТМК и КМК), сорбитизация со специального печного нагрева с самоотпуском (Днепродзержинский металлургический комбинат — ДМК) и поверхностная закалка головки рельса с нагревом т. в. ч. по всей его длине (завод «Азовсталь»).

На рис. 58 приведены схемы компоновок термических участков с применением указанных выше вариантов обработки.

При объемной закалке (рис. 58, а) рельсы магнитным краном подаются со склада на стеллажи 9, на которых комплектуются в пакеты по 11—12 шт. Через каждые 6—8 мин пакеты транспортерами 10 загружаются в роликовые закалочные печи 8. Из печей рельсы выдаются в бак поштучно через тамбур 7, переворачиваются на подовшу и поступают в правильную машину 6 и далее в барабанную закалочную машину 5. Закаленные рельсы на стеллажах 4 комплектуются в пакеты по 12—16 шт. и через тамбур загружаются в роликовые отпускные печи 3. После отпуска рельсы по рольгангам 2 направляются на холодильники 1, на которых охлаждаются до 60 °С и по одному доставляются для правки в машину 14 и вертикальный пресс 13. Выправленные рельсы проходят контроль на стеллажах 12. Годные рельсы на позиции 11 грузятся в вагоны или передаются на склад. Производительность одной линии составляет 110—120 т/ч. Учитывая выпуск прокатного стана, устанавливаются две параллельные линии. Роликовая печь для нагрева под закалку имеет полезную ширину рабочего пространства 3 м и длину 185 м. Одновременно по ширине печи движется 11—12 рельсов. Время нагрева и выдержки 1 ч, производительность 110—120 т/ч. Скорость движения рельсов при загрузке и выгрузке 1 м/с. Транспортируются рельсы 560 роликами диаметром 300 мм с шагом 1160 мм, каждый ролик имеет индивидуальный привод от двигателя мощностью 2,3 кВт. Печь отапливается инжекционными горелками (52 шт.), смесью коксового и доменного газов под давлением 15 МПа. Рельсы в печи находятся в постоянном возвратно-поступательном движении со скоростью 0,2 м/с. Печь имеет семь регулируемых температурных зон. Рельсы нагревают до 820—840 °С.

Закалочная машина (рис. 59) представляет собой пустотелый вращающийся барабан длиной 28 м, на котором смонтированы шесть двенадцатилучевых звездочек. На конце каждого луча подвешена каретка, имеющая два



ряда роликов, между которыми подается рельс с подошвой вниз. Барабан устанавливается в баке, заполненном маслом. Уровень масла в баке поддерживается таким образом, что при повороте барабана на 30° загруженный горячий рельс погружается в масло, в котором охлаждается в течение 5—6 мин. Пройдя при вращении девять позиций, закаленный рельс выходит из масла и выдается из бака. В це-

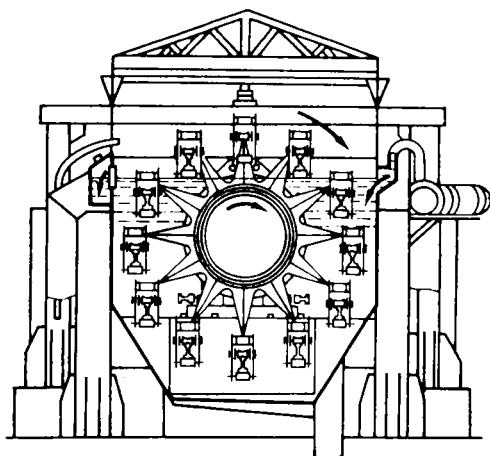


Рис. 59. Поперечный разрез закалочной машины

лях пожарной безопасности и снижения окисления над зеркалом ванны поддерживается инертная атмосфера.

Для отпуска рельсов используют роликовую печь аналогичной конструкции с шириной рабочего пространства 3,7 м и длиной 260 м. Печь имеет десять регулируемых зон. Температура нагрева 460°C . Продолжительность отпуска 2 ч. Твердость НВ 341—388.

На рис. 58, б приведена схема компоновки участка термической обработки рельсов на ДМК с сорбитизацией головок со специального печного нагрева с самоотпуском. Выходящие из прокатного стана рельсы охлаждаются на стеллажах 1 до $400\text{--}500^\circ\text{C}$ и с помощью рольганга 2 загружаются в роликовую печь 3 пакетами по 8—10 шт., в которой нагреваются до $820\text{--}850^\circ\text{C}$ в течение 40—60 мин.

◀ Рис. 58. Схема компоновок участков для термической обработки рельсов: а — объемной закалки в рельсобалочном цехе; б — сорбитизации в рельсобалочном цехе; в — закалки с нагревом т. в. ч.; г — продольный разрез установки

После нагрева рельсы выдаются через тамбур 4 на стеллаж и рольгангом 5 задаются в кантователь 6, в котором поворачиваются на головку, и далее поступают в закалочную машину 7. Охлаждение в машине совершается струями воды в течение 25—30 с, за счет тепла, оставшегося в головке, обеспечивается самоотпуск рельса с нагревом до 400—500 °С. При дальнейшем охлаждении рельс вследствие разницы температур в головке и подошве изгибается на головку. Для получения прямого рельса после охлаждения он подвергается изгибу выпуклостью на подошву в гибочной машине 9 на подвижных опорах с помощью двух пневматических цилиндров, производящих давление на концы рельсов. В изогнутом состоянии рельс выдерживают 6—10 с. Далее рельсы рольгангом 10 передаются для охлаждения на стеллаж 11, на котором рельс получает обратный изгиб, компенсирующий кривизну, сообщенную машиной. Путем подбора кривизны рельса в машине можно после полного охлаждения получить относительно прямой рельс. Для окончательной правки рельс рольгангом 12 направляется к правильной машине. Затем рельс подвергают контролю.

Печь для нагрева рельсов — роликовая, ширина 2,6 м, длина 96 м, производительность ~ 50 т/ч. Отапливается 290 горелками, расположенными над и под роликами, имеет 80 роликов с индивидуальными приводами. Загрузку и выгрузку рельсов проводят при скорости 0,65 м/с, а реверсирование при 0,12 м/с.

Закалочная машина состоит из 22 роликовых клетей, расположенных в одну линию на расстоянии 1 м одна от другой. Между клетями находятся охлаждающие секции в виде коробок с соплами диаметром 4 мм, направляющие воду на рельс. Под головкой движущегося рельса образуется сплошная водяная ванна глубиной 35—50 мм и шириной 90—100 мм, которая омывает головку рельса с трех сторон. Подошва, шейка и нижняя часть головки рельса охлаждаются на воздухе. Скорость движения рельса в закалочной машине составляет 0,65—0,75 м/с в зависимости от типа рельса.

На рис. 58, в приведена схема термической обработки рельсов на опытной установке завода «Азовсталь» с нагревом головки т. в. ч. по всей длине. Рельсы закаливают в упруго-изогнутом состоянии непрерывно-последовательным способом. В установке параллельно проходят четыре рельса (рис. 60). Общая длина установки 60 м, ширина (не считая двигателей) 4 м. В отделение рельсы доставля-

ют рольгангом 12 (рис. 58, в) на стеллаж, с которого рольгангом 11 рельсы задают в кантователь 10, в котором кантуются головой вверх и на участке 9 упруго изгибаются выпуклостью на головку по радиусу 100 м, проходя между восемнадцатью роликами, расположенными в два ряда в шахматном порядке. Упруго изогнутый рельс поступает на закалочную станцию 8, размещенную на подвижной ра-

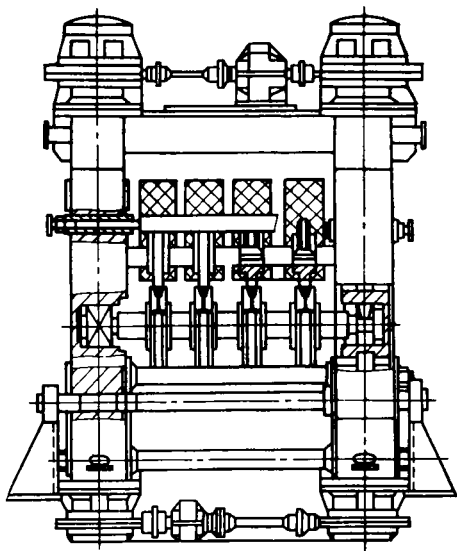


Рис. 60. Поперечный разрез установки для закалки рельсов с нагревом т. в. ч.

ме. В каждой линии устанавливается индуктор из шести секций длиной $350 \times 6 = 2100$ мм, мощностью 650 кВт, частотой 2500 Гц, напряжением 450 В. Удельная мощность равна 0,5—0,6 кВт/см².

В течение ~ 120 с поверхность головки рельса нагревается до 1000 °С, глубина нагрева до 750 °С составляет 20—25 мм. Далее, нагретый участок рельса в течение 30—40 с подстуживается до 880—900 °С на воздухе и охлаждается водовоздушной смесью из пяти многосопельных форсунок длиной 500 мм до 350—400 °С в течение 30—40 с. Расход воды составляет 12—15 л/мин. В процессе охлаждения кривизна рельса удерживается в установке 7, имеющей пять роликов, расположенных в шахматном порядке. Затем рельсы поступают на участок 6, проходят 18 роликов,

расположенных в шахматном порядке, которые сохраняют кривизну рельса, далее рельс проходит кантователь 5 на подовшу, рольгангом доставляется на стеллаж 4, где рельсы комплектуются и отгружаются. Нагрев и охлаждение рельсов в изогнутом состоянии позволяют получить после полного охлаждения рельс длиной 25 м относительно прямым (с короблением не более 30 мм). Скорость перемещения рельсов 1,6—1,8 м/мин, производительность 25 т/ч. Установка обслуживается двумя машинными генераторами 2 типа ВГВФ1500—2500, рядом с генераторами расположены щиты управления 1 и в отдельном помещении насосная установка 3.

В 1984 г. на заводе «Азовсталь» вошла в строй промышленная установка индукционной закалки рельсов в термоупрочненном состоянии со спрейерно-водовоздушным охлаждением. Установка имеет четыре параллельных линии. В каждой линии установлены индукторы из восьми секций длиной $500 \times 8 = 4000$ мм, мощностью 1050 кВт. При времени нагрева т. в. ч. для закалки 120 с увеличена скорость движения рельсов до 40 м/с, что повысило производительность в 1,5 раза, т. е. до 38 т/ч. Общая длина установки 90 м.

Закалка концов рельсов с применением индукционного нагрева проводится на длине 75—100 мм. Нагрев занимает 35—45 с, спрейерное охлаждение водой или эмульсией 30 с. Глубина закаленного слоя 6—10 мм. Твердость после закалки НВ 350—400. При машинном генераторе ПВ-65-500 можно закалить до 50 концов рельсов в час.

Свойства термоупрочненных рельсов в первую очередь определяются твердостью и структурой. Структура головки рельса вблизи поверхности катания должна представлять однородный мелкодисперсный сорбит с пластинчатой формой карбидов. Получаемая твердость поверхности у всех трех видов термической обработки рельсов примерно одинакова; для основной массы рельсов НВ 341—388. Эксплуатационные испытания показывают, что термическая обработка рельсов повышает их ресурс стойкости примерно в 1,5—1,7 раза выше, чем необработанных. Значительное влияние на снижение стойкости рельсов оказывает их металлургическое качество и остаточные растягивающие напряжения, получаемые в головке.

Сопоставляя три способа упрочняющей термической обработки железнодорожных рельсов, следует отметить, что способ завода им. Дзержинского наиболее дешевый (требует дополнительных затрат 6,3 руб/т рельсов), но дает

худшие результаты по свойствам и данным эксплуатации. Методы объемной закалки в масле (НТМК) и поверхностной закалки головок с индукционного нагрева т. в. ч. в упруго-напряженном состоянии (завод «Азовсталь») дают примерно одинаковые результаты по эксплуатационным данным, свойствам и дополнительной стоимости на проведение термической обработки (стоимость соответственно 12,3 и 12,6 руб./т рельсов). Преимуществом рельсов, закаленных т. в. ч., является создание на поверхности катания сжимающих напряжений и меньшей стрелы прогиба (до 30 мм на длине 25 м выпуклостью на подошву, а при объемной закалке — до 130—200 мм с выпуклостью на головке), поэтому рельсы, закаленные в упругонапряженном состоянии водо-воздушной смесью с нагрева т. в. ч., как правило, не требуют правки, а рельсы, объемнозакаленные в масле, подвергаются после термической обработки холодной правке на роликоправильных машинах. Однако применение на НТМК подстуживания подошвы рельсов по всей их длине перед закалкой позволило уменьшить напряжения, возникающие в рельсах, и стрелу прогиба (до 70—85 мм). Тем самым предоставилась возможность осуществить более легкий режим холодной правки.

Дальнейшее повышение свойств материала рельсов (временного сопротивления 1500—1800 МПа) возможно легированием его небольшим количеством хрома и кремния (в пределах 0,7—0,9 %), модифицированием титаном или ванадием.

Прочность рельсов можно повысить путем термомеханической обработки, производства двухслойных рельсов, получением плакированного слоя на головке рельсов наплавкой.

Контроль качества обработки рельсов сводится к проверке твердости в трех точках по длине рельса. Твердость поверхности головки рельса должна быть в пределах НВ 331—388, а на глубине 10—16 мм не менее НВ 300. Колебания твердости по длине рельса не должны превышать НВ30. Механические свойства определяют по ГОСТ 1497—73, ударную вязкость по ГОСТ 9454—78 на двух образцах из закаленного слоя головного рельса каждой партии. Хрупкую прочность определяют испытанием под копром при однократном ударе бабой массой 1 т, падающей с высоты 4,2 м (для рельсов Р65). Также контролируется микроструктура и остаточные напряжения.

Бандажи выпускают размерами 900—1900 мм, а размеры цельнокатаных колес составляют 950, 1050 мм по ободу катания (ГОСТ 15150—69). Изготавливаются колеса и бандажи прокаткой на специальных станах. Для изготовления колес грузовых вагонов применяют углеродистую сталь, содержащую 0,55—0,65 % С, 0,5—0,9 % Мп, 0,20—0,42 % Si, а для колес пассажирских вагонов состава 0,44—0,52 % С, 0,8—1,2 % Мп, 0,4—0,6 % Si и 0,08—0,15 % V, для бандажей грузовых поездов состава 0,57—0,65 % С, 0,6—0,9 % Мп, 0,20—0,42 % Si, а для бандажей пассажирских поездов состава: 0,50—0,60 % С; 0,6—0,9 % Мп и 0,20—0,42 % Si. Легированные стали для изготовления колес и бандажей широкого применения не нашли, лучшие результаты показала сталь 45ГСФ. Однако и углеродистая сталь после термической обработки позволяет получить прочность $\sigma_b = 950—1100$ МПа при удлинении $\delta = 12—14$ % и KCU^{20} более 0,2 МДж/м² (ГОСТ 10791—81 и 398—81). При большом содержании в стали водорода (более 4 см³/100 г металла) приходится прибегать к противоблоксной обработке с выдержкой после прокатки при температуре 650 °С в течение не менее 4 ч. Лучшим агрегатом для противоблоксной обработки колес является туннельная печь с подвесным конвейером, на который навешиваются колеса.

Железнодорожные колеса подвергают аустенитизации при 850—870 °С и ускоренному охлаждению обода колеса, обрызгиванием водой из сопел (спрейеров) кольцеобразного устройства при вращении колеса в горизонтальном положении или — прерывистому охлаждению колеса, вертикально вращающегося на роликах в ванне с водой, покрывающей только обод колеса. Структура обода колеса после прерывистого охлаждения высокодисперсный пластинчатый перлит (сорбит) с мелким зерном, что обеспечивает хорошее сопротивление износу и усталостным разрушениям.

При непрерывном охлаждении обрызгиванием на горизонтальных столах в ободке возникают значительные остаточные напряжения; иногда на поверхности катания обода образуются продукты отпуска мартенсита с зернистыми карбидами, снижающими износостойкость и контактную прочность; затрудняется регулирование скорости охлаждения внутренних слоев обода.

После нормализации колеса из углеродистой стали

с 0,5—0,7 % С имеют структуру грубого перлита с сеткой феррита, что снижает их эксплуатационную стойкость. Объемная закалка колес после охлаждения в масле вызывает значительное упрочнение диска в связи с повышенной скоростью охлаждения, тогда как диск должен обеспечивать пластичность, упругость и вязкость. Поэтому желательно его охлаждение на воздухе, что достигается при прерывистом охлаждении обода с вращением в вертикальном положении. После закалки колеса подвергают отпуску при 480—520 °С 2—4 ч с охлаждением на воздухе.

С целью повышения прочности диска и снижения растягивающих напряжений, при вертикальной закалке обода колеса в воде рекомендуется спрейерное водо-воздушное охлаждение боковых поверхностей диска. Дальнейшее улучшение свойств колес связывают с легированием, для грузовых вагонов с повышенной нагрузкой на ось предлагается сталь 65Ф, а колес скоростных поездов 45ГСФ. Введение ванадия повышает сопротивления хрупкому разрушению.

Термическая обработка бандажей заключается в закалке в воду с 840—860 °С на троосто-сорбитную структуру с последующим высоким отпуском при 530—630 °С.

Для закалки железнодорожных колес требуется индивидуальная выдача в охлаждающее устройство. Поэтому лучшим оборудованием для нагрева является карусельная печь. На заводах чаще применяют карусельные печи с вращающимся подом шириной 3 м, средним диаметром 20 м, полезной площадью ~190 м², производительностью до 20 т/ч; к. п. д. печи около 30 %. Печь отапливается 64 газовыми горелками, расположенными в боковых стенках. Охлаждение нагретого колеса прерывистое в машине с вертикальным вращением колеса. Отпуск при температурах ~500 °С проводят в туннельных печах с подвесным конвейером или в колодцах стопами.

Для получения одинаковой структуры обода бандажей для их термической обработки чаще применяют вертикальные шахтные печи; бандажи нагревают в стопах по 20—25 шт. После нагрева под закалку (840—860 °С) стопа бандажей подхватывается специальным приспособлением и с помощью крана переносится в бак с водой, подогретой до 40—50 °С, и выдерживается в нем 2—3 мин. Далее, эту же стопу бандажей подвергают отпуску при 530—630 °С в вертикальных печах. Часто для отпуска используют полумуфельные вертикальные печи.

В ряде случаев закалку бандажей проводят в баке с во-

дой сразу после прокатки с регулируемым временем охлаждения при вращении бандаж на подвеске. Однако в этом случае, в связи с различной температурой конца прокатки, получаются неоднородные свойства и рекомендовать этот способ обработки в массовом производстве не следует.

Для колес и бандажей исследовали нагрев обода т. в. ч. с последующим спрейерным охлаждением, но он широкого распространения пока не получил и применяется лишь для колес легконагруженных кранов. Контроль качества колес сводится к наружному осмотру, проверке размеров, изменению твердости, испытанию механических свойств (в том числе КСУ⁻⁶⁰ по ГОСТ 9454—78). Проверяется допустимая величина прогиба диска на копре грузом массой 1 т падающего с высоты 6 м.

На рис. 61 приведен план современного цеха для обработки железнодорожных колес. Слитки со склада посту-

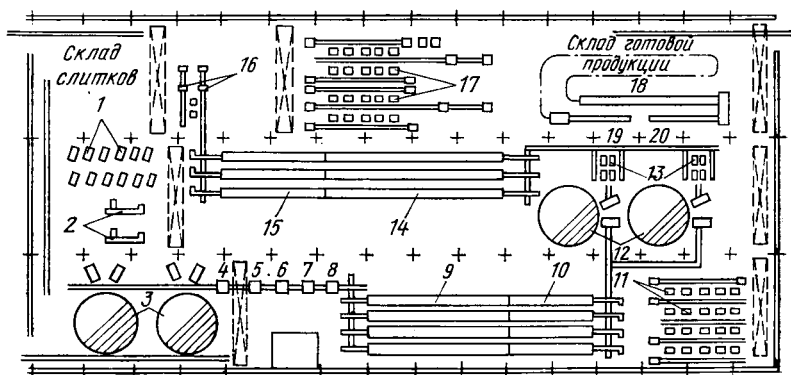


Рис. 61. План цеха для обработки железнодорожных колес

пают на разрезные станки 1 и ломаются на слитколомателях 2. После осмотра и ремонта заготовки загружают в карусельные печи 3, нагревают до 1250 °С и подают последовательно на пресс 4 для осадки с целью удаления окалины; на пресс 5 для осадки и разгонки заготовки, на пресс 6 для формирования конфигурации ступицы и диска. Затем колесо подается на колесопрокатный стан 7, на котором раскатывается по диаметру и там же выкатывается поверхность катания. На прессе 8 проводится выгибка диска и прошивка отверстия в ступице. Для предотвращения появления флокенов колеса выдерживают при 550—600 °С в течение 3 ч в печах 9 коридорного типа при движении

их на крюках подвешеного конвейера, затем они охлаждаются в коридоре 10, расположенном на продолжении печи. Далее, колеса проходят черновую механическую обработку на станках 11, нагреваются в карусельных печах 12 до 850°C , потом охлаждаются в вертикальном положении при вращении в закалочных установках 13. После закалки колеса подвергают отпуску при $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$ в течение 3 ч в коридорных печах 14 с подвесным конвейером, охлаждают в камерах 15, подвергают дробеструйной обработке в установках 16, после чего проводится окончательная чистовая механическая обработка на станах 17. После контроля и приемки колеса покрывают антикоррозионным составом в камерах 18—20, затем они поступают на склад готовой продукции.

На рис. 62 показан план цеха для обработки бандажей. Первоначально слиток разрезается на станках и слитколо-

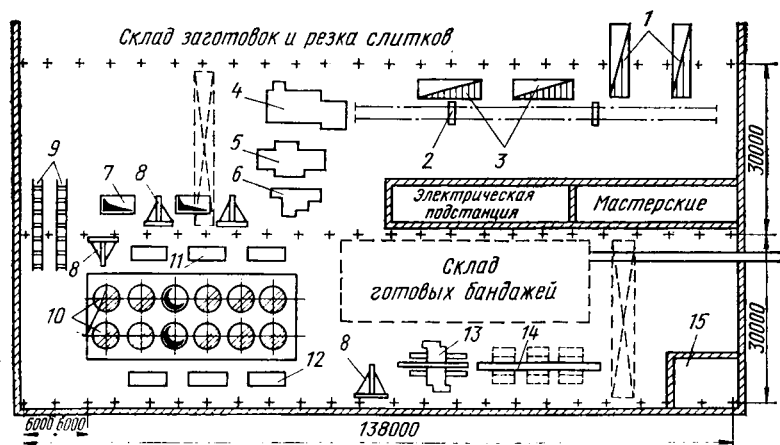


Рис. 62. План цеха для термической обработки бандажей

мателем разламывается на отдельные заготовки. Заготовки подогревают в методических печах 1 до $860\text{--}950^{\circ}\text{C}$ и передают напольной машиной 2 для окончательного нагрева до $1100\text{--}1200^{\circ}\text{C}$ в регенеративные печи 3. Нагретые заготовки напольной машиной доставляются к прессу 4 для осадки и прошивки отверстий. Далее заготовка поступает для раскатки на черновой прокатный стан 5 и для окончательной калибровки на чистовой стан 6. После прокатки возможно проведение непосредственной закалки в водяных баках 7 с помощью консольных кранов 8. Бандажи, проходящие полную термическую обработку, охлаждаются на

воздухе и передаются рольгангом 9 в термический пролет. Нагрев бандажей для закалки и отпуска проводят в вертикальных шахтных печах 10 стопами по 20—25 шт. Набор в стопы проводят в ямах 11, а охлаждение после отпуска и разборку стоп в ямах 12, обслуживаемых консольными кранами 8. После разборки бандажи по одному подают консольным краном для правки к прессу 13. мощностью 400 т и затем на рольганг 14 для осмотра и измерения твердости. В помещении 15 установлен копер с лебедкой для испытания бандажей на удар.

Иногда вместо методических и регенеративных печей для нагрева заготовок под пластическую деформацию применяют карусельные печи.

Термическая обработка осей вагонов

Оси из стали ОсВ (для вагонов) состава 0,40—0,48 % С, 0,55—0,85 % Мп, 0,15—0,35 % Si и ОсЛ (для локомотивов) состава 0,42—0,50 % С, 0,6—0,9 % Мп, 0,15—0,35 % Si изготовляют из заготовок или слитков ковкой в штампах или поперечно-винтовой прокаткой. Большинство осей подвергают нормализации, а оси ответственных локомотивов — закалке с высоким отпуском.

Механические свойства после термической обработки: оси вагонов $\sigma_b = 580—630$ МПа, $\delta = 21—19$ %, $KCU^{20} = 0,5—0,35$ МДж/м² (ГОСТ 3281—81). Правку проводят в горячем состоянии после нагрева под нормализацию или со специального нагрева до температуры не выше 700 °С конец правки должен заканчиваться при температурах не ниже 600 °С. После механической обработки оси подвергают поверхностному упрочнению накаткой роликами (шеек, подступочной и средней части).

В слитках, предназначенных для осей, не допускаются флокены, центральная пористость, общая и усадочная ликвация (не более 3 балла), ликвационный квадрат (не более 4 балла), подкорковые пузыри (не более 2 балла) по ГОСТ 10243—75. Размеры волосовин ограничиваются ГОСТ 3281—81. Контроль на трещины, пустоты, раковины осуществляют ультразвуком.

Нагрев осей для нормализации проводят в толкательных печах или печах с наклонным подом, а для нагрева под закалку в вертикальных шахтных печах.

Термическая обработка накладок

Рельсовые накладки используют для соединения рельсов, укладываемых в пути. Изготовляют накладки из профиль-

ной полосы углеродистой стали состава 0,5—0,6 % С, 0,6—1,0 % Мп, 0,15—0,35 % Si.

Термическая обработка заключается в закалке с самоотпуском. Закалку проводят сразу после горячей пробивки дыр на прессе без специального подогрева с охлаждением в конвейерном баке с маслом. Температура нагрева для прессования 880—900 °С, а допускаемая температура, с которой проводится закалка не ниже 800 °С. Время пребывания накладки в масле ~2,5 мин. Получаемые свойства: $\sigma_b \geq 900$ МПа, $\delta = 10$ %, твердость НВ 235—380.

Нагрев проводят в толкательных методических печах с рабочим пространством шириною 4 м, длиною 8,3 м; заготовки укладывают в три ряда по ширине печи.

Глава V

ТЕРМИЧЕСКИЕ ЦЕХИ И ОТДЕЛЕНИЯ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДАХ

На заводах тяжелого машиностроения термической обработке подвергают крупные поковки и изделия, а также крупное фасонное литье, а на заводах массового производства среднего машиностроения детали автомобилей, тракторов, комбайнов, моторов, сельхозмашин и др.

1. Термическая обработка на заводах тяжелого машиностроения

Обработка крупных поковок

Современным направлением в технике является применение агрегатов большой единичной мощности, что требует изготовления крупных поковок. Заводы тяжелого машиностроения производят поковки для деталей турбо- и моторостроения, судостроения и общего машиностроения массой до 150—300 т, диаметром до 2—3 м и длиной до 20 м. К таким поковкам относятся роторные валы турбин и генераторов, турбинные диски, приводные и коленчатые валы, бандажи, цельнокованные барабаны, цилиндры, колонны и траверсы прессов, специальные трубы, большие шестерни, зубчатые колеса и др.

Марки сталей для поковок выбирают в зависимости от категории прочности и диаметра (толщины) поковки. Категории прочности нормируют по пределу текучести. По ГОСТ 8479—70 установлено 16 категорий прочности — от КП-175 до КП-785 МПа при ударной вязкости от 0,6 до

0,4 МДж/м². Из углеродистых и низколегированных сталей применяют стали 30, 40, 40Х, 50Г2, 35ХМ, 40ХН, 38ХГН и др., а для ответственных деталей с категории прочности КП-440 и выше используют преимущественно хромоникель-молибденовые и хромоникельмолибденовые с добавкой ванадия: 45ХНМ, 34ХН1М, 35ХН1М2ФА, 40ХН2МА, 38ХН3МА, 38ХН3МФА, 38Х2Н2МА, 36Х2Н2МФА, 18Х2Н4МА.

Хромоникельмолибденовые стали обладают большой прокаливаемостью и высокими механическими свойствами, увеличивающимися с повышением содержания никеля. На ПО Уралмашзавода в качестве заменителя стали 34ХН1МА широко применяют для деталей экскаватора, буровой машины и деталей общего машиностроения, сечением до 600 мм сталь 38ХГН (0,35—0,43 % С; 0,8—1,1 % Мп; 0,5—0,8 % Сг; 0,7—1,0% Ni).

В производстве крупных поковок большую роль играет технология отливки слитков иковки, так как с этих операций начинается формироваться качество поковки. Чем больше слиток, тем сильнее при кристаллизации развиваются ликвационные процессы и получается крупнее зерно. В осевой зоне слитка повышается концентрация серы, фосфора, углерода и легирующих элементов — особенно карбидообразующих. Дефекты слитка (зональная и дендритная ликвация, неметаллические включения, газонасыщенность) наследуются поковками, создавая неоднородность структуры и свойств по сечению. С увеличением развеса слитка и степени его легированности возрастает склонность поковок к возникновению флокенов, камневидного и шиферного изломов и других пороков. Поэтому к слиткам для крупных поковок предъявляются требования по чистоте стали в отношении содержания вредных примесей ($S+P \leq 0,05\%$) и неметаллических включений; созданию условий надлежащей кристаллизации, обеспечивающих меньшую неоднородность слитка и повышение качества внутренних зон; для этого принимают отношение высоты слитка к диаметру $H/D=1,6—2,0$. При высоте больше $2D$ внутренние зоны оказываются недостаточно плотными, получается резкое разграничение зон кристаллизации; обеспечению замедленного и осторожного охлаждения слитков — тем медленнее, чем больше масса слитка, степень его легированности, чем хуже состояние поверхности. Наилучшие результаты достигаются при передаче слитков для дальнейшей обработки (ковки или отжига) в горячем состоянии с температурой не ниже 500—600 °С.

Разработаны способы внепечной обработки стали, улучшающие строение слитков и значительно сокращающие содержание газов и неметаллических включений — это электрошлаковый, вакуумно-дуговой и плазменный переплавы, вакуумирование, обработка синтетическими шлаками, продувка инертными газами, введение РЗЭ и др.

Указанными мерами нельзя полностью предотвратить неоднородность кристаллизации больших слитков. Поэтому повышение степени однородности макроструктуры слитка путем применения надлежащих режимов ковки (степени укова и температуры ковки) следует предусматривать на последующих этапах технологии. Для крупных слитков степень укова, выражающаяся отношением площадей поперечного слитка и поковки на окончательных переходах должна быть не менее 2—4. Для ответственных поковок, с целью разрушения дендритной кристаллизации, повышения однородности макроструктуры и увеличения механических свойств на поперечных образцах применяют ковку с предварительной осадкой до сечения 2,5—3,0 раза большего сечения слитка и в 3—4 раза большего сечения поковки. Осадку слитка проводят без смещения сердцевин. Температуру конца ковки принимают вблизи критической точки A_{r3} .

Одним из распространенных пороков в крупных поковках легированных сталей являются флокены.

Термическая обработка поковок включает предварительную обработку в виде заготовки и окончательную — после механической обработки. Основной целью предварительной термической обработки крупных поковок является уменьшение флокеночувствительности и подготовка структуры для последующей термической обработки. Противоблокенная термическая обработка проводится сразу после ковки. Результаты термической обработки поковок зависят в первую очередь от состава выбранной стали и размеров поковки. Анализ режимов термической обработки должен исходить из природы стали и прежде всего из анализа кривых кинетики распада переохлажденного аустенита на основе изотермических и термокинетических диаграмм. Используя особенности кинетики распада переохлажденного аустенита, можно наметить два вида противоблокенной обработки.

Первый — для сталей, имеющих малоустойчивую перлитную ступень (рис. 63, а), когда изотермический отжиг проводят сразу после ковки с выдержкой при температурах 600—650 °С, в зависимости от марки стали. Второй — для

сталей, в которых перлитная ступень распада весьма устойчива или ее практически нет (например, в высоколегированных хромоникельмолибденовых сталях, рис. 63, б). При этом распад переохлажденного аустенита проводят по второй ступени с получением структуры бейнита (250—300 °С); далее поковки подвергают высокому отпуску при 640—660 °С. В производственных условиях в каждой группе вы-

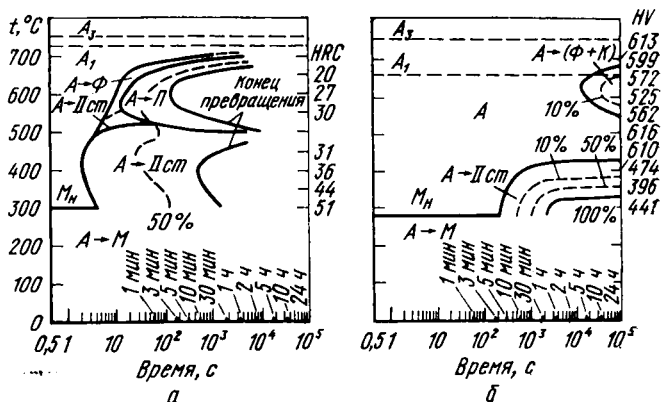


Рис. 63. Кривые распада переохлажденного аустенита для стали 40ХН (а) и 35Х2Н4МА (б)

деляются еще две подгруппы с меньшей и большей степенью легированности. Таким образом, получают четыре группы. Первая и вторая группы с распадом переохлажденного аустенита по перлитной ступени, а третья и четвертая с распадом переохлажденного аустенита по бейнитной ступени.

Крупные поковки после копежа часто подвергают перекристаллизационному отжигу при температурах $A_{c3} + (30—50) ^\circ\text{C}$, а затем проводится распад переохлажденного аустенита по той или другой ступени в зависимости от марки стали. На рис. 64 приведены режимы изотермического отжига для сталей I и II группы. Крупные поковки сталей II группы после перекристаллизационного отжига иногда переохлаждают еще до 300—350 °С. На рис. 65 даны режимы противоблокованной обработки для поволоков III и IV групп. Копеж поволоков проводят при 300—320 °С, а распад переохлажденного аустенита, после перекристаллизации, при 200—250 °С. Для высоколегированных сталей распад аустенита по второй ступени и последующий отпуск прово-

дят два, три раза. Для снижения напряжений и предохранения от образования флокенов после изотермического отжига или высокого отпуска охлаждение до 400°C ведут замедленно со скоростью $30\text{--}40^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ и далее до $100\text{--}150^{\circ}\text{C}$ со скоростью $15\text{--}20^{\circ}\text{C}/\text{ч}$.

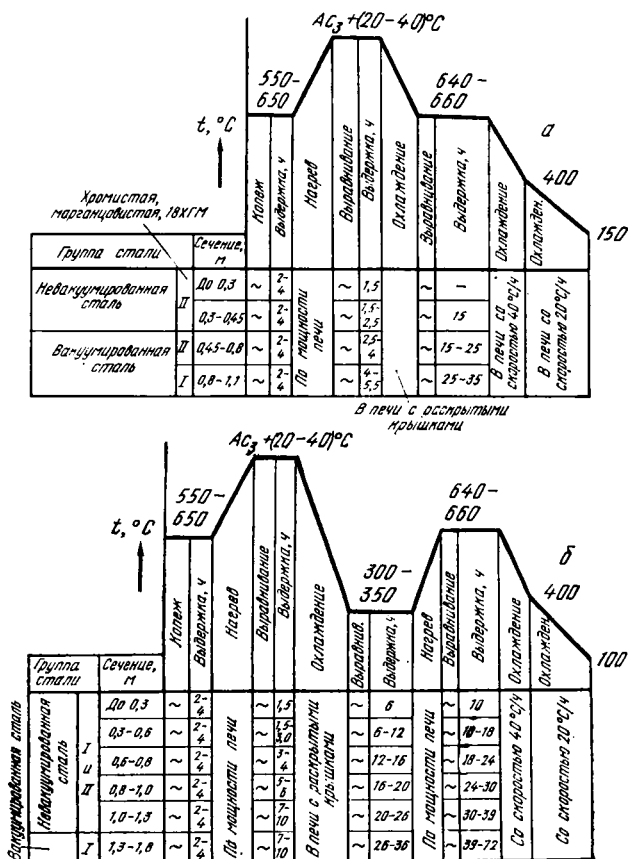


Рис. 64. Графики противоблоксной обработки деталей из сталей I (а) и II (б) групп

При отжиге в печах с выдвижным подом для сокращения времени охлаждения поковок подставки под ними делают полыми для продувки сжатым воздухом при охлаждении.

В качестве окончательной термической обработки круп-

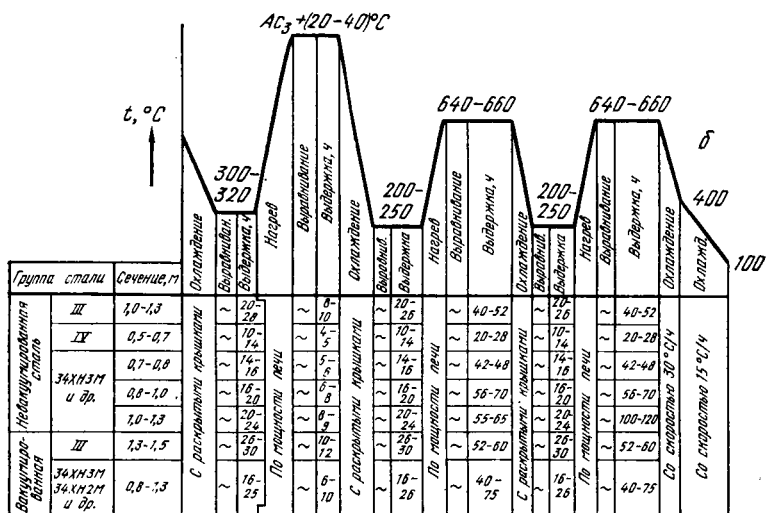
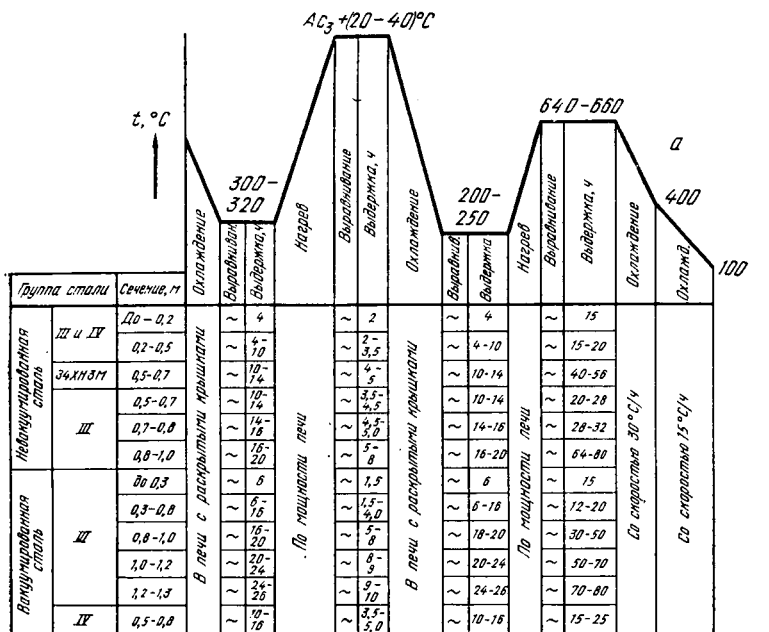


Рис. 65. Графики противфлокеной обработки деталей из сталей III (а) и IV (б) групп

ных поковок из углеродистых и низколегированных сталей применяется нормализация с высоким отпуском, а из легированных сталей — закалка в масле с высоким отпуском. Для сварных поковок (например, роторов) после термической обработки и автоматической сварки проводится высокий отпуск. Значения получаемых механических свойств поковок после термической обработки определяются их структурой, полученной в результате охлаждения, которая зависит от прокаливаемости стали, т.е. устойчивости переохлажденного аустенита в связи со степенью легированности; от скорости охлаждения, определяемой охлаждающей средой и размерами поковки; от температуры, до которой охлаждаются поковки, что определяется временем выдержки в закалочной среде.

Для уменьшения напряжения и устранения появления закалочных трещин охлаждение в масле проводят до момента достижения поверхностью поковки температуры 200—300 °С. Температура поверхности поковки при охлаждении в закалочной среде должна контролироваться поверхностной термопарой на минимальном и максимальном сечениях. Температура поверхности на минимальном сечении должна быть не менее 150—180 °С, а на максимальном — не более 300 °С. При непрерывном охлаждении температура центральных слоев крупных поковок значительно отстает от температуры поверхностных слоев. Поэтому для формирования структуры крупных поковок большое значение имеет время их выдержки в охлаждающей среде.

Ориентировочные данные продолжительности охлаждения центра поковок в различных средах после аустенитизации при 880 °С до температур 700—200 °С приведены в табл. 3.

По механическим свойствам поковки, поставляемые после окончательной термической обработки, делят на пять групп. Для всех групп (кроме первой) определяют твердость, а для четвертой и пятой групп проводят испытание на растяжение и ударную вязкость. Требуемые свойства в зависимости от категории прочности и диаметра заготовки указаны в ГОСТ 8479—70. Образцы для механических испытаний вырезают на глубине $\frac{1}{3}$ радиуса, а для весьма ответственных поковок — из поверхности, на глубине $\frac{1}{3}$ радиуса и из центра. Для этого на деталях предусматривают соответствующие припуски с одной или двух сторон.

Детали, получившие при термической обработке коробление, выходящее за пределы допусков, подвергают правке с последующим отпуском для снятия напряжений. От-

Т а б л и ц а 3. Продолжительность охлаждения центра поковок в разных средах.

Диаметр, мм	Продолжительность охлаждения, мин, от 880 до температур, °С					
	700	600	500	400	300	200
<i>Охлаждение в воде</i>						
200	4	6	8	10	12	16
400	14	20	27	34	44	55
600	30	40	45	52	60	75
<i>Охлаждение в масле</i>						
200	6	8	12	16	20	26
400	20	30	40	65	75	120
600	40	60	90	130	160	—
700	45	80	100	180	220	—
900	80	110	140	220	260	—
1000	90	130	170	240	290	—
1200	100	150	200	250	310	360
<i>Охлаждение на воздухе</i>						
200	20	40	65	100	160	—
300	30	60	90	150	200	300
500	60	90	210	260	420	—
600	120	210	270	360	480	720
800	130	240	300	360	540	—
900	140	250	360	480	—	—
1000	170	240	360	600	960	—

пуск для снятия напряжений после механической обработки проходят также коленчатые валы, диски турбин большого диаметра, длинные валы. Температура нагрева при отпуске для снятия напряжений выбирается на 20—30°С ниже температуры отпуска после закалки. Выдержка при отпуске 6—10 ч. Ответственные изделия из высоколегированных сталей подвергают двойной закалке. Первую закалку проводят при температурах нагрева выше $A_{c3} + (80—100)^\circ\text{C}$, а вторую при температуре $A_{c3} + (30—50)^\circ\text{C}$ с охлаждением в масле до 250—300°С с последующим высоким отпуском при 600—640°С.

Детали, предназначенные на посадку в печь для термической обработки подбирают с учетом марки стали и сечения детали. В одной садке не должно быть деталей с разницей по диаметру более 300 мм. Режим назначается по большему сечению. Температура отпуска выбирается в зависи-

Т а б л и ц а 4. Наиболее употребительные температуры отпуска для некоторых марок стали (в скобках — твердость НВ)

Марка стали	Температура отпуска, °С, при заданном пределе текучести, МПа $\sqrt{r}$						
	300—350 (170—217)	350—400 (179—228)	400—450 (187—241)	500—550 (207—255)	600—650 (228—269)	750—800 (269—321)	800—850 (293—331)
40	630— 650	620— 650	600— 630	—	—	—	—
40X	—	630— 650	610— 640	580—620	—	—	—
35ХМА	—	—	610— 660	590—640	580—620	—	—
34ХН1МА	—	—	—	610—650	590—640	570—590	—
38ХНЗМА	—	—	—	630—650	600—640	570—600	550— 570
38ХНЗМФА	—	—	—	—	—	580—600	550— 580

мости от марки стали и технических требований к детали (табл. 4):

В последнее время вместо охлаждения в баках с маслом или водой применяют струйное (спрейерное) охлаждение водой или водо-воздушной смесью с регулируемым процессом теплообмена. В Японии, ФРГ, Франции имеются установки, позволяющие охлаждать изделия массой до 250 т диаметром до 3 м и длиной до 20 м. При этом обеспечиваются высокие механические свойства, небольшие остаточные напряжения и низкие значения критической температуры хрупкости. В установке проводится вращение охлаждаемых изделий с частотой 0,05 с⁻¹. Воду в спрейер подают под давлением 200, а воздух — 2 кПа. Размещается установка в кессоне диаметром 15—20 м.

Наилучшим сочетанием прочности и пластичности обладает структура однородного сорбита, получаемая при отпуске мартенсита. Продукты распада нижней части бейнитной ступени после высокого отпуска мало отличаются от структуры отпущенного мартенсита, тогда как распад аустенита в верхней части бейнитной ступени вызывает опасность ухудшения механических свойств и вида излома. Необходимо предотвращать образование продуктов превращения перлитной ступени, добиваясь получения при закалке мартенсита или продуктов распада нижней части бейнитной ступени. В соответствии с этим поковок из легированных сталей при закалке следует ускоренно

охлаждать до температур 250—300 °С. Для снижения напряжений в поковках из высоколегированных сталей целесообразно перед охлаждением для закалки проводить подстуживание до температур 700—750 °С на воздухе или в печи. Для повышения прокаливаемости и получения структуры мартенсита и нижнего бейнита поковки простой формы подвергают закалке через воду в масло, при этом время выдержки в воде должно быть задано с расчетом охлаждения центральных слоев металла до температуры 300—350 °С. Для определения продолжительности выдержки в воде можно рекомендовать использовать приведенные ранее данные. Крупные поковки из углеродистых и низколегированных сталей 40, 40Х, 50Г2, 40ХН, 35ХМА не могут быть получены без структуры перлита. Поэтому их чаще подвергают нормализации, а для получения более дисперсной структуры перлита создают ускоренное охлаждение поковок до 400—450 °С, применяя воздушное или водо-воздушное охлаждение.

Поковки больших сечений из высоколегированных сталей типа 18Х2Н4МА, 35ХН4МА и др. из-за большой устойчивости аустенита в перлитной ступени приобретают высокие механические свойства после нормализации, при этом резко снижаются напряжения и уменьшается опасность образования трещин.

Температуры нагрева под закалку для углеродистых сталей 40, 45, 50 принимают в пределах 810—840 °С, а для легированных сталей 40Х, 35ХМА, 34ХН1МА, 40ХН2МА, 38ХН3МА, 30Х2Н4МА и др. в пределах 850—870 °С. На рис. 66 приведен график окончательной термической обработки поковок из легированных сталей типа 38ХН3МА.

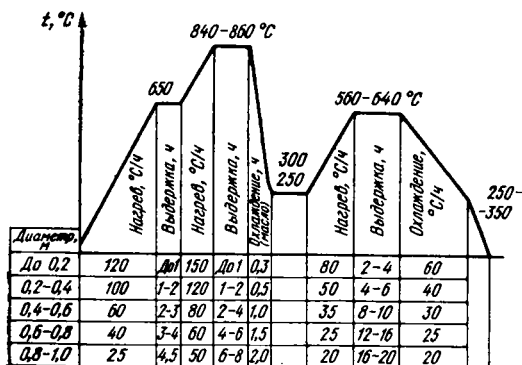


Рис. 66. График окончательной термической обработки поковок из легированных сталей типа 38ХН3МА

Бандажи (каппы) из намагниченной аустенитной стали 60X3Г8Н8В или 50X4Г18Ф после предварительной механической обработки проходят закалку с 1100—1150 °С в проточной воде, старение при 600—650 °С с медленным охлаждением для уменьшения напряжений и холодный наклеп поверхности.

Большое значение в повышении качества деталей тяжелого машиностроения (шестерен, зубчатых колес, штоков, шлицевых валов, валков холодной прокатки и др.), имеет применение поверхностной закалки т.в.ч. Упрочнение поверхности изделий с помощью закалки с нагревом т.в.ч. дает значительное повышение эксплуатационной стойкости деталей при одновременном упрощении термической обработки и резком сокращении времени операции. Большой опыт по упрочнению массивных деталей имеет Производственное объединение Уралмашзавод. Особо значительный эффект от применения т.в.ч. в производстве тяжелых деталей получается при замене объемной закалки или химико-термической обработки.

Перевод шлицевого вала с цементации на закалку шлиц т.в.ч. дал уменьшение времени операции в 20 раз и сокращение расхода электрической энергии в 8 раз. Замена процесса цементации закалкой с нагревом т.в.ч. шестерен большого модуля снизила время операции в 10 раз и расход электроэнергии в 5 раз. Использование вместо объемной закалки ряда шестерен — поверхностной закалки с нагревом т.в.ч. методом «зуб за зубом» позволило заменить сталь 34ХН1МА на углеродистую сталь 45. Применение закалки т.в.ч. зубьев значительно повысило стойкость звездочек. Весьма большой эффект дает применение нагрева т.в.ч. или т.п.ч. при окончательной термической обработке валков холодной прокатки.

При единичном производстве станки для нагрева т.в.ч. оснащают универсальными приспособлениями, допускающими легкую перестройку с одной детали на другую. С целью повышения использования генератора необходима организация работы на двух-трех постах. На одном посту проводится сам процесс закалки, в это время на других постах идет настройка и подготовка деталей к закалке. На заводе тяжелого машиностроения лучше сосредоточить обработку т.в.ч. в специальном отделении, расположенном вблизи основных узлов механо-сборочных цехов.

При небольшом объеме производства поверхностную закалку зубьев шестерен и колес с модулем выше 12 мм целесообразно вести с применением газопламенной закалки. Это

уменьшает капитальные затраты и стоимость термической обработки.

За рубежом (ФРГ, Англия) для поверхностного упрочнения крупномодульных шестерен применяют установки для ионного азотирования. После тщательной очистки поверхности шестерни стопкой загружают в контейнер. Рабочее пространство вакуумируют до остаточного давления 1 Па. Затем в камеру под давлением 500—1000 Па подается диссоциированный аммиак. Между деталями, служащими катодом и анодом, прилагают разность потенциалов 400 В, возбуждается тлеющий разряд, детали нагреваются до 530 °С и выдерживаются в течение 30 ч. Получаемая глубина азотированного слоя 0,5—0,6 мм, твердость поверхности HRC 62—65. ФРГ поставляет установки для ионного азотирования деталей диаметром до 1 и длиной до 3 м.

Для предварительной термической обработки крупных поковок в качестве основного оборудования применяют печи с выдвижным подом и ямные со съемным или сдвижным сводом. Ямные печи чаще используют как копильники у прессов. Для нагрева под закалку длинных изделий, при нагреве и закалке которых возможна поводка, используют шахтные и вертикальные печи. Если же изделия массивны и позволяют закаливать их горизонтально, то нагрев следует проводить в камерной печи с выдвижным подом, так как эти печи имеют более высокую производительность.

Участки для термической обработки крупных поковок размещаются при кузнечно-прессовых цехах, или при обдирочных цехах на продолжении их пролетов, или в боковом пристрое параллельном основному цеху. На рис. 67 приведен план термического отделения, предназначенного для промежуточной термической обработки крупных прессовых поковок и штамповок. Характер производства по прессовым поковкам единичный, а по штамповкам — серийный. Основную группу поковок составляют валы, диски, бандажи, шестерни и др. Максимальный размер поковок для валов — диаметр 3 м, длина 35 м, для бандажей — диаметр до 6,5 м масса деталей до 250 т.

Примерный объем термической обработки: изотермическое охлаждение послековки 20 000 т, изотермический отжиг 60 000 т, высокий отпуск 60 000 т, нормализация 40 000 т, закалка 20 000 т — всего 200 000 т/г.

Отделение расположено на продолжении прессового цеха и занимает три пролета. Крупные поковки выдаются краном в 30-м пролет I, а средние и мелкие поковки и штам-

поковки — в 24-м пролет III, камерные печи 2 сосредоточены в среднем 24-м пролете с выдачей выдвижных подов под краны рабочих пролетов. Для серийно выпускаемых поковок предусмотрен толкательный закалочно-отпускной агрегат 5 и травильное отделение 6. После термической обра-

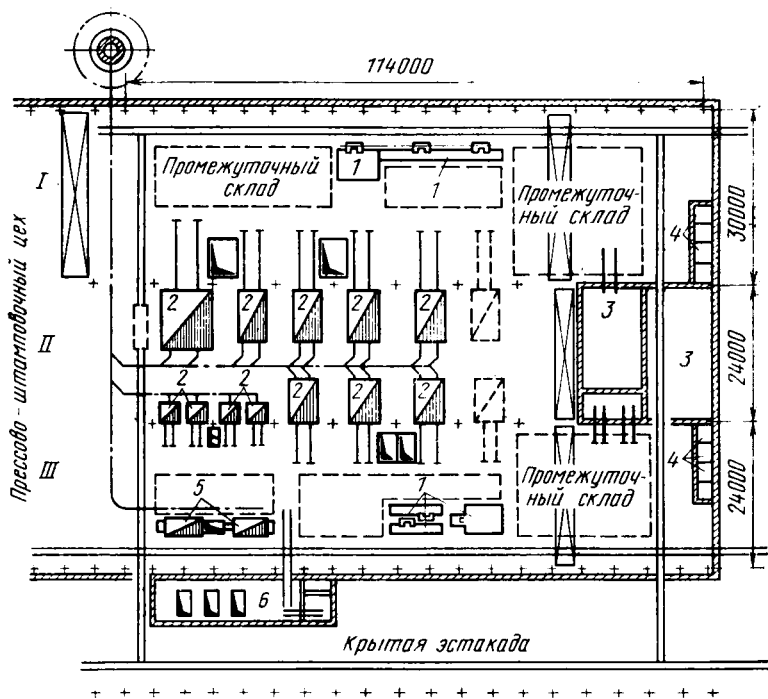


Рис. 67. План отделения для термической обработки крупных поковок при кузнечно-прессовом цехе

ботки поковки проходят контроль твердости на плитах 1, отрезку образцов, дробеочистку в камерах 3 и заварку пороков электросваркой в кабинах 4. В качестве склада готовой продукции используется крытая эстакада.

Планировка термического отделения в блоке с обдирочным цехом приведена на рис. 68. Отделение рассчитано на окончательную термическую обработку (нормализацию, закалку и отпуск) механически обработанных поковок производительностью до 100 000 т/год. Характер производства единичный и мелкосерийный, 60 % тоннажа составляют валы, 30 % диски и бандажы и 10 % — отливки. Максималь-

ные размеры валов — диаметр 3 м, длина 30 м; бандажей — диаметр 6 м, масса деталей до 200 т.

Отделение размещается в четырех пролетах на продолжении обдирочного цеха. Пролет I (шириной 30 м) предназначен для термической обработки самых крупных деталей, а пролет IV для самых мелких деталей сообразно тому, как происходит обработка в обдирочном цехе.

Для обработки валов запроектированы вертикальные печи 2 глубиной 35, 12, 9 и 6 м, снабженные водяными 3

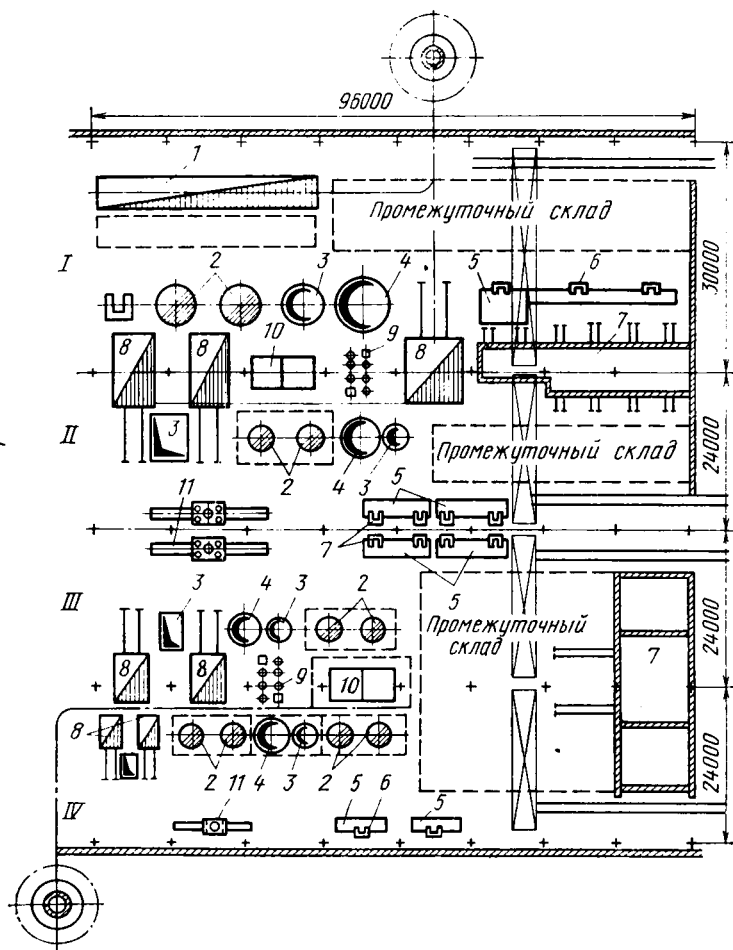


Рис. 68. План отделения для термической обработки крупных поковок при обдирочном цехе

и масляными 4 закалочными баками. Нагрев других деталей проводится в камерных печах 8 с выдвижными подами размерами 8×12 , 4×10 , 3×8 , 2×4 м. Печи располагаются группами. Для обработки крупных поковок предусматривается ямная печь 1 размерами 35×4 м со съёмным сводом,двигающимся к стенке.

После термической обработки детали проходят контроль твердости на плитах 5, отрезку образцов при помощи пил 6 и дробеструйную очистку в камерах 7. Тонкие валы проходят правку на масляных гидравлических прессах 11.

Охлаждение масла централизовано в маслоохладительных установках 9. Температурный контроль сосредоточен на пирометрических пунктах 10.

Обработка крупных отливок

Стальные отливки изготовляют из углеродистых и легированных сталей (ГОСТ 977—75) и из высоколегированных сталей со специальными свойствами (ГОСТ 2176—77). В зависимости от назначения и предъявляемых требований отливки разделяются на три группы (общего, ответственного и особо ответственного назначения). Для всех групп определяется химический состав, для 2-й группы проводится еще испытание на растяжение, а для 3-й, кроме растяжения, определяется еще и ударная вязкость.

Крупные литые детали — корпуса турбин и редукторов, цилиндры, колонны, обоймы, бандажи, детали арматуры изготовляют из сталей 25Л, 30Л, 30ГСЛ, 30ХНМЛ, 15Х1М1ФЛ, 15Х3МФЛ и др.

Термическая обработка крупных отливок сводится к нормализации и высокому отпуску. Для сталей типа 25Л, 30Л, 30ГСЛ нормализацию проводят при температурах 880—900 °С и отпуск при 600—630 °С. Для сталей 30ХНМЛ, 15Х1М1ФА, 15Х3МФА, работающих при температурах до 575 °С, нормализацию проводят при 950—980 °С, а отпуск при 700—750 °С. Ответственные отливки подвергают предварительной гомогенизации с нагревом до 1000—1050 °С. Для литых деталей сложной формы охлаждение при нормализации до комнатных температур может вызвать значительные напряжения и образование трещин. Поэтому целесообразно их охлаждение на воздухе проводить до 450—500 °С, а после завершения перекристаллизации охлаждать замедленно.

Для деталей гидротурбин, работающих в условиях гидроабразивного износа (лопасти, рабочие колеса), применяют коррозионно- и кавитационностойкие стали с содер-

жанием 12 % Сг и выше типа 20Х13Л, 10Х14НДЛ, 10Х12НДЛ, 00Х12НЗДЛ, 14Х18Н4Г4Л, 10Х18НЗГЗД2Л. Термическая обработка отливок заключается в нагреве их до 1050—1100 °С с охлаждением на воздухе (реже в воде) и отпуске при 700—800 °С в зависимости от марки стали. Крупные сварные и цельнолитые рабочие колеса из стали 00Х12НЗДЛ подвергают двойной нормализации — первой с нагревом при 950 °С и второй — при 800 °С с отпуском при 600—620 °С.

Детали, работающие в условиях ударного износа, (корпуса мельниц, щеки дробилок, черпаки драг, части ковшей экскаваторов и др.), изготавливают из аустенитных сталей 110Г13Л, 120Г13Х2БЛ. Эти стали в результате действия ударных нагрузок в поверхностных слоях отливок сильно наклепываются, что способствует повышению их эксплуатационной стойкости. Термическая обработка их заключается в закалке с 1050—1100 °С в воду. Стали весьма плохо обрабатываются режущим инструментом, поэтому все отверстия делают в литом состоянии. В случае необходимости механической обработки отливок применяют сталь 70ХЛ.

Основным оборудованием для нагрева при термической обработке служат печи с выдвижным подом, а из дополнительного оборудования применяются дробеструйные камеры для очистки от окалины, сварные аппараты для заварки раковин, допускаемых техническими условиями, и наждачные станки для зачистки пороков и площадок для испытания твердости.

2. Термическая обработка на машиностроительных заводах

Термическая обработка и применяемые сплавы на заводах массового производства

Термическая обработка деталей на заводах массового производства проводится в несколько приемов.

Термическая обработка заготовок (отжиг, нормализация, а для легированных сталей закалка с высоким отпуском) преследует цель снизить твердость для улучшения обрабатываемости и подготовки структуры материала заготовки для окончательной термической обработки.

Низкоуглеродистые стали подвергают нормализации, а легированные — перекристаллизационному отжигу. Для сталей с устойчивым аустенитом, имеющих перлитную ступень распада, целесообразно использовать изотермический отжиг.

Прокатанные или кованные заготовки из стали, которые после охлаждения на воздухе имеют мартенситную или бейнитную структуру, подвергают высокому отпуску на сорбит.

Ниже перечислены виды наиболее распространенной обработки, которой подвергают готовые детали:

Химико-термическая (цементация, нитроцементация и азотирование и др.); поверхностная закалка с нагревом т. в. ч., в электролитах, лучами лазера или электронной пушки, газокислородным пламенем и др.; объемная закалка с высоким отпуском (улучшение).

Химико-термической обработке на машиностроительных заводах массового производства подвергают до 60 % всех термически обрабатываемых деталей. Цементации и нитроцементации подвергают детали из низкоуглеродистых сталей с тем, чтобы после термической обработки получить высокую поверхностную твердость при вязкой сердцевине.

Стали по способу термической обработки можно объединить в три группы: первая группа — углеродистые и низколегированные (15, 20, 20X, 20XФ, 20XM, 18XГ, 20XH и др.); вторая — стали с титаном типа ХГТ (18XГТ, 25XГТ, 30XГТ, 20XНТ, 20XГНТР и др.); третья — высоколегированные хромоникелевые стали, применяемые для весьма ответственных деталей (12X2H4A, 20X2H4A, 18X2H4BA, 18X2H4MA и др.). В качестве заменителей высоколегированных хромоникелевых цементуемых сталей используют стали со сниженным содержанием никеля (за счет введения марганца и элементов, образующих устойчивые карбиды и нитриды — преимущественно титана и алюминия в присутствии азота), а также молибдена и бора как увеличивающих прокаливаемость. Это стали 15XГНМ, 15XГН2Т, 25XГНМТ, 25XГНМАЮ и др. Из малоникелевых сталей наибольшей прокаливаемостью при мелком зерне обладает сталь 25XГНМАЮ. Образование в данной стали трудно растворимых алюминиевых нитридов и карбонитридов существенно тормозит рост зерна аустенита и в ряде случаев позволяет повысить температуру цементации.

Следует отметить, что для получения мелких частиц карбидов и нитридов, а следовательно и мелкого зерна аустенита при повторном нагреве большое значение имеет быстрое охлаждение от температурковки (штамповки) в области аустенита. В случае уменьшения зерна аустенита с балла 2—3 до 12—14 выносливость цементованных деталей повышается в два раза, увеличивается контактная прочность и уменьшается деформация при обработке.

В качестве науглероживающей среды при цементации применяют природный газ, разбавленный эндогазом до концентрации 3—5 % CH_4 в газе. При значительной концентрации углерода в газовой фазе он не успевает диффундировать в глубь металла и отлагается на поверхности деталей в виде сажи и коксовой пленки, затрудняющих процесс цементации. Применение температур 930—950 °C (выше точки A_{c3}) объясняется необходимостью наличия аустенита, растворяющего при 950 °C до 1,3 % C. Более высокие температуры увеличивают скорость диффузии углерода, но в большинстве сталей при значительной выдержке дают рост зерна аустенита, а также уменьшают срок эксплуатации цементационных агрегатов. Желательно применять стали природно мелкозернистые. Время выдержки при требуемой глубине слоя 0,8—1,2 мм практически составляет 6—8 ч.

Содержание углерода в поверхностном слое, обеспечивающее максимальное сопротивление хрупкому разрушению, составляет примерно 0,8—0,9 % C. Не следует допускать в слое образования карбидной сетки, крупных карбидов и выделения феррита. Цементитную сетку уничтожают, применяя после цементации нормализацию с нагревом выше точки A_{cm} .

Для получения требуемой твердости поверхности не ниже HRC 58 детали после цементации подвергают закалке с низким отпуском, при этом получают структуру отпущенного мелкоигльчатого мартенсита. Оптимальная твердость сердцевины HRC 35—40 при структуре низкоуглеродистого мартенсита или нижнего бейнита.

Стали с титаном типа ХГТ (18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ, 20ХНТ, 20ХГНТР и др.) можно закалывать сразу после цементационного нагрева, применяя подстуживание в печи (при цементации с 950 до 860 °C, а при нитроцементации — с 860 до 820 °C). При подстуживании выделяются карбиды или карбонитриды. Это понижает содержание углерода и легирующих элементов в аустените. Мартенситная точка повышается и количество остаточного аустенита в закаленной стали понижается; после закалки получается нормальная твердость поверхности (HRC 60 и выше).

Для уменьшения коробления проводят ступенчатую закалку в горячем масле при температуре $\sim 180^\circ\text{C}$. После закалки детали подвергают низкому отпуску (180—200 °C, 1—2 ч).

Углеродистые и низколегированные стали (стали первой группы) при закалке с цементационного нагрева ($t =$

$\approx 950^{\circ}\text{C}$) дают большое количество остаточного аустенита и неудовлетворительную твердость. Поэтому после цементации необходимо применять охлаждение на воздухе или в коридоре с контролируемой атмосферой и последующую закалку со специального нагрева. Сталь 20ХН3А после цементации также можно охлаждать на воздухе или в контролируемой атмосфере.

Высоконикелевые стали (третья группа) после закалки с нормальных температур сохраняют большое количество остаточного аустенита и дают малую твердость. Поэтому для них после цементации и охлаждения на воздухе или в контролируемой атмосфере применяют высокий отпуск при $640\text{--}660^{\circ}\text{C}$, 4—6 ч, при котором идет коагуляция карбидов. Тогда после закалки с $780\text{--}800^{\circ}\text{C}$ в раствор аустенита переходит только часть карбидов, уменьшается содержание углерода в аустените и степень его легированности, количество остаточного аустенита резко уменьшается ($\text{HRC} \geq 58$). Содержание остаточного аустенита можно уменьшить обработкой холодом сразу после закалки деталей. Однако применение очень низких температур при обработке холодом может вызвать образование трещин. Поэтому детали надо охлаждать до температур вблизи точки условного конца мартенситного превращения (для большинства сталей не ниже -80°C). Следует учитывать, что обработка холодом несколько снижает предел выносливости, уменьшает износостойкость и вязкость по сравнению с высоким отпуском. Высокий отпуск применяют и в тех случаях, когда после цементации предусмотрена механическая обработка.

После окончательной закалки во всех случаях проводят низкий отпуск при $180\text{--}200^{\circ}\text{C}$. Для ряда малоникелевых сталей с марганцем, титаном, алюминием с азотом, бором возможна непосредственная закалка с цементационного нагрева после подстуживания. Для сталей с малоустойчивым аустенитом в перлитной ступени после цементации проводят подстуживание с распадом аустенита в перлитной ступени. Затем детали подогревают до нормальных температур ($800\text{--}820^{\circ}\text{C}$) и проводят закалку в масле. Значительное измельчение зерна цементованного слоя получается в случае применения поверхностной индукционной закалки.

Для уменьшения длительности процесса применяют двухступенчатую цементацию. В начале процесса поддерживают максимально возможный углеродный потенциал атмосферы (активный период), а затем его снижают до 0,7—0,9 % (диффузионный период). Значение уг-

углеродного потенциала в активный период определяется составом цементованной стали, но оно не должно быть выше 1,3—1,4 %, чтобы не допустить образования карбидов и сажки. Это достигается регулированием количества метана вводимого в печь в период насыщения. Применение двухступенчатой цементации позволяет увеличить глубину слоя до 1,6—1,8 мм при времени насыщения в 1,5—2,0 раза меньшем, чем при одинарном цикле с постоянным углеродным потенциалом 0,8. Одновременно двухступенчатая цементация дает лучшее распределение углерода по толщине слоя.

Иногда с целью уменьшения количества остаточного аустенита в цементованном слое в конце процесса в печь добавляют аммиак.

С целью дальнейшего уменьшения длительности процесса цементации в ряде случаев применяют высокотемпературную газовую цементацию с нагревом до 1000—1050 °С, что сокращает время насыщения в 3—4 раза. Однако применительно к цементации в проходных печах (при насыщении на толщину до 1,5 мм) повышение температуры цементации до 1000—1050 °С мало эффективно, так как при этом увеличивается время нагрева и время подстуживания перед закалкой и значительно сокращается срок оснастки цементационных печей; особенно радиационных нагревательных труб. В камерных печах ускорение процесса может быть достигнуто применением высокотемпературной цементации в вакуумных печах типа СНВ. Кроме вакуумной камерной печи установка имеет герметичный тамбур с камерой охлаждения (вверху) и закалочным баком (внизу). На рис. 69 приведена схема технологического процесса высокотемпературной вакуумной цементации (ВЦ).

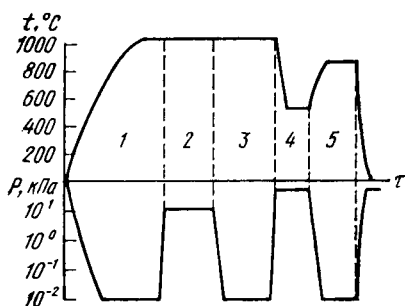


Рис. 69. Графики режимов вакуумной цементации (ВЦ)

10⁻¹ Па, нагревают до рабочей температуры 1000—1050 °С и дают выдержку для прогрева деталей (область 1). Процесс ВЦ ведется на природном газе СН₄ без разбавления его эндогазом. Он включает два периода:

1. Активный период насыщения (область 2), в течение

которого в печь подается газ до создания давления $\sim 10^2$ Па для поддержания высокого углеродного потенциала. В этот период концентрация углерода на поверхности детали достигает значений, близких к пределу его растворимости в аустените при данной температуре.

2. Диффузионный период (область 3), в котором прекращают подачу газа и печь вакуумируют до 10^{-1} Па. В процессе выдержки при температуре 1000—1050 °С происходит диффузия углерода в глубь, а концентрация его на поверхности достигает оптимальной (0,8—1,0 % С). После окончания цементации садка охлаждается до 500—600 °С (область 4), при давлении близком к атмосферному. Далее следует повторный нагрев и выдержка при температуре, необходимой для закалки (область 5) с вакуумированием печи до 10^{-1} Па. Закалку проводят путем погружения поддона с деталями в масляную ванну, расположенную внизу тамбура печи. После закалки следует отпуск при 180 °С, который целесообразно проводить в специальной низкотемпературной печи. Охлаждение деталей перед закалкой до температур 500—600 °С должно вызвать перекристаллизацию стали с значительным измельчением зерна, при этом возможно повышение механических свойств. Для оценки необходимого времени процесса приведем данные ВАЗ, когда при ВЦ эффективная толщина слоя в 1,0—1,2 мм (до 0,4 % С) получалась при периоде насыщения 30 мин, а при диффузионном периоде до получения концентрации углерода на поверхности 0,9 % С — 50 мин.

Процесс ВЦ перед обычным процессом цементации в камерных печах при температурах 950 °С имеет следующие преимущества: отсутствие газоприготовительных установок и приборов контроля углеродного потенциала, сокращение длительности процесса, отсутствие внутреннего окисления в слое, уменьшение удельного расхода электроэнергии и технологического газа, улучшение условий труда. Недостатком ВЦ является высокая стоимость оборудования и образование в низколегированных конструкционных сталях карбидов, выделяющихся по границам зерен или в виде пластин, что снижает предел выносливости стали. Количество карбидов можно уменьшить, применяя пульсирующую подачу газа в период насыщения или чередование микроциклов насыщения и диффузии. Последнее обстоятельство значительно осложняет процесс.

Значительно ускоряется процесс цементации при нагреве поверхности деталей т. в. ч. или другими концентрированными источниками энергии. Это позволяет нагреть детали до температур 1000—1050 °С,

при которых процесс насыщения идет ускоренно. На ПО «ЗИЛ», в случае нагрева т. в. ч. в многовитковом индукторе в процессе цементации при 1050 °С шестерен, изготовленных из стали 18ХГТ науглероженный слой глубиной 0,8—0,9 мм получился за 60 мин.

Для повышения свойств цементируемых деталей разрабатывается термоциклирующая обработка в процессе насыщения или нагрева при закалке; рекомендуется повышение в диффузионном слое азота до 0,2÷÷0,4 % при содержании углерода 0,8÷0,6 %. Оба мероприятия дают мелкое зерно, повышают вязкость слоя и его сопротивление контактной усталости. Однако пока процесс термоциклирования применяется только в камерных печах.

Н и т р о ц е м е н т а ц и ю деталей машин проводят при 860 °С. Насыщение азотом понижает критические точки, а совместное содержание углерода и азота повышает скорость диффузии углерода, что сокращает время процесса. Снизить длительность процесса можно уменьшением глубины слоя, если стали содержат 0,25—0,30 % С. Так, для получения слоя глубиной 0,5—0,6 мм время выдержки составляет 4—5 ч. Для насыщения азотом в науглероживающую среду (эндогаз+3—5 % CH_4) добавляют 3—4 % аммиака. При избыточной концентрации азота в слое с содержанием азота более 0,4 % образуется дефектная структура (темная составляющая), простирающаяся на глубину 0,1 мм. Это способствует резкому снижению предела усталости и контактной выносливости нитроцементованного слоя. Относительно низкая температура нитроцементации (860 °С) дает возможность повысить срок эксплуатации агрегатов. После нитроцементации детали подвергают закалке с низким отпуском.

Наиболее ответственные части деталей машин (галтели, шпоночные пазы, впадины зубьев шестерен и колес) после химико-термической обработки проходят упрочнение наклепом, осуществляемое дробеструйной обработкой, обкаткой роликами, вибрацией с использованием ультразвука. При этом на поверхности деталей образуются сжимающие напряжения, что повышает усталостную прочность стали.

Управление процессом цементации ведется автоматически путем регулирования углеродного потенциала. Отдельные места деталей, не подлежащие насыщению углеродом, покрывают медью или специальными пастами.

Контроль качества цементованных (нитроцементованных) сталей сводится к определению толщины слоя, твердости поверхности и сердцевины, микроструктуры, содержания углерода (азота) в слое. Толщина слоя обычно определяется на образцах-свидетелях. Твердость поверхности должна быть более HRC 58—60, сердцевины HRC 30—40. Микроструктуру и содержание

углерода (азота) в слое исследуют в лаборатории. В цементованном слое проверяют дисперсность мартенсита, количество остаточного аустенита, форму и распределение карбидов. Содержание углерода (азота) находят при послойном химическом или спектральном анализе; оптимальным считается содержание на поверхности 0,8—0,9 % С. Для определения толщины слоя, твердости и структуры начинают применять методы неразрушающего контроля. Объем контроля зависит от предъявляемых требований и используемого оборудования в части стабильности его работы.

Азотированию подвергают гильзы двигателей внутреннего сгорания, шейки коленчатых валов и другие детали при необходимости получения высокой твердости поверхностного слоя применяют сталь 38Х2МЮА. Однако эта сталь обладает сравнительно низкой прокаливаемостью и склонна к образованию феррита, что снижает вязкость слоя. Иногда ее заменяют сталью 38Х2МА.

Азотирование проводят в атмосфере аммиака при температурах 500—510 °С и степени диссоциации аммиака 30—40 %. При данной температуре получается высокая твердость (HV 1000—1200), но процесс насыщения идет медленно. Для получения слоя 0,5—0,6 мм требуется выдержка 60—70 ч. Высокая твердость поверхности получается благодаря образованию в слое однослойных нитридов, когерентных с фазой и легированности α -фазы, чему способствует введение в сталь алюминия.

Ускоряют процесс азотирования применением двухступенчатого цикла. Первая ступень при 500—510 °С при степени диссоциации аммиака 30—35 % с выдержкой 12—15 ч, вторая — при 540—560 °С при степени диссоциации аммиака 45—55 % в течение 25—35 ч. При этом получаемая глубина слоя 0,5—0,8 мм. На первой ступени получают дисперсные, когерентно связанные нитриды, при повышении температуры до 540—560 °С нитриды почти не укрупняются, а диффузия азота увеличивается, сокращая общее время процесса.

При меньшей твердости азотированного слоя (HV 650—900) применяют конструкционные стали, не содержащие алюминия (40Х, 40ХФ, 30ХГТ, 40ХНМА, 38ХНМФА, 18Х2Н4ВА и др.). В этом случае азотированный слой получается менее хрупким, сохраняющим высокую износостойкость.

При повышении температуры азотирования процесс диффузии ускоряется, но возникают многослойные более

крупные нитриды, нарушается их когерентность и твердость падает.

Перед азотированием детали в заготовках подвергают закалке с 900—920 °С и последующему высокому отпуску при 600—650 °С для получения структуры сорбита.

Ускорение процесса азотирования в 1,5—2 раза происходит в случае применения тлеющего разряда (ионное азотирование). Азотирование проводят в разреженной азотсодержащей атмосфере при подключении обрабатываемых деталей к отрицательному электроду (катоду). Анодом служит контейнер установки. Между деталью и анодом возбуждается тлеющий разряд и положительные ионы газа, бомбардируя поверхность катода, нагревают его. Первоначально поверхность очищается катодным распылением, которое проводится в течение 15—60 мин при напряжении 1100—1400 В и давлении 15—25 Па. Процесс азотирования проходит при 500—560 °С, напряжении 500—1000 В, разрядении 500—1000 Па в течение 10—24 ч. Структуру и фазовый состав регулируют изменением давления и составом насыщающей атмосферы.

Части деталей, не подлежащих азотированию, предохраняют гальваническим покрытием оловом или пленкой жидкого стекла.

Для ионного азотирования предназначены электропечи НГВ-6,6/6-И1, НШВ-9.18/6-И2, НШВ-20.24/6-И1 мощностью соответственно 67, 250 и 650 кВт.

Значительно повышается твердость, износостойкость, предел выносливости, сопротивление коррозии и задирам при азотировании с добавками углеродсодержащих газов (никатрирование). Процесс проводится при температуре 560—580 °С в атмосфере аммиака и 50 % эндогаза или эндо-экзогаза (20 % H_2 + 20 % CO + 60 % N_2). Продолжительность выдержки 2—5 ч с дальнейшим охлаждением в масле. На поверхности деталей образуется карбонитридная зона толщиной 10—30 мкм и азотистый твердый раствор с общей глубиной слоя 0,2—0,3 мм. Хорошо азотируются стали 40Х, 40ХГНМ, 40Х9С2, быстрорежущие, чугуны и даже металлокерамика. В автотракторостроении процесс применяется для упрочнения кулачковых и коленчатых валов, штоков цилиндров, шестерен и других деталей.

Высокую поверхностную твердость на деталях можно получить применяя поверхностную закалку. Наиболее распространен нагрев т.в.ч., при котором твердость поверхности составляет HRC 50—58, сердцевины HRC 35—

40 при глубине закаленного слоя 2—10 мм. Для того чтобы получить указанную твердость, необходимо применять среднеуглеродистые стали с содержанием 0,4—0,5 % С (стали 40; 45; 45Х; 40Г2; 40ХФ), а при повышенных требованиях к деталям легированные стали (40ХН; 40ХН2М и др.).

При кратковременном нагреве т. в. ч., в электролитах, лучом лазера и др. детали имеют мелкое зерно аустенита и соответственно мартенсита, более высокие свойства, благоприятные напряжения сжатия в поверхностных слоях (до 500—700 МПа). Кроме того, резко сокращается время нагрева.

Однако применение при поверхностной закалке среднеуглеродистых сталей ограничивает получаемую твердость поверхности и ударную вязкость сердцевины. Применение цементации или нитроцементации дает после закалки более высокую твердость поверхности (выше HRC 58—60) КСУ выше 0,8—1,0 МДж/м².

Кроме того, при химико-термической обработке в поверхностном слое можно получить дисперсные избыточные карбиды или карбонитриды, что повышает износостойкость и контактную прочность поверхности. Если требования по вязкости сердцевины деталей не превышают 0,7—0,8 МДж/м², то вместо цементации предпочитают применять нитроцементацию, увеличивая содержание углерода в стали до 0,25—0,30 %, что дает возможность уменьшить глубину слоя и сократить время операции.

Поэтому, если требуется высокая поверхностная твердость при вязкой сердцевине, то сначала следует выбрать технологический процесс упрочнения. Учитывая требования, предъявляемые к деталям, необходимо установить возможность применения поверхностной закалки или химико-термической обработки. После этого можно выбрать марку стали.

Поверхностное упрочнение наклепом с помощью роликов, струи дробы на виброустановках связано с получением на поверхности изделия сжимающих напряжений. Особенно это важно для изделий подвергающихся при эксплуатации знакопеременным нагрузкам (пружины, рессоры, торсионные валы и др.). Силы сжатия на поверхности будут компенсировать опасные растягивающие напряжения, возникающие при эксплуатации. Для поверхностного упрочнения высокопрочных материалов предлагается использовать ударную ультразвуковую обработку. В этом случае в поверхностных слоях протекают структур-

ные изменения за счет переноса легирующих элементов, одновременно уменьшается уровень остаточных растягивающих напряжений. В алюминиевых сплавах растягивающие напряжения уменьшаются на 80—100 %, в сталях на 60—70 %, в титановых сплавах на 40—50 % при этом существенно увеличивается предел текучести.

Для нагрева поверхности начинают применять лучи лазера и электронной пушки. Для термического упрочнения используют твердотельные лазеры на стекле с ионами неодима, эрбия и других элементов, газовые лазеры с CO_2 или смесью CO_2 , N_2 , He. Твердотельные лазеры дают световое пятно диаметром до 1—3 мм и полосы закаленного слоя шириною 2—4 мм, глубиной 0,3—0,6 мм. Энергия излучения газовых лазеров значительно больше (1—5 кВт), что позволяет получить диаметр луча до 45—90 мм.

Лазерная обработка пока является сложным и дорогим способом упрочнения. Наиболее целесообразно ее использовать при особосложной конфигурации обрабатываемых поверхностей, когда нагрев обычными методами затруднен, а также при малой поверхности обрабатываемого слоя. С помощью линз лазерный луч можно направлять на любую конфигурацию поверхности и на значительные расстояния (до 10 м). Недостатком лазерного нагрева является малый к. п. д., равный 5—8 %. Значительное количество энергии (до 80—96 %) теряется вследствие отражения лучей от поверхности обрабатываемой детали. Для уменьшения потерь энергии на детали наносят поглощающие покрытия (оксиды металлов, фосфаты и др.).

Отечественная промышленность выпускает установки с твердотельными и газовыми лазерами, основные характеристики некоторых из них приведены ниже:

	Квант-9	Квант-10	Квант-12
<i>Твердотельные лазеры</i>			
Активная среда	Стекло	Стекло	Гранат
Диаметр светового пятна, мм	До 0,8	0,4—1,4	0,3—1,0
Энергия излучения, Дж	8	10	3
Частота повторения импульсов, Гц	0,1—1,0	0,1—1,0	20
Длительность импульса, мс	0,5—0,7	4,0	1,5—4,0
Производительность в минуту	—	60 точек	150 мм
Потребляемая мощность, кВт	—	6,0	6,0

Продолжение

Габариты, м:			
станка	$1,2 \times 0,7 \times$ $\times 1,2$	$1,2 \times 1,0 \times$ $\times 0,9$	$1,0 \times 1,0 \times$ $\times 1,2$
блока питания . . .	—	$1,4 \times 0,6 \times$ $\times 0,6$	$2,0 \times 0,6 \times$ $\times 0,6$
Масса, кг	200	$150 \div 200$	$250 \div 350$

Продолжение

Квант-16
Твердотельные лазеры

Активная среда	Стекло	Стекло
Диаметр светового пятна, мм	2—5	0,4—1,5
Энергия излучения, Дж	30	8
Частота повторения импульсов, Гц	0,1—1,0	0,1—0,5
Длительность импульса, мс	4—7	2; 4
Производительность в минуту	30 точек	30 точек
Потребляемая мощность, кВт	—	2,5
Габариты, м:		
станка	$1,2 \times 1,0 \times 1,0$	$1,0 \times 0,8 \times 1,3$
блока питания . . .	$1,4 \times 0,6 \times 0,6$	$0,6 \times 0,6 \times 1,2$
Масса, кг	$150 \div 200$	350

Продолжение

«Кардамон» ЛТ1-2 «Иглин»

Газовые лазеры (активная среда He, N₂, CO₂)

Мощность лазерного излучения, кВт	0,8	5	2,5
Диаметр луча, мм . . .	45	45	96
Расход газов, м ³ /ч:			
гелия	0,48	0,7	0,36
азота	0,05	0,7	0,05
углекислого газа . . .	0,024	0,035	0,045
Расход воды, м ³ /ч . . .	0,7	5	7
Потребляемая мощность, кВт	18	100	60
Габариты, м:			
лазерной головки . .	$6,3 \times 0,45$	$4 \times 2 \times 3$	$8,1 \times 1,4 \times$ $\times 1,7$
блока питания . . .	$0,7 \times 0,9 \times$ $\times 1,8$	—	$1,3 \times 1,0 \times$ $\times 2,0$
Масса, кг	$550 \div 550$	5500	$2600 \div 1050$

Газовые лазеры (активная среда He, N₂, CO₂)

Мощность лазерного излучения, кВт	1,2	0,7
Диаметр луча, мм . .	80	55
Расход газов, м ³ /ч:		
гелия	0,38	0,28
азота	0,54	0,03
углекислого газа	0,18	0,014
Расход воды, м ³ /ч	4	—
Потребляемая мощность, кВт	60	18
Габариты, м:		
лазерной головки	2,4×1,1×1,9	6,5×0,6×1,4
блока питания	1,3×1,0×2,0	—
Масса, кг	1600÷1050	1700

В установку кроме лазера входят системы транспортировки и фокусировки луча, механизм перемещения детали по заданному режиму и блок питания.

Лучи лазера применяют для поверхностного упрочнения трущихся частей некоторых деталей автомобиля и трактора (галтелей коленчатых валов, кулачковых валиков, гильз цилиндров, деталей топливного насоса, седел, клапанов и др.). Толщина упрочненного слоя достигает 0,6—1,0 мм. При использовании лазеров на CO₂ мощностью в 5 кВт глубина закаленного слоя получается до 3 мм. Помимо упрочнения лазерные установки используются для напайки и для поверхностного легирования с помощью металлических порошков (с Cr, Mo, TiC и др.) предварительно наносимых на поверхность детали или при вдувании их в зону лазерного расплавления.

Делают попытки использовать для поверхностной закалки деталей нагрев низкотемпературной плазмой (с температурой до 10 000 К). Глубина получаемого слоя 1,0—1,5 мм. Однако закаленный слой имеет структуру крупного игольчатого мартенсита с большим количеством остаточного аустенита. При сплошной закалке поверхности получаются отпущенные полосы вследствие перекрытия закаленного слоя. По предварительным оценкам плазменная закалка перспективна для локального поверхностного упрочнения деталей.

При выборе метода поверхностного упрочнения деталей первоначально следует решить вопрос на какой процесс термической обработки надо ориентироваться, учитывая свойства, предъявляемые к поверхности и сердцевине. При

требовании высокой поверхностной твердости HRC (60—65), изностостойкости при вязкой сердцевине (0,8—1,0 МДж/м²) следует применять химико-термическую обработку. При меньших значениях поверхностной твердости и относительно невысокой вязкости сердцевины (0,6 МДж/м² и ниже) целесообразно использовать поверхностную закалку. В последнее время используют индукционную объемно-поверхностную закалку для термической обработки тяжелонагруженных деталей (например, валов). Применяя несквозную прокаливаемость, при мелком зерне получают наиболее благоприятное распределение внутренних напряжений, что повышает долговечность деталей машин, снижает их массу, дает экономию времени, материальных ресурсов и позволяет использовать менее легированные стали.

Среднеуглеродистые стали 40, 45, 50Г, 45Г2, 40Х, 40ХС, 30ХГС, 35ХМ, 45ХГФ, 40ХН, 30ХНЗА, 38ХГН, 34ХН1М, 34ХНЗМ, 36Х2Н2МФ и др. (ГОСТ 4543—71) подвергают улучшению (закалке+высокий отпуск).

С целью повышения механических свойств, измельчения зерна используют микролегирование — в сталь вводят небольшие количества сильных карбидо- и нитридообразующих элементов (ванадий, ниобий, титан, а также алюминий совместно с азотом), а для повышения прокаливаемости — небольшое количество бора (0,001—0,005 % В).

Для упрочнения и поверхностного легирования деталей машин используют фрикционно-импульсную обработку. Деталю сообщается быстрый локальный нагрев поверхности выше температур фазовых превращений с помощью вращающегося диска с последующим ускоренным охлаждением путем отвода тепла внутрь детали. Толщина упрочненного слоя при обработке валиков диаметром 40÷60 мм из сталей 40, 40Х составляет 80—160 мкм, микротвердость до 6000 МПа. Сопротивление изнашиванию возросло в 2 раза. Структура упрочненного слоя состоит из весьма дисперсного мартенсита, дисперсных карбидов и остаточного аустенита. Фрикционный диск изготовлялся из стали 5ХНМ, а для увеличения стойкости применялся его диаметр до 400—500 мм. Процесс упрочнения проводился на шлифовальных станках с их небольшой модернизацией.

Имеются работы, которые показывают возможность с помощью фрикционно-импульсной обработки легирования поверхности деталей хромом, никелем, медью, титаном, углеродом и другими элементами в виде жидкой или твердой

смазки вводимой в зону контакта. В качестве твердой смазки применялись порошки различных металлов и сплавов. Показано, что легирующие элементы диффундируют с высокой скоростью на глубину 200—300 мкм. На стали 35, науглероженной с помощью фрикционно-импульсной обработки без последующей термообработки, микротвердость получилась до 8000 МПа. В ряде случаев указанная обработка может заменить процесс цементации.

Термическая обработка наиболее распространенных деталей машин

На машиностроительных заводах термической обработке подвергают шестерни, коленчатые и передаточные валы, полуоси, кулачковые валики, гильзы, поршни, клапаны и другие детали.

Обработка зубчатых колес. Зубья шестерен должны иметь высокую поверхностную твердость и износостойкость при вязкой сердцевине. Это достигается после химико-термической обработки (цементации и нитроцементации) с последующей закалкой и поверхностной закалкой с использованием нагрева т.в.ч., в электролитах, лучом лазера, газокислородным пламенем и др.

Выбор метода обработки определяется требованиями, предъявляемыми к шестерням и колесам. При твердости поверхности зуба HRC 58—64 и высокой вязкости сердцевины 0,8—1,0 МДж/м² следует ориентироваться на применение химико-термической обработки (газовой цементации или нитроцементации). Шестерни из сталей с титаном (18ХГТ, 25ХГТ, 20ХНТ и др.) после цементации при 930 °С подвергают закалке после подстуживания до 860 °С, а при нитроцементации — при 860 °С и подстуживания до 820 °С с последующим низким отпуском при 180 °С.

С целью уменьшения деформации и коробления шестерен их закалку проводят в горячем масле (180 °С).

Шестерни из углеродистых низколегированных и легированных сталей (20Х, 20ХНР, 20ХГНР, 25ХГНМ, 20ХНЗА и др.) подвергают цементации при 930 °С или нитроцементации при 860 °С с охлаждением на воздухе или в коридоре с контролируемой атмосферой с последующей закалкой со специального нагрева с 800 °С и низким отпуском при 180 °С. Шестерни из высоколегированных сталей (12Х2Н4А, 20Х2Н4А, 18Х2Н4МА и др.) после цементации при 930 °С и охлаждения предварительно подвергают высокому отпуску при 620—650 °С, а затем закалке с 780—800 °С и низкому отпуску при 180 °С.

Шестерни из малоникелевых сталей с марганцем, титаном, алюминием, бором (15ХГН2Т, 20ХГНТР, 25ХГНМТ, 25ХГНМАЮ и др.) подвергают закалке сразу после цементации (нитроцементации) с подстуживанием, или нагреву при 550—650 °С после цементации для прохождения распада переохлажденного аустенита на перлит, а затем с этой температуры ведется нагрев до 800 °С для закалки. Для ответственных деталей из данной группы сталей можно рекомендовать сталь 25ХГНМАЮ. Типичные графики режимов при нагреве в толкательных печах непрерывного действия приведены на рис. 70.

Для высоколегированных сталей типа 20Х2Н4ВА процесс термической обработки можно упростить (рис. 70, в),

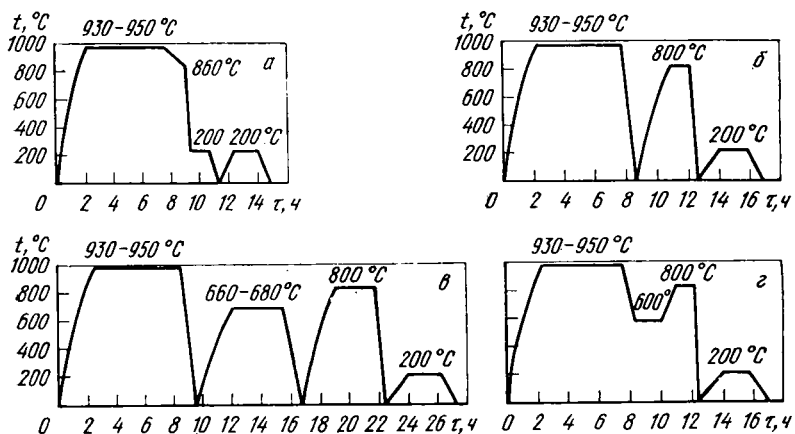


Рис. 70. Типовые графики химикотермической обработки шестерен при цементации на глубину 0,8–1,2 мм из сталей:

а — типа ХГТ; б — углеродистых и легированных, в — высоколегированных; г — имеющих невысокую устойчивость аустенита в перлитной области

исключив высокий отпуск, если при цементации получить содержание углерода в слое 0,70—0,65 %. При этом следует проверить эксплуатационную стойкость шестерен, так как в цементованном слое не будет карбидов, а содержание остаточного аустенита составляет до 30 %.

Если сердцевина зуба не удовлетворяет поставленным требованиям по свойствам и структуре, после цементации применяют двойную обработку — первую закалку или нормализацию с повышенных температур (880—900 °С) с целью перекристаллизации структуры сердцевины и вторую закалку с температур около 800 °С для перекристал-

лизации поверхностного слоя с последующим низким отпуском.

При необходимости промежуточной механической обработки (например, для деталей рейка — поршень) после цементации (930°C) проводится изотермическая выдержка при $650\text{—}680^{\circ}\text{C}$ с охлаждением в печи до 600°C , далее на воздухе или в контролируемой атмосфере. Окончательная термическая обработка — закалка с 800°C и низкий отпуск при $160\text{—}200^{\circ}\text{C}$ осуществляется после механической обработки.

Кроме того, шестерни подвергают низкотемпературной нитроцементации. При этом насыщение азотом и углеродом происходит при $570\text{—}620^{\circ}\text{C}$ в атмосфере газообразного аммиака и углеродсодержащего газа. Хорошие результаты по износостойкости и контактной прочности получают при обработке шестерен из сталей 45X и 38XC в атмосфере 30 % аммиака и 70 % природного газа. При выдержке 6—10 ч образуется диффузионный слой (0,3—0,6 мм), а на поверхности слой карбонитридов (10—60 мкм), обеспечивающих сопротивление заеданию и минимальное коробление.

Зубья шестерни из среднеуглеродистых сталей 45, 40X, 45XФ и других подвергают поверхностной закалке. Наиболее распространенным методом нагрева является нагрев т. в. ч. Применяется также нагрев лучами лазера. При модуле более 6 нагрев т. в. ч. проводится непрерывно-последовательным методом по впадине зуба, используя индуктор-спрейер. При этом получается равномерный закаленный слой боковых поверхностей зубьев шестерен и впадин. Полуавтоматический станок для закалки обеспечивает производительность 20—15 шестерен в час при мощности 68 кВт.

Для шестерен с модулем 6 и менее разместить индуктор во впадине зуба не представляется возможным. Поэтому для нагрева таких шестерен с помощью т. в. ч. применяют кольцевой индуктор, а для получения закаленного слоя по контуру зуба выбирают стали пониженной прокаливаемости (55ПП), низкой прокаливаемости (50НИПР) или регламентированной прокаливаемости (47РП). Прокаливаемость сталей типа 45, 55 снижают путем уменьшения содержания элементов, повышающих устойчивость перохлажденного аустенита (прежде всего Mn и Cr) и добавок теллура (Te) и селена (Se), понижающих прокаливаемость сталей. Тогда при сквозном прогреве зуба закаленный слой будет располагаться только по контуру зуба.

Предварительная термическая обработка шестерен, подвергающихся поверхностной закалке, сводится для углеродистых и низколегированных сталей к нормализации, а для легированных к улучшению (закалке с высоким отпуском), что определяется требованиями, предъявляемыми к сердцевине зуба.

При термической обработке шестерен важно иметь минимальные деформации и коробление. Значение деформации обуславливается техническими условиями. Так, для шестерен коробки передач автомобиля из стали 25ХГМ установлены отклонения по биению делительной окружности не более 0,08 мм и отклонение профиля зуба не более 0,04 мм. При значительной деформации приходится вводить дополнительную операцию шевингование зуба.

На деформацию шестерен влияет ряд факторов. Наиболее существенно — концентрация углерода в слое и режим закалки шестерен. Деформация резко возрастает при увеличении прокаливаемости и повышении содержания углерода. Повышение на 0,1 %С приводит к возрастанию объема на 0,1 %. Поэтому необходим тщательный контроль зуба шестерен и регламентирование значения прокаливаемости.

Эффективным методом снижения деформации шестерен является применение после цементации или нитроцементации закалки с предварительным подстуживанием взамен повторной закалки. Уменьшение деформации дает ступенчатая закалка в горячем масле ($t=180-200^{\circ}\text{C}$). В случае тонкостенных шестерен целесообразно закалку проводить на специальных фиксирующих оправках, которые устанавливают в отверстие шестерни. Для уменьшения деформации тонких цилиндрических и конических шестерен применяют специальные закалочные прессы типа «Глиссон» с энергичным омыванием зубьев шестерен потоками закалочной жидкости. На некоторых прессах с целью уменьшения коробления тонких шестерен предусматривается их изгиб в осевом направлении. Значительное уменьшение коробления и деформации можно получить используя разупрочнение стали в начальный момент фазового превращения аустенита в мартенсит. Для этого при закалке в масле зажимают шестерню в штампах прессы при температуре начального периода мартенситного превращения, что контролируется временем охлаждения, устанавливаемым для данного типа шестерен опытным путем. Меньшее коробление дают шестерни, изготовленные из природномелкозернистой стали. На деформацию может также повлиять

предварительная термическая обработка заготовок шестерен, напряжения, возникающие в результате обработки резанием, и способ изготовления. При изготовлении шестерен необходимо, чтобы волокна располагались по контуру зуба.

Обработка коленчатых валов

Из сталей 45 (селект), 45Х (селект), 50Г и 60ХФ и модифицированных чугунов изготавливают валы автомобилей и тракторов. Окончательная термическая обработка — поверхностная закалка с нагревом т. в. ч. на глубину 2—3 мм. Поверхностной закалке подвергают коренные и шатунные шейки валов с использованием машинных или тиристорных генераторов. Существуют два типа установок

а) станки-полуавтоматы конструкции ВНИИТВЧ с генераторами частотой 2500 Гц с разъемными кольцевыми индукторами-спрейерами при поочередной закалке шеек. Производительность станка 15—20 шт. валов/ч при мощности генератора 100 кВт.

б) установки с вращением вала во время нагрева т. в. ч. с частотой 1 с^{-1} , что значительно снижает деформацию. Используются два типа индукторов — отдельно для нагрева коренных и шатунных шеек валов. Охлаждение осуществляется с помощью закалочных спрейеров. Индукторы петлевого типа охватывают только верхнюю половину шейки вала. Производительность установок при потребляемой мощности 200 кВт — 25, а при 500 кВт — 60 шт. валов/ч, частота тока 8000—10 000 Гц. Предварительная термическая обработка заготовок — нормализация с 850—860 °С или закалка с высоким отпуском на сорбит.

Из высоколегированных сталей типа 18Х2Н4ВА и 18Х2Н4МА изготавливают коленчатые валы тяжелых транспортных машин. Цель предварительной термической обработки (закалка с 920 °С на воздухе с отпуском при 650—670 °С) получить структуру сорбита. Окончательная термическая обработка — закалка 880—900 °С на воздухе с одновременной правкой в закалочно-правильной машине при вращении вала в зажатом состоянии. Температура отпуска 200—220 °С (HRC 30—41). Указанные стали можно закалывать на воздухе, поскольку они практически не имеют перлитной ступени распада переохлажденного аустенита.

Шейки ответственных валов подвергают азотированию. Твердость поверхности шеек до HRC 80. Перед азотированием заготовки валов проходят закалку с 920 °С в подогретой воде и отпуск на сорбит при 550—600 °С;

в микроструктуре не должно быть свободного феррита. Азотирование шеек проводят в атмосфере аммиака на глубину 0,5—0,8 мм с двухступенчатым циклом. Первая ступень при 510 °С с выдержкой 10—15 ч при степени диссоциации аммиака 25—35 %, вторая ступень — при 550 °С с выдержкой 25—40 ч при степени диссоциации аммиака 40—45 %. Повышение температуры азотирования может вызвать понижение твердости поверхности, усилить коробление и снизить свойства сердцевины, вследствие сфероидизации перлита.

Из чугуна, модифицированного магнием, изготавливают коленчатые валы автомобилей. Термическая обработка их заключается в графитизации чугуна при 950 °С в течение 6—8 ч с охлаждением на воздухе и последующей нормализации с 950 °С с получением структуры перлита. При содержании в чугуне 3,1—3,6 % С; 1,9—2,1 % Si; 0,5—0,8 % Mn и 0,04 % Mg можно получить $\sigma_b = 600—650$ МПа при удлинении $\delta = 2—3$ %. После закалки с 860 °С и высокого отпуска при 620—650 °С (структура сорбита) при $\sigma_b = 600—650$ МПа можно получить $\delta = 5—7$ %. При легировании чугуна 1,5 % Ni; 0,5 % Cr и 0,3 % Mo прочность литых чугунных валов возрастает до 700—800 МПа при удлинении 3—5 %. Однако предел усталости чугунных валов не превышает $\sigma_{-1} = 0,2 \sigma_b$.

Для восстановления коленчатых валов и других деталей успешно применяют наплавку аустенитными метастабильными хромомарганцевыми сталями (например, 30X10Г10Т) с последующей обкаткой роликами.

Обработка кулачковых распределительных валиков. Из сталей 45, 40X и 60XФ изготавливают кулачковые валики для тракторов и автомобилей. Их подвергают поверхностной закалке (кулачки) на глубину 3—5 мм с нагревом т.в.ч. при вращении валиков. Часто индуктор делается на два валика. Предварительная термическая обработка в заготовке сводится к нормализации или улучшению (закалке с высоким отпуском) в зависимости от требования технических условий.

При тяжелых условиях работы применяют низкоуглеродистые стали 20, 20X18ГТ и 12ХН3А с цементацией кулачков при 930—940 °С на глубину 1,6—2,0 мм (что требует выдержки 12—15 ч) с последующим охлаждением на воздухе. Окончательная термическая обработка — закалка с 800 °С в щелочном растворе с вращением в зажатом состоянии в машине типа Гоган с последующим низким отпуском при 200 °С.

Обработка полуосей. При массовом производстве в большинстве случаев их изготавливают из углеродистых и низколегированных сталей 35, 40, 45, 47ГТ. Их упрочняют закалкой с индукционным нагревом т. в. ч. Стержневая часть полуоси чаще подвергается одновременному нагреву в многовитковом секционном индукторе (ЗИЛ). Из-за сложного профиля фланца индукционная закалка его галтели представляет ряд трудностей и требует применения индуктора специальной конструкции с электромагнитным вытеснением поля на галтель. Полуоси во время нагрева вращаются. Охлаждение при закалке осуществляется с помощью спрейеров или в специальном охлаждающем устройстве. После закалки проводят низкий отпуск в печи. При генераторе мощностью 300 кВт, частотой 2500 Гц время общего нагрева полуоси составляет около 80 с.

Полуоси из легированных сталей 38ХГС, 40ХГРТ, 35Х2ГСМА и др. с припуском на механическую обработку подвергают объемному улучшению (закалка+отпуск) с нагревом в печах на твердость HRC 35—30. Недостатком процесса является трудность последующей механической обработки с целью снятия припуска.

Обработка крестовин, карданного вала и дифференциала. Из стали типа 20ХНЗА изготавливают крестовины. Их подвергают цементации на глубину 1,0—1,3 мм, закалке с 800°C в масле и низкому отпуску при 180—200°C.

В последнее время стали применять улучшаемую сталь 50 (селект) при сквозном индукционном нагреве (частота тока 2500 Гц). Нагрев проводят до 830—840°C с последующим двухкратным дозированием охлаждения с промежуточной паузой. Прерывистое охлаждение с паузой обеспечивает более высокий отпуск галтелей шипов (на твердость HRC 54—58, при твердости шипов HRC 62—64 и сердцевин HRC 30—35).

Для обеспечения сквозной прокаливаемости применяют относительно малую скорость нагрева (2—10°C/с) при удельных мощностях 0,1—0,2 кВт/см² и времени нагрева 40—100 с.

Обработка гильз двигателей внутреннего сгорания. Гильзы должны обладать высокой твердостью, износостойкостью и коррозионной стойкостью внутренней поверхности при повышенных температурах, а также легко обрабатываться.

Гильзы тракторов и автомобилей изготавливают из серого чугуна с перлитной металлической основой и равномерным распределением мелкого графита. Хорошие результаты да-

ет применение чугуна с повышенным содержанием марганца (3,0—3,5 % С; 1,7—2,0 % Si и 1,2—1,6 % Mn). Предварительная термическая обработка чугунных гильз заключается в нормализации с 900 °С или заалке с 840—850 °С в масле и отпуске при 180 °С в течение 2 ч. При окончательной термической обработке внутренняя поверхность гильз закаливается на глубину 1,5—2,0 мм (нагрев т. в. ч. при частоте тока 8000 Гц) на твердость HRC 45—50. На ряде заводов имеются автоматические станки для нагрева под заалку и отпуск с использованием т. в. ч.

Внутреннюю поверхность гильз тяжелых транспортных машин из сталей 38Х2МЮА, 38ХВФЮ, 38Х2МА и др. для повышения износостойкости азотируют. Предварительная термическая обработка гильз — заалка с 920—930 °С с охлаждением в подогретой воде и высокий отпуск при 620—640 °С, охлаждение на воздухе. Азотирование проводят на глубину 0,5—0,8 мм. Первый цикл при 510 °С в течение 10—12 ч со степенью диссоциации аммиака 35 %, второй — при 540 °С в течение 30—40 ч при степени диссоциации аммиака 60 % и последующем охлаждении под током аммиака до 300 °С. Для предохранения от азотирования наружной поверхности гильзы ее покрывают жидким стеклом. Перед азотированием внутреннюю поверхность гильз фосфатируют в течение 20—30 мин.

Износостойкость чугунных гильз можно повысить кратковременным азотированием по режиму: нагрев при 600—700 °С, в течение 6—4 ч в смеси 50 % аммиака + 50 % природного газа. Толщина азотированного слоя 0,2—0,25 мм, HV 850—950.

Обработка клапанов двигателей внутреннего сгорания.

При нагреве дисков клапана до 300 °С их изготавливают из сталей 40Х и 40ХН, окончательная термическая обработка которых заключается в заалке с 840—850 °С в масле и отпуске при 560—580 °С с охлаждением в масле. При нагреве до 650 °С применяют силхромы типа 40Х9С2, 40Х10С2М после заалки с 1000—1050 °С в масле и отпуса при 760—780 °С с охлаждением в масле. При температурах 650 °С и выше детали для клапанов изготавливают из жаропрочных аустенитных сталей типа 45Х14Н14В2М, 55Х20Г9АН4 и др. Клапаны из жаропрочных аустенитных сталей закаливают с 1150 °С в воде с последующим старением при 750 °С в течение 4—6 ч, охлаждение на воздухе. Опорный конец стержня клапана подвергают заалке с нагревом т. в. ч. на твердость HRC 45. Стойкость тарелки клапана повышается на

плавкой по окружности рабочей поверхности твердыми сплавами. Для лучшего охлаждения тарелки в ней делается полость заполняемая на 1/3 металлическим натрием.

Обработка дисков сцепления трактора и дисков почвообрабатывающих машин. Диски изготавливают преимущественно из сталей У7, 65Г. Их закаливают с нагревом т. в. ч. до 900 °С с охлаждением в водоохлаждаемых штампах и отпускают при 450—500 °С в штампах с размещенными в них индукторами. Фрикционные диски сцепления закаливают с 860—870 °С и отпускают при 400—410 °С в плитах, обогреваемых заложенными в них спиральными электронагревателями. Охлаждение после закалки и отпуска проводится в водоохлаждаемых штампах. На ряде заводов для указанных процессов установлены автоматические линии.

Обработка лемехов плугов, лап культиваторов, ножей и сегментов. Режущие части почвообрабатывающих машин при работе подвергаются сильному абразивному износу. Поэтому целесообразно деталям обеспечить самозатачиваемость в процессе эксплуатации. Это достигается неоднородным износом двухслойного лезвия. Для изготовления указанных деталей используют стали 50, 60, 60Г с наплавкой их режущих кромок твердыми сплавами на глубину 1—1,5 мм. Самозатачивание и повышенная стойкость обеспечиваются борированием режущих кромок с нагревом т. в. ч.

Технология термической обработки деталей машин на поточных линиях

Разнообразные поточные линии для процессов цементации (нитроцементации) в толкательных печах, закалки и отпуска в конвейерных и толкательных агрегатах, для термообработки мелких деталей в барабанных печах, роторные линии для обработки колец, для изготовления и обработки вагонных пружин, для закалки в расплавах солей и др. приведены в литературе.

Ниже дается описание дополнительного ряда поточных линий и агрегатов.

Для газовой цементации и нитроцементации деталей используют однорядные с вертикальными радиационными трубами и двухрядные с горизонтальными U-образными трубами, расположенными в два ряда над и под изделиями толкательные печи (автомобильные и тракторные заводы). Производительность печей зависит от вида процесса (цементация или нитроцементация), глубины диффузионного слоя, размеров и массивности деталей. При газовой цементации на глубину 0,8—1,2 мм примерная производительность однорядных печей на 18—21 поддон 200—250 кг/ч при темпе толкания 25—30 мин,

а двухрядных на 44—48 поддонов около 400—450 кг/ч, при темпе толкания ~ 15 мин. Применяемые размеры поддонов $0,4 \times 0,5$ м или $0,5 \times 0,6$ м. Примерная нагрузка на поддоны около 500—600 кг/м². Для уточнения производительности печей следует нагрузку на поддон находить путем укладки характерных деталей. При одно- и двухрядных печах целесообразно применять П-образную компоновку агрегата, когда в первой линии находится цементационная печь и закалочный бак, а во второй — моечная машина, отпускная печь и участок разгрузки и загрузки поддонов. При этом путь движения поддонов замкнутый. Конструкция агрегата упрощается, если закалочный бак одновременно сделать и передающим изделия с первой линии на вторую.

Для повышения производительности цементационных печей целесообразно увеличить число рядов поддонов при рабочей длине печи от 8 до 12 м. На ЗИЛ (г. Москва) работают три четырехрядные цементационные печи на $20 \times 4 = 80$ поддонов. (Размеры поддонов $0,56 \times 0,56$ м, высота загрузки 0,6—0,7 м). Производительность печи при цементации доходит до 800 кг/ч, а при нитроцементации — до 1100 кг/ч.

Агрегат ЗИЛ включает (рис. 71) четырехрядную цементационную печь 2, масляный закалочный бак 5 с подъемной платформой 15, моечную машину 6, электрическую отпускную печь 8 и тамбуры для сохранения герметичности загрузки и выгрузки деталей. Движение деталей в печах и загрузка в моечную машину проводится гидравлическими толкателями 1, 13, 7, 9, 4, а на участке разгрузки и загрузки поддонов — рейками, приводимыми в движение гидравлическими цилиндрами 11 и 14. Подача поддонов из тамбура в цементационную печь и выталкивание их из печи на платформу бака совершается толкателями 10 и 12 с цепным приводом штанг. Нагрев цементационной печи проводится U-образными радиационными трубами (54 штуки), расположенными в два ряда по высоте и ширине печи. Для повышения равномерности состава атмосферы и коэффициента теплоотдачи печи снабжены вентиляторами, а для ускорения охлаждения деталей при закалке бак имеет насос 16. Число поддонов в цементационной печи — 80, в закалочном баке — 1, в моечной машине — 2, в отпускной печи — 26, на участке выгрузки и загрузки поддонов — 13. Площадь, занимаемая агрегатом, 20×11 м, высота 4,7 м. Агрегат имеет автоматическое регулирование температуры, состава атмосферы и управления механизмами движения поддонов.

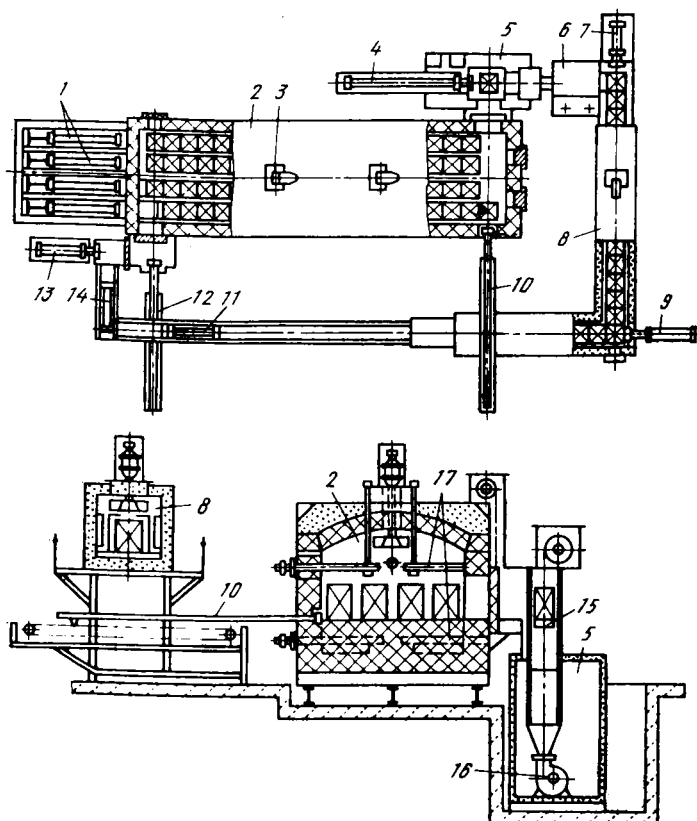


Рис. 71. Четырехрядный безмуфельный агрегат ЗИЛ для газовой цементации

В однорядных печах для нагрева целесообразно применять вертикальные тупиковые радиационные трубы 1 (рис. 72, а), они обеспечивают равномерность нагрева и автоматическую компенсацию удлинения труб при нагреве. В двухрядных печах (72, в) тупиковые трубы 1 располагают горизонтально — в два ряда по высоте над и под изделиями. Трубы имеют рекуператоры, позволяющие повысить подогрев воздуха до $400-500^{\circ}\text{C}$ и к. п. д. до 0,7, что дает экономию топлива 10—15 %.

Оригинально использование для перемешивания атмосферы печи инъекционных устройств 2 вместо вентиляторов (рис. 72, б). Рабочий газ отсасывается из печи и через сопло вновь поступает в печь под давлением 0,2 МПа,

инжектируя печную атмосферу. Система обеспечивает активный массообмен, ускоряющий процесс цементации. При высоких температурах она более надежна вследствие отсутствия вращающихся частей, но для обеспечения циркуляции печной атмосферы необходимо создать высокий коэффициент инжекции (не менее 20—30). Данная система

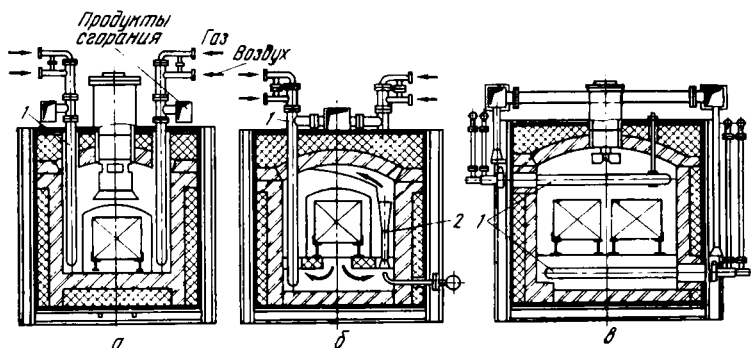


Рис. 72. Поперечные разрезы безмуфельных печей с тупиковыми радиационными трубами: а — однорядный с вертикальными тупиковыми трубами; б — однорядный с вертикальными тупиковыми трубами и инжекционным устройством; в — двухрядный с горизонтальными тупиковыми трубами

перемешивания применяется на автомобильных заводах. В ряде конструкций инжекторы располагают во второй, третьей и четвертой зонах свода безмуфельной цементационной печи.

Рекомендуется для загрузки цементационных и других печей непрерывного действия применять вакуумные шлюзы, как более дешевый способ по сравнению с продувкой форкамер газом.

В серийном производстве для цементации деталей с последующей закалкой широко применяют универсальные механизированные агрегаты, включающие камерную печь с контролируемой атмосферой и герметично закрытый тамбур с закалочным баком. Печи типа СНЗМА нагреваются электрическими элементами, а печи типа ТНЗМА с радиационными трубами, отапливаемыми газом. Часто агрегаты 3 блокируются с моечной машиной 2, электрической печью 1 для низкого отпуска, стендом 4 для комплектовки изделий и обслуживаются механизированной тележкой 5, имеющей цепной толкатель — выталкиватель (рис. 73).

В случае вакуумной цементации детали помещают в камерную печь, которую вакуумируют до давления

10^{-4} Па, и нагревают их до 1050°C . В печь подают природный газ, поддерживая его давление $15\text{--}20$ кПа в течение всего процесса. Поверхность детали науглероживают до содержания углерода $1,3\text{--}1,4\%$. По окончании насыщения углеродом подачу газа прекращают. Печь вновь вакуумируют, осуществляя диффузию углерода с поверх-

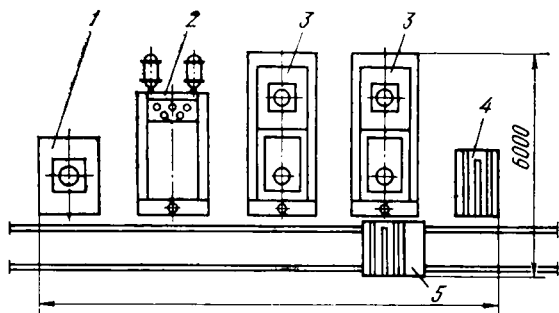


Рис. 73. План участка с универсальными камерными печами (типа СНЗМА или ТНЗМА) для цементации

ности в глубь металла до содержания углерода на поверхности $0,9\%$. Затем проводят закалку перемещая поддон с деталями в закалочный бак форкамеры печи. Для камерной печи вместимостью $200\text{--}300$ кг глубину цементованного слоя $1,2\text{--}1,4$ мм можно получить при времени первого периода насыщения углеродом 30 мин второго периода — диффузии в вакууме 50 мин.

Применение вакуумной цементации в печах непрерывного действия вызывает значительные трудности.

При химико-термической обработке в ваннах с кипящим слоем для кипящего слоя используют оксиды Al_2O_3 , SiO_2 с диаметром частиц около $0,1$ мм. В случае цементации в среде природного газа при его сжигании с $\alpha=0,3$ и добавлении вторичного природного газа в количестве 25% втулки звеньев гусеницы трактора из сталей 20Γ и 20X при 950°C науглероживаются на глубину $2,2\text{--}2,8$ мм за $12\text{--}16$ ч. При цементации в кипящем слое зубья шестерен из стали 12XНЗА при 960°C науглероживаются на глубину $0,7$ и $1,5$ мм, соответственно за 2 и 6 ч.

При цементации в реторте с кипящим слоем (смесь азота с парами метана) при 930°C на зубчатых колесах был получен слой $0,6\text{--}0,7$ мм с концентрацией углерода в поверхностном слое $0,8\%$; твердость после закалки HRC $65\text{--}66$.

При азотировании в кипящем слое в среде аммиака или смеси газов 75 % NH_3 + 25 % CH_4 при 510 и 560 °С получили сокращение времени процесса почти в два раза.

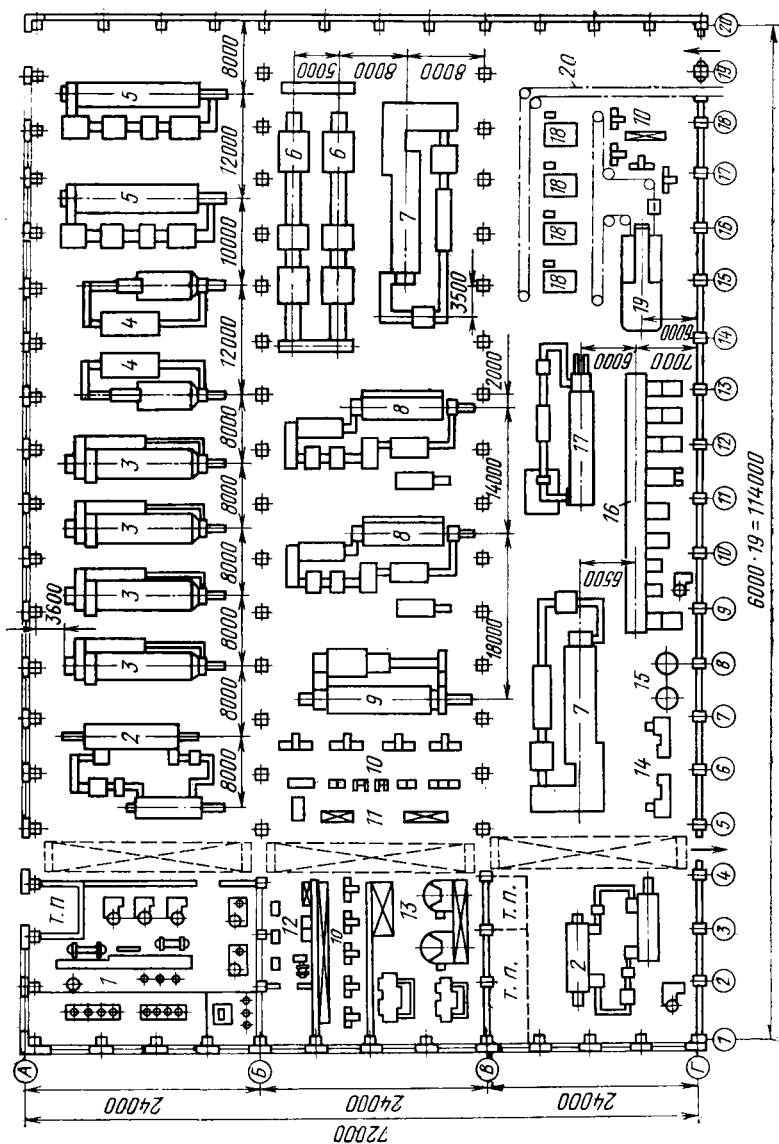
В качестве примера термического цеха массового производства с использованием поточных линий на рис. 74 приведен план чистового термического цеха при производстве автомобилей на выпуск 30 тыс. т деталей в год. Из них около 65 % всего тоннажа составляет химико-термическая обработка (ХТО) с непосредственной закалкой после цементации или закалкой со специального нагрева с последующим низким отпуском. Для ХТО применяются толкательные безмуфельные одно- или многорядные агрегаты, нагреваемые газовыми радиационными U-образными трубами или электрическими нагревательными элементами.

Около 20 % деталей проходят поверхностную закалку при нагреве т. в. ч. с использованием машинных и ламповых генераторов с последующим низким отпуском. 15 % деталей подвергаются улучшению с применением конвейерных поточных линий и универсальных камерных печей типа СНЦА.

В данном цехе для ХТО используют два газовых агрегата с полной термической обработкой (2); четыре газовых 21-поддонных с непосредственной закалкой — конструкция ЗИЛ (3); два газовых 9-поддонных конструкции ЗИЛ (4); два электрических типа СТЦА 6.105.4/10 со специальным нагревом для закалки 5; два газовых двухрядных фирмы «Eichelin» (ФРГ) 7; два газовых с перекристаллизацией и последующим подогревом для закалки деталей из хромоникелевых сталей (8); один газовый для полуосей 9 и один газовый фирмы «Birlik» (17).

Для закалки с отпуском применяют два конвейерных агрегата СКЗА 4.300.2/9 (6). Агрегат из камерных печей (16), включающий три универсальных печи СНЦА 5.10.5/10, моечную машину, две печи для низкого отпуска (справа) и универсальную печь фирмы «Eichelin», моечную машину и отпускную печь (слева).

Для поверхностной закалки с нагревом т. в. ч. предусмотрены четыре станка с генераторами мощностью 250 кВт, частотой 2500 Гц для закалки полуосей (18) и печь для низкого отпуска с подвесным цепным конвейером (19). Также предусмотрены две закалочные установки с ламповыми генераторами по 100 кВт, частотой 66000 Гц (14) с двумя шахтными печами СШО-6.6/3 для низкого отпуска (15). Цех имеет изолированное помещение (1) с эндо- и экзоустановками для получения контролируемых



атмосфер; три участка с тринадцатью правильными прессами (10), участка контроля качества деталей (11 и 12) с твердомерами, заточными наждачными станками и магнитным дефектоскопом УМАО-7000. После термической обработки проводится дробеструйная очистка деталей от окалины и дробенаклеп, для чего имеются два круглых стола и две проходных машины (13). Для местной защиты от цементации предусмотрен специальный участок покрытия деталей пастой.

Транспортировка деталей в цех проводится цепным конвейером (20) и электрокарами, а внутри цеха — мостовыми кранами и электрокарами.

Ниже приведен ряд поточных линий и агрегатов для термической обработки деталей машин.

Схема участка для закалки и отпуска звеньев гусениц трактора, изготавливаемых из стали 40, приведена на рис. 75. Звенья с механических станков 1

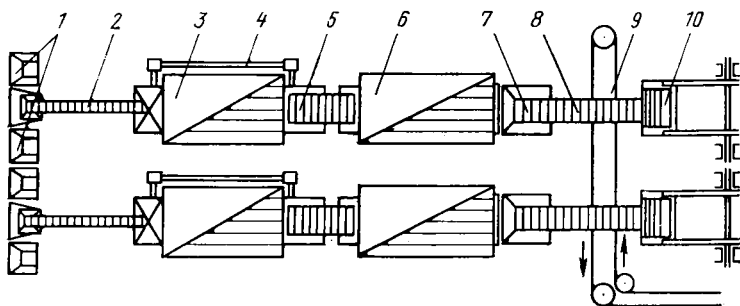


Рис. 75. План участка для термической обработки звеньев гусениц тракторов

подают конвейером 2 в толкательную печь 3. Детали закаливают в конвейерном баке 5, а поддоны конвейером 4 вновь направляются под загрузку. Далее, звенья проходят отпуск в конвейерной печи 6, их замачивают в баке 7, подают на конвейер 8 и подвесным конвейером 9 доставляют на участок сборки тракторов. Если звенья идут как запасные части, то конвейер 8 сбрасывает их в ковш 10 скипового подъемника, который грузит их в автомашины. Производительность одной линии 150—200 шт/ч.

Звенья гусениц из стали типа 110Г13Л проходят только

Рис. 74. План чистового цеха массового производства для термической обработки деталей автомобиля

закалку с 1100°C в воде после нагрева их в толкательной печи. В бак сбрасывают только звенья, а тара (подставки) проваливается в специальную камеру и доставляется к загрузочному концу печи.

Длинные передаточные валы, полуоси, коленчатые валы для уменьшения коробления при закалке нагревают и закаливают в вертикальном положении. В массовом производстве хорошие результаты дает применение коридорных печей с нагревом деталей на подвесках.

На рис. 76 приведена схема агрегата для нагрева и закалки автомобильных полуосей в вертикальном положении. Полуоси навешиваются на специ-

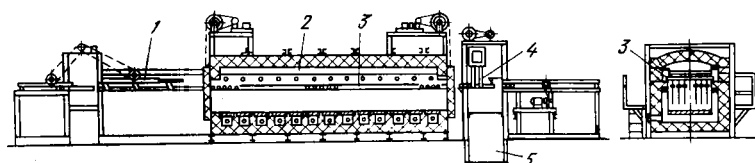


Рис. 76. Схема поточного автоматизированного агрегата для закалки и отпуска автомобильных осей с нагревом в вертикальном положении на подвесках

альные подвески 1, которые поступают в коридорную печь 2 и проталкиваются по направляющим 3, расположенным под сводом печи. После нагрева подвеска с полуосями вытаскивается из печи специальным механизмом на направляющие 4, имеющие вертикальное перемещение от пневматических цилиндров. При опускании направляющих вниз полуоси охлаждаются в закалочном баке 5. Движение подвесок в печи проще всего осуществляется с помощью пневматического толкателя. Горелки печи расположены в нижних топках, что обеспечивает высокую равномерность нагрева по ширине печи. При контролируемой атмосфере обогрев деталей можно проводить радиационными трубами. Отпускная печь имеет аналогичную конструкцию. Производительность агрегата до 200 полуосей в час.

При нагреве на высокие температуры (900°C и выше) целесообразно направляющие для движения подвесок вынести из печи, как это показано на рис. 77 газовой печи для нормализации коленчатых валов. В своде печи устроена продольная прорезь, по которой двигаются подвески с укрепленными на них валами. Продольная щель сверху закрывается специальными пластинами, укрепленными на подвесках и перемещающимися с ними. Рабочее пространство печи у загрузочного и разгрузочного торцов

имеет наклонные коридоры с концом свода ниже уровня пода печи, что создает тепловую завесу, снижая потери тепла. При использовании контролируемых атмосфер, печь с целью герметизации рабочего пространства снабжается форкамерами для загрузки полуосей (валов) и для заковки.

Поточная линия для термической обработки мелких деталей (роликов, гаек, шариков и др.) приведена на рис. 78. Для нагрева под закалку применяется барабанная печь 2, загрузка в которую проводится пластинчатым конвейером 1 из бункера. После заковки детали шнековым конвейером доставляются в галтовочный барабан 3 для очистки от окалины. Из барабана детали шнековым устройством подают на конвейер отпускной печи 4. После отпуска на установке 5 коэрцитиметром контролируется твердость и структура обработанных деталей. Барабанная печь имеет реторту диаметром 400 мм длиной 2,5 м с производительностью до 100 кг/ч, при установочной мощности 100 кВт. Отпускная печь — типовая, конвейерная на низкие температу-

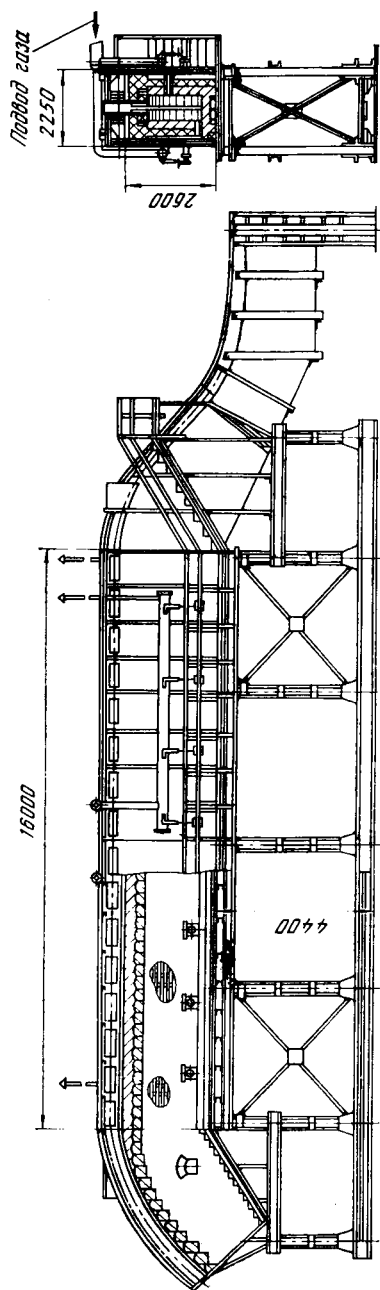


Рис. 77. Схема проходной коридорной печи для нормализации коленчатых валов с нагревом в вертикальном положении на подвесках

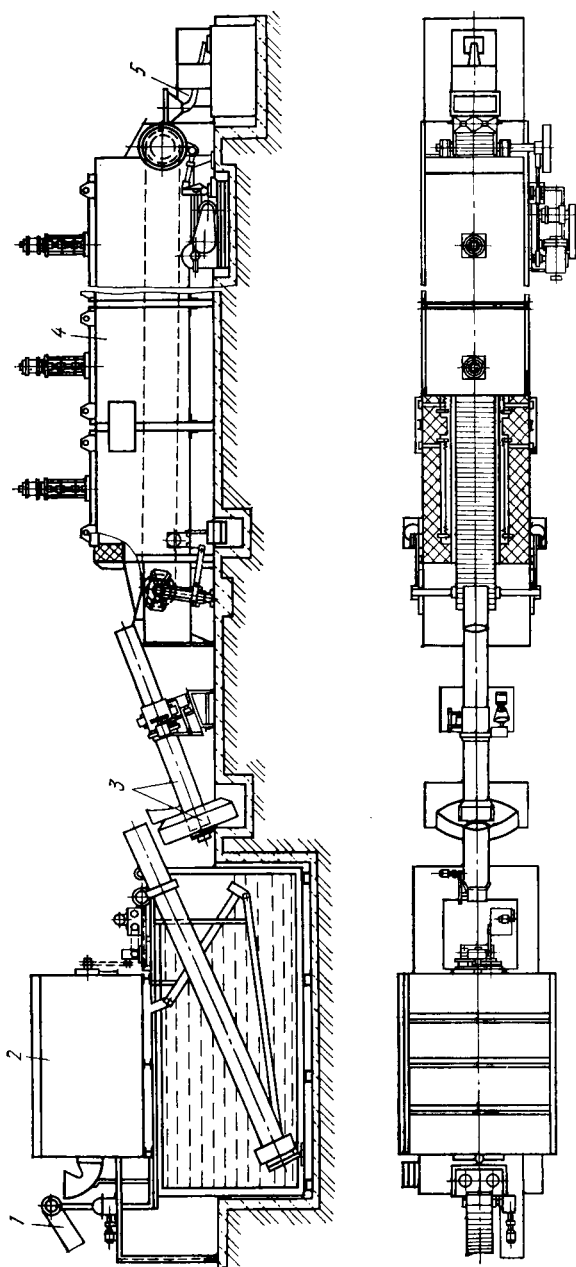


Рис. 78. Поточная линия для термической обработки мелких деталей с встроенным галтовочным барабаном и коэрцитиметром

ры (до 700°C) с тремя регулируемыми температурными зонами, общей мощностью 70 кВт, с производительностью до 100 кг/ч. Галтовочный барабан имеет шнек диаметром 300 мм, длиной 2,5 м.

В поточных линиях машиностроительных заводов вместо нагрева в печах часто применяют индукционный или контактный электронагрев, а также нагрев лучом лазера, в электролитах, газокислородным пламенем. При таких способах нагрева поточные линии получаются более компактными, сокращается время операции, облегчается автоматизация процесса, создаются лучшие условия труда. Кроме того, появляется возможность встраивать агрегаты для термической обработки в общий поток изготовления деталей в механических и сборочных цехах.

В потоках механических цехов автотракторных заводов часто применяется закалка с нагревом т. в. ч. для коленчатых валов, кулачковых валиков, пазовых валов, шестерен с обработкой по зубу и впадине, гильз двигателей внутреннего сгорания, катков, тарелок толкателей, клапанов, рычагов и т. д.

Применяемые на машиностроительных заводах станки с нагревом т. в. ч. подробно описаны в литературе.

Часто установки для закалки деталей т. в. ч. размещаются в потоке между станками механической обработки.

На рис. 79, а дана схема закалки шеек коленчатого вала т. в. ч. По рольгангу 1 коленчатые валы поступают к двум закалочным станкам 2 т. в. ч. конструкции ВНИИТВЧ, далее на прессы 3 и в толкательную печь 4 для низкого отпуска. После охлаждения на рольганге 5 проводится осмотр и контроль качества на столах 6. Машинные генераторы, конденсаторные батареи и распределительные устройства вынесены в изолированное помещение 9. Рядом с помещением генераторов находятся водяной бак 8 (обозначен штриховыми линиями) и насосы 7.

На рис. 79, б приведен участок для закалки т. в. ч. внутренней поверхности гильз. Гильзы поступают со станков механиче-

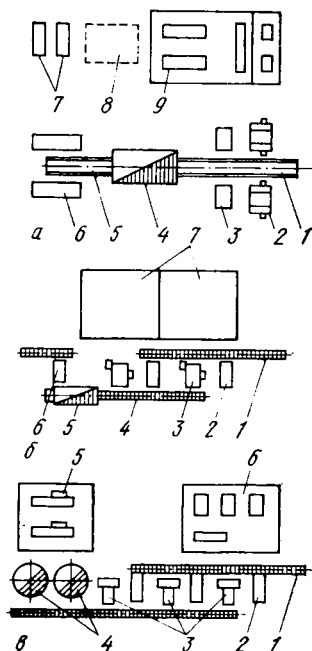


Рис. 79. Размещение станков для термической обработки с нагревом т. в. ч. в потоке механических цехов:

а — участок закалки шеек коленчатых валов; б — участок для закалки внутренней поверхности гильз; в — участок закалки зубьев шестерен

ского цеха по наклонным направляющим 1 к двум столам 2, проходят закалку на двух вертикальных станках 3 и по наклонному желобу 4 направляются к проходной отпускной печи 5. После отпуска гильзы по наклонному желобу доставляются на столы 6 для контроля. Станки работают от двух ламповых генераторов, расположенных в помещении 7.

Участок для закалки зубьев шестерен т. в. ч. показан на рис. 79, в. Шестерни по рольгангу 1 поступают к столам 2, трех закалочных станков 3. После закалки шестерни проходят низкий отпуск в двух шахтных вентиляторных печах 4. Дробеструйный наклеп впадин зубьев шестерни проводится на дробеметах 5. Закалочные станки питаются от машинных генераторов, установленных в помещении 6.

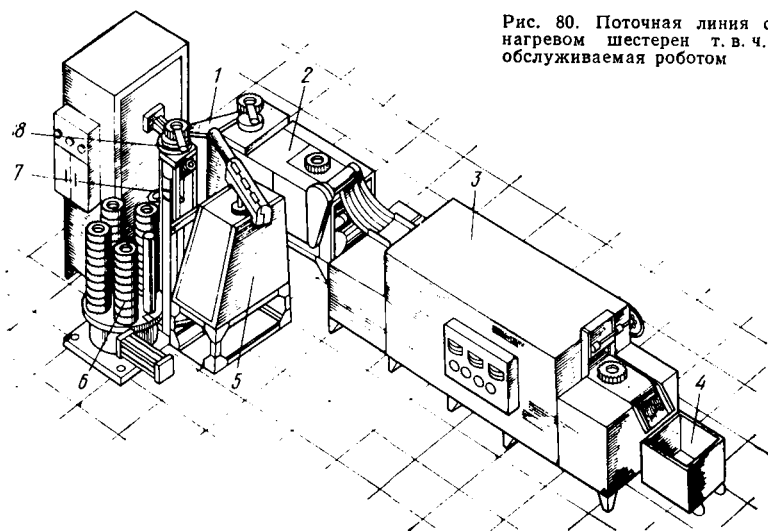


Рис. 80. Поточная линия с нагревом шестерен т. в. ч., обслуживаемая роботом

При обслуживании установок т. в. ч. существенное значение имеет применение транспортных роботов. На рис. 80 показана схема участка для закалки с нагревом т. в. ч. шестерен, обслуживаемого роботом 5. Шестерня 6 снимается со штока вилкой 7 и подается рычагом 1 в индуктор 8. Правая сторона рычага манипулятора передает нагретую шестерню на платформу закалочного бака 2, из которого транспортером она поступает в отпускную конвейерную печь 3 и разгружается в тару 4.

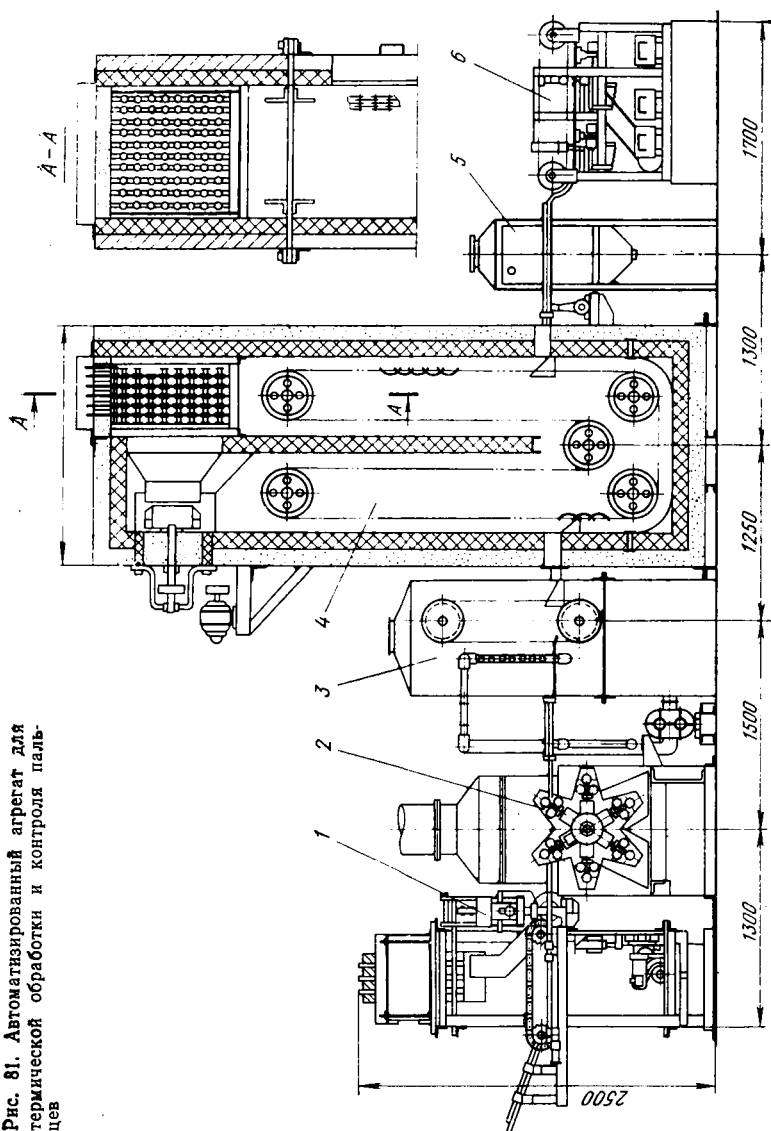
Закалка деталей при нагреве т. в. ч. и токами промыш-

ленной частоты (т. п. ч.) и газопламенном нагреве, успешно используется в мелкосерийном производстве. Применение вместо объемной закалки шестерен поверхностной закалки зубьев с нагревом т. в. ч. или газопламенным нагревом позволило заменить легированные стали 30ХН1М и 40ХН на углеродистую сталь 45. Поверхностная закалка с нагревом т. в. ч. повысила стойкость звездочек. Большой эффект дает применение поверхностной закалки, вместо химико-термической обработки с последующей объемной закалкой. Применение закалки с нагревом т. в. ч. (вместо цементации) поршневых пальцев трактора сократило продолжительность операции в 20 раз, снизило их стоимость и позволило использовать вместо легированной стали углеродистую сталь 45.

На рис. 81 приведена поточная линия для термической обработки и контроля пальцев, изготавливаемых из сталей 40Х и 38ХС с применением под закалку контактного электронагрева. Пальцы поступают из бункера через наклонный лоток и конвейер на зажимы электроконтактной машины 1. Нагретый палец захватывается двумя штоками специальной каретки, которая переносит его на два вращающихся нижних ролика барабанной закалочной машины 2, где она зажимается третьим роликом с помощью штока гидравлического цилиндра. Барабанная машина имеет шесть позиций. После закалки палец захватывается рычагами и переносится в моечную машину 3 и далее для отпуска в электрическую печь 4 с вертикальным конвейером, делающим четыре оборота. После охлаждения в камере 5 палец поступает в автомат 6 контроля твердости и коробления. Контроль твердости осуществляется коэрцитиметром, а коробление с помощью измерительного устройства, включающего по длине пальца три электроконтактных датчика. Рассортировка бракованных пальцев по твердости ведется в два бункера, в один по заниженной, а в другой — по завышенной твердости. Покоробленные пальцы направляются в третий бункер.

Сортирующие устройства управляются электромагнитами, автоматически сбрасывающими изделие при сигналах брака. Электромагнит поворачивает направляющие планки, отправляя бракованные пальцы в тот или другой бункер. Годные пальцы проходят через контрольный аппарат и выгружаются на его конце. Нагрев под закалку до температуры 1050 °С проводят в течение 10—14 с, закалку осуществляют в веретенное масло с выдержкой в закалочной среде до 90 с. Температура отпуска пальцев 440—480 °С, продолжительность выдержки в печи 36 мин. Детали от масла отмывают в 5—10 %-ном растворе соды, нагретом до 70—90 °С. Темп выдачи пальцев 24 с, при этом производительность агрегата составляет 150 пальцев/ч, или 250 кг/ч. Мощность

Рис. 81. Автоматизированный агрегат для термической обработки и контроля пальцев



трансформатора электроконтактной машины 150 кВт. Напряжение вторичной обмотки 6—8 В. Температура нагрева пальца регулируется фотопирометром, который после нагрева пальца до данной температуры дает команду на отключение тока и отвод электроконтактных зажимов. Мощность калорифера отпусковой печи 45 кВт. Мощность привода конвейера 3,5 кВт.

На рис. 82 приведен план поточной линии для термической обработки и контроля тонких колец и прокладок, изготавливаемых из сталей 45, 30ХГС и др. с нагревом под закалку т. в. ч. и отпуском в электроштампах.

Кольца укладываются стопкой по 30—60 шт в специальный бункер 1, откуда поштучно подаются для нагрева т. в. ч. сначала под первый индуктор 2, затем под второй индуктор 3. Индукторы петлевого типа, трехвитковые: два витка расположены сверху кольца и один — снизу. Оба индуктора работают от одного генератора мощностью 100 кВт с частотой тока 8000 Гц. Общее время нагрева кольца $40 \times 2 = 80$ с. Перемещение колец из бункера под индукторы и их выдача на закалочную машину осуществляются качающимися лапами, приводимыми в возвратно-поступательное движение гидравлическим цилиндром.

Крайней правой лапой 4 кольцо из первого индуктора укладывается в штамп 5 одного из четырех прессов карусельной закалочной машины. Зажатие колец в штампах и опускание в бак проводится вертикальным гидравлическим цилиндром. Поворот карусели в баке осуществляется гидравлическим цилиндром 7 через кривошип 6 и храповую передачу. Храповое кольцо монтируется на валу карусели и имеет четыре зуба, что обеспечивает поворот карусели на $1/4$ окружности. Для охлаждения масла внутри бака размещен змеевик с проточной водой. С четвертой позиции 8 пресса кольцо передается на промывку в моечную машину при помощи возвратно-поступательного движения специальной каретки. На каретке закреплены две рейки 9 с утапливающимися кулачками. При движении каретки вперед кулачки захватывают кольца и перемещают их на очередные позиции. Первая пара кулачков захватывает кольца с позиции закалки, вторая передает на промывку, третья осуществляет движение внутри моечной машины и четвертая загружает кольца в электроштамп 10 отпусковой печи.

Отпусковая печь выполнена в виде карусели, на которой закреплено восемь электроштампов. Зажим колец производится верхней частью штампа. Раскрытие штампов осуществляется при помощи копиров на позициях загрузки 10

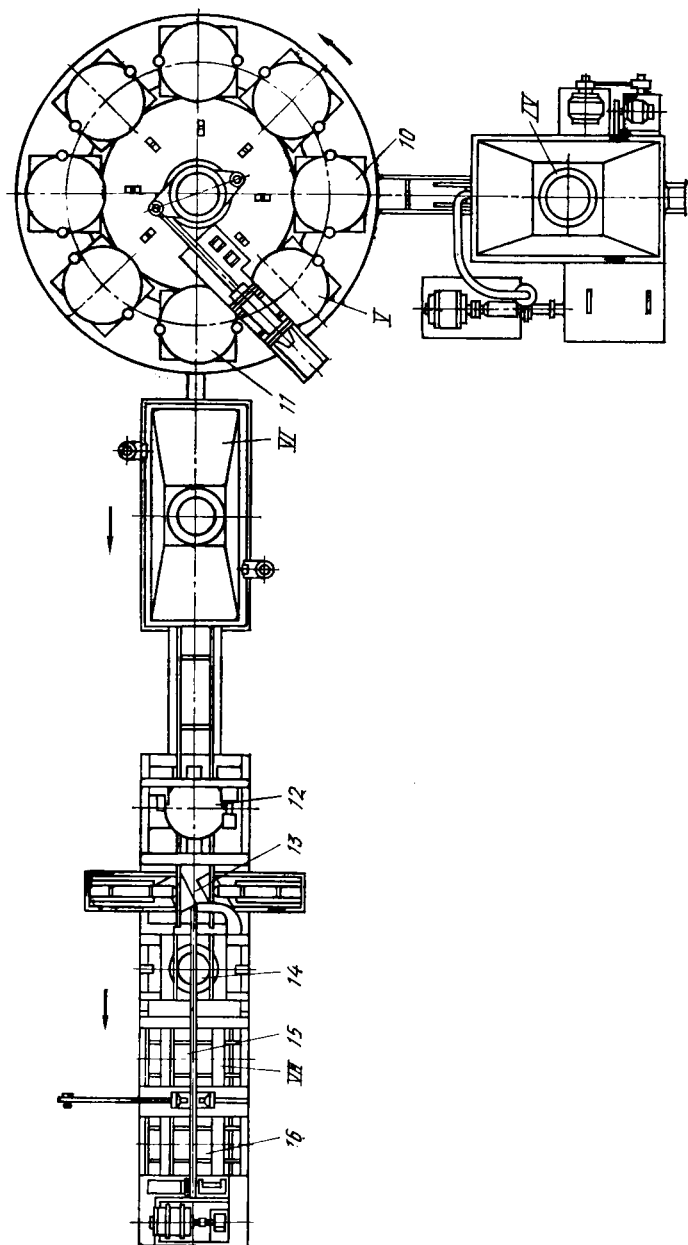
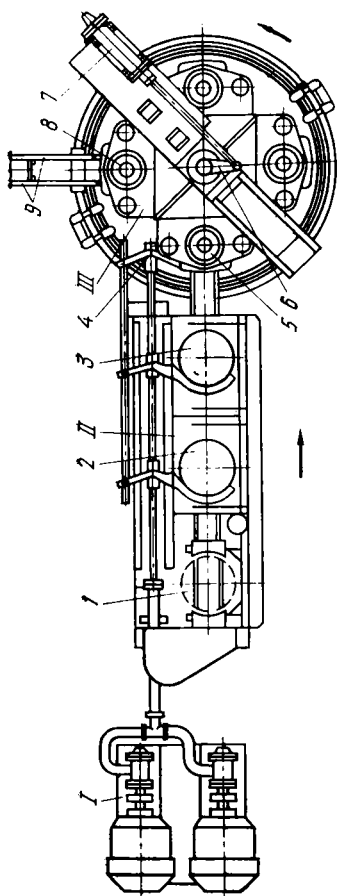


Рис. 82. Поточная линия для за-
калки, отпуска и контроля колец
и прокладок



и разгрузки 11. На остальных позициях происходит нагрев дисков с продолжительностью выдержки около 4 мин. Поворот карусели осуществляется храповым механизмом от гидравлического цилиндра аналогично закалочной машине. Храповое колесо имеет восемь зубьев, что обеспечивает поворот карусели на $\frac{1}{8}$ часть оборота за время одного движения штока цилиндра. Общая мощность нагревательных элементов карусели 32 кВт. Температура в штампах регулируется автоматически. С последней позиции 11 отпускной печи кольцо снимается кулачками реечного транспортера и передается в установку для быстрого охлаждения после отпуска и сушки горячим воздухом. Кольца, находящиеся в зажатом состоянии, в установке 12 быстро охлаждаются водой. Зажим производится верхним штампом, приводимым в движение гидравлическим цилиндром. Влага удаляется горячим воздухом.

Кольца после сушки доставляются кулачками реечного механизма в автомат для контроля твердости и коробления, после чего они сортируются на годные и брак. Перед контролем кольца попадают в накопитель 13. Накопитель представляет собой кольцевой бункер, дно которого перемещается вертикально. Производимое перемещение равно толщине кольца и регулируется контактором датчика. Пере-

дача кольца из накопителя на позицию контроля твердости осуществляется транспортером накопителя.

Контроль твердости осуществляют в двух диаметрально противоположных точках кольца вдавливанием алмазного конуса (шкала HRC) на твердомерах 14. Кольцо, поступившее на позицию контроля, поджимается к алмазным конусам подъемником; электрическая схема фиксирует результат контроля твердости. После этого подъемник опускается и кольцо освобождается. Командоаппаратом включается транспортер, который перемещает кольцо на позицию 15 для контроля коробления.

Коробление контролируется у кольца в шестнадцати точках, равномерно расположенных по его окружности. Кольцо, поступившее на позицию 15, укладывается на два арретира, которые, опускаясь вниз, устанавливают кольцо на базовую плиту. Затем включаются датчики, которые фиксируют отклонение по двум измерительным позициям. При сигнале брака от любой измерительной позиции деталь направляется в приемный бункер брака 16. Годное кольцо пропускается в приемник готовых деталей.

В роторных линиях весьма успешно применяют полную автоматизацию с помощью транспортных роботов. Схема роторной линии для термической обработки тонких колец приведена на рис. 83, а. Основная линия состоит из следу-

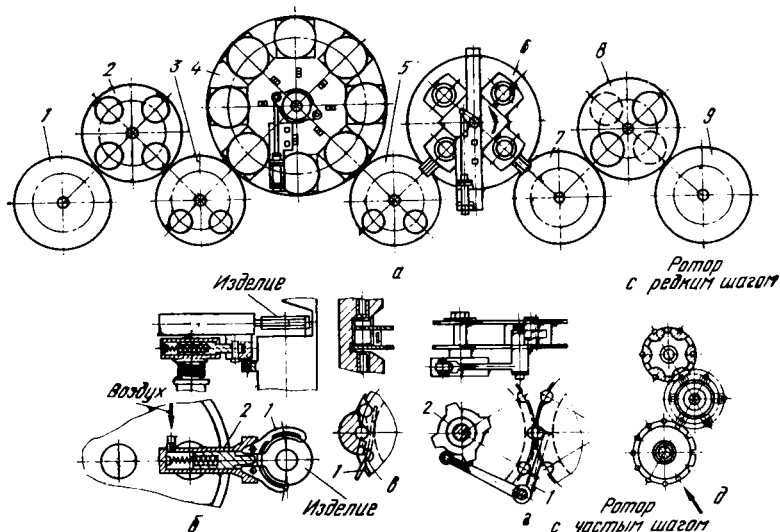


Рис. 83. Роторная линия для обработки тонких колец с обслуживанием транспортными роторами

ющих технологических роторов: индукционного нагрева 8 на две установки, закалочной машины 6 на четыре пресса, восьми отпускных электрических прессов 4 и контрольного автомата 2 на четыре позиции. Обслуживают данные агрегаты транспортные роторные роботы 9, 7, 5, 3, 1. Кроме транспорта эти роботы совершают еще и технологические операции: робот 5 — отмывку от закалочного масла, 3 — охлаждение водой и сушку горячим воздухом, 1 — автоматическое разделение колец на годные и брак, 9 — бункер-накопитель. Транспортные роботы снабжаются различного рода автоматически действующими приспособлениями: захватами 1 с пневматическим приводом 2 (рис. 83, б), подпружиненной планкой (рис. 83, в), переталкивателем 1, приводимым в движение кулачком 2 (рис. 83, г), копирами которые позволяют транспортировать детали между рабочими роторами, вращающимися с разными скоростями (рис. 83, д).

Наиболее распространенными деталями сельскохозяйственных машин (кроме тракторов и комбайнов), подвергающихся термической обработке, являются: втулочно-роликовые и крючковые цепи, сегменты, лемехи, отвалы, грабельные зубья и др.

На рис. 84 приведена схема поточной линии для термической обработки деталей ролико-

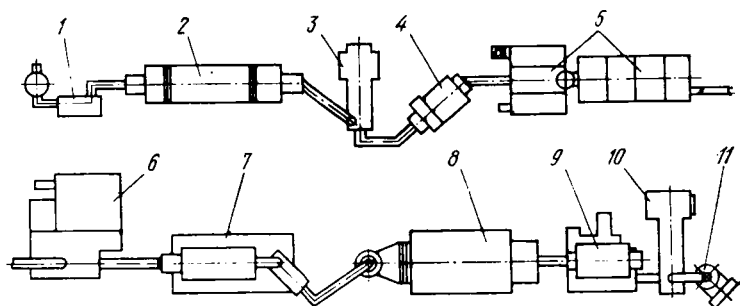


Рис. 84. Поточная линия для изготовления и термической обработки роликов и втулок цепей Галля (поточная линия изображена в два ряда)

вых цепей (втулок и роликов). Изготавливаются они из низколегированной стали, основным технологическим процессом является цементация на глубину 0,2—0,3 мм с последующими закалкой и низким отпуском. Процесс изготовления начинается со свертывания втулки или ролика из ленты на специальном автомате 1, далее идет фосфатирование с совмещением в одном агрегате 2 двух процессов:

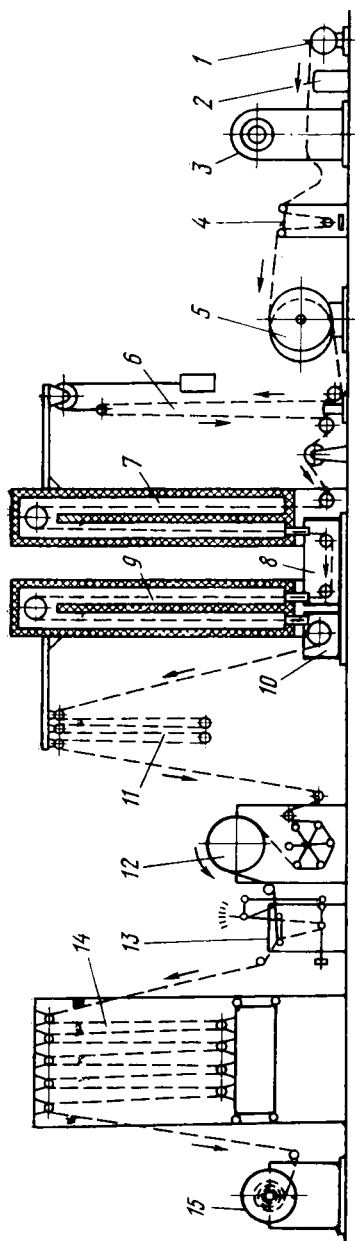


Рис. 85. Автоматическая линия изготовления и термической обработки крючковых цепей

обезжиривания и травления. После калибровки протяжкой через фильтры на станке 3, промывки в 10 %-ном растворе соды и сушки в барабане 4 детали поступают на газовую цементацию в барабанную печь 5 с последующей непосредственной закалкой. У закаленных втулок и роликов шлифуются торцы на станке 6, затем они подвергаются галтовке для снятия заусенцев в проходном барабане 7 и отпуску в муфельной барабанной печи 8 с последующей замочкой в воде. После сушки в барабанном агрегате 9 и обдувки фасок в установке 10 проводится 100 %-ный контроль размеров диаметра и длины на карусельном вдвоенном автомате 11 с одновременным счетом деталей. Агрегаты связаны в единый поток элеваторными конвейерами. Часть агрегатов имеет бункерные накопители на случай небольших простоев некоторых установок. Общая длина поточной линии 50 м. Применение поточной линии снизило трудоемкость изготовления цепей в 6 раз, а себестоимость — в 2 раза.

Автоматическая линия изготовления и термической обработки крючковых штампованных цепей схематически показана на рис. 85. Термическая обработка крючковых цепей со-

стоит в закалке с 950°C в воде и отпуска при 450°C . Оригинальным в установке является то, что обрабатываемая цепь сама является транспортером. Цепи изготавливают из ленты, которая разматывается с рулона 1, промасливается в устройстве 2 и подается под эксцентриковый пресс 3, где последовательно происходит вырубка и загибка отдельных звеньев с одновременной их привязкой к уже сделанной цепи. Качество вязки цепи проверяется на установке 4 путем растяжения с помощью груза.

Затем цепь через аккумулятор задела 5 и компенсатор расхода 6 попадает в шахтную электрическую печь 7, где нагревается за два вертикальных прохода и охлаждается в баке 8. Отпуск после закалки проводится в аналогичной шахтной электрической печи 9, после чего цепь промасливается в баке 10 и через аккумулятор задела 11 попадает на станок 12 для обкатки, а на установку 13 для контроля шага. Через аккумулятор задела 14 готовая цепь наматывается в бунты на барабан 15.

Производительность линии составляет 27 млн. звеньев цепи в год. Применение автоматической линии сократило производственную площадь в 10 раз и повысило производительность труда в 16 раз.

Схема поточной автоматической линии изготовления и термической обработки зубьев тракторных граблей приведена на рис. 86. Пруток для изготовления зуба доставляется транспортером

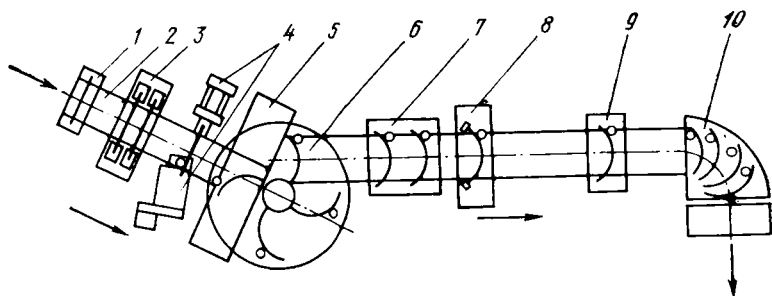


Рис. 86. Поточная линия для изготовления и термической обработки зубьев тракторных граблей

2 из бункера-накопителя 1 в двухпозиционную электроконтактную установку 3. Здесь он нагревается в два этапа: на первой позиции подогрев до 600°C , а на второй — окончательный нагрев до 1050°C . Для регулирования продолжительности нагрева используется реле времени. Нагретый

пруток поступает на станок 4, где происходит навивка кольца, плющение и обрезка пера, и затем передается к прессу 5 для гибки зуба по большой дуге. Изготовленный зуб закаливается с того же нагрева в ротационной четырехпозиционной закалочной машине 6 в фиксированном положении. Закаленный зуб обезжиривается в устройстве 7 и подвергается отпуску в электроконтактной установке 8. Далее зуб охлаждается сначала на воздухе, потом в водяном баке 9 и поступает в бункер-накопитель 10, из которого разгружается в тару. Темп выпуска поточной линии 7,5 с, продолжительность обработки одного зуба 4,75 мин. Производительность линии до 2500 зубьев в смену.

Схема автоматической поточной линии для закалки и отпуска сегментов дана на рис. 87. Сегменты загружаются в лоток 1, из которого поштуч-

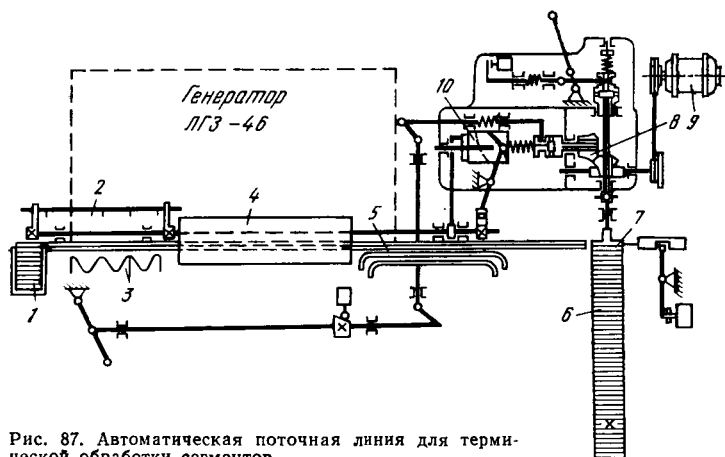


Рис. 87. Автоматическая поточная линия для термической обработки сегментов

но транспортируются грейфером 2 вдоль индуктора 3, при этом происходит нагрев под закалку. Охлаждаются сегменты струями масла над баком 4 при непрерывном их движении. После закалки сегменты проходят вдоль второго индуктора 5, где проводится отпуск. Далее сегменты охлаждаются на воздухе и их собирают в пачки специальным механизмом 7. Затем они транспортируются в лоток-накопитель 6. Работа всех механизмов производится от электродвигателя 9 через специальный редуктор 8 и копира на барабане 10. Оба индуктора питаются от лампового генератора мощностью 50 кВт.

Поточная линия для изготовления и термической обра-

ботки отвалов состоит из печи с шагающим подом для нагрева под гибку, пресса со штампами для гибки и закалки отвалов и печи с цепным конвейером для отпуска. Аналогичная поточная линия рассчитана на выпуск полумиллиона отвалов тракторных плугов в год. На участке термической обработки и гибки размещены: проходная закалочная электропечь с шагающим подом, пресс для одновременной гибки и закалки отвалов и отпускная конвейерная печь. В поточной линии нагрев под гибку, закалку и отпуск проводится при помощи т. в. ч. Для улучшения поверхности деталей и снятия окалины, образовавшейся при термической обработке, применяют абразивно жидкостную обработку.

Термическая обработка фасонных отливок

Литые детали широко применяют в машинах, изготавливаемых в массовом количестве — это шестерни, зубчатые колеса, венцы, звездочки, бандажи, шкивы, рычаги, муфты, втулки, траки и др.

Для литых деталей, подвергаемых термической обработке наиболее распространенными являются стали от 30Л до 50Л, 35ГЛ, 40ХЛ, 30ГСЛ, 35ХМЛ, 35ХГСФЛ, 30ХНМЛ, 15Х1М1ФЛ, 15ХЗМФА и др. (ГОСТ 977—75). Большое количество отливок готовится из коррозионностойких, жаростойких и износостойких сталей (ГОСТ 2176—77), из которых наиболее употребительны 20Х13Л и 10Х14НДЛ — для турбинных лопаток, клапанов; 10Х18Н9ТЛ для отливок, подвергаемых коррозионному воздействию; 15Х25ТЛ, 20Х20Н14С2Л, 20Х25Н19С2Л и др. для деталей, работающих при высоких температурах; стали типа 110Г13Л, 130Г14ХМФЛ — для траков и деталей, подвергающихся износу при ударных нагрузках.

Термическая обработка отливок первой группы из сталей по ГОСТ 977—75 заключается в нормализации с 900—920 °С и высоком отпуске при 600—650 °С. Для отливок сложной формы, в которых при охлаждении возможно образование трещин, целесообразно применять нормализацию с замедленным охлаждением с температур 450—500 °С. При требовании повышенных свойств применяют улучшение (закалку с 860—900 °С и отпуск при 600—650 °С) в зависимости от марки стали и предъявляемых требований).

Часть отливок, работающих на износ (зубья шестерен, звездочек и др.), упрочняют поверхностной закалкой, чаще всего с нагревом т. в. ч.

Коррозионно- и жаростойкие отливки из аустенитных и аустенито-ферритных сталей (10Х18Н9ТЛ, 14Х18Н4Г4Л, 25Х25Н19С2Л, 20Х20Н14С2Л и др.) подвергают закалке с 1050—1100 °С в воде или масле; из мартенситных сталей (20Х13Л, 10Х14НДЛ и др.) — закалке с 1050—1100 °С в масле и отпуску при 750 °С (для стали 20Х13Л) и 660 °С (для стали 10Х14НДЛ). Ферритные стали типа 15Х25ТЛ

подвергают отпуску при 740—770 °С с охлаждением на воздухе с целью повышения ударной вязкости. Отливки из износостойких аустенитных сталей 110Г13Л и 130Г14ХМФЛ закаливают в воде с 1100—1150 °С без отпуска.

Наиболее распространенными печами, применяемыми для нормализации, закалки и отпуска, являются печи с подвижным подом. При большом количестве одинаковых изделий небольших размеров (например, траков) используют толкательные печи, причем надо стремиться к уменьшению массы тары (поддонов, приспособлений). Например, применяя специальную укладку траков, можно обойтись без поддонов. Для отливок, требующих индивидуальную выдачу, для закалки в прессах хорошие результаты дает применение для нагрева карусельных печей.

Для поверхностного упрочнения используют установки с нагревом т. в. ч. и специальные вращающиеся закалочные столы со спрейерным охлаждением поверхности отливок. В качестве дополнительного оборудования применяют дробеструйные столы и барабаны для очистки отливок от окалины, сварочные аппараты для заварки раковин, зачистные наждачные станки.

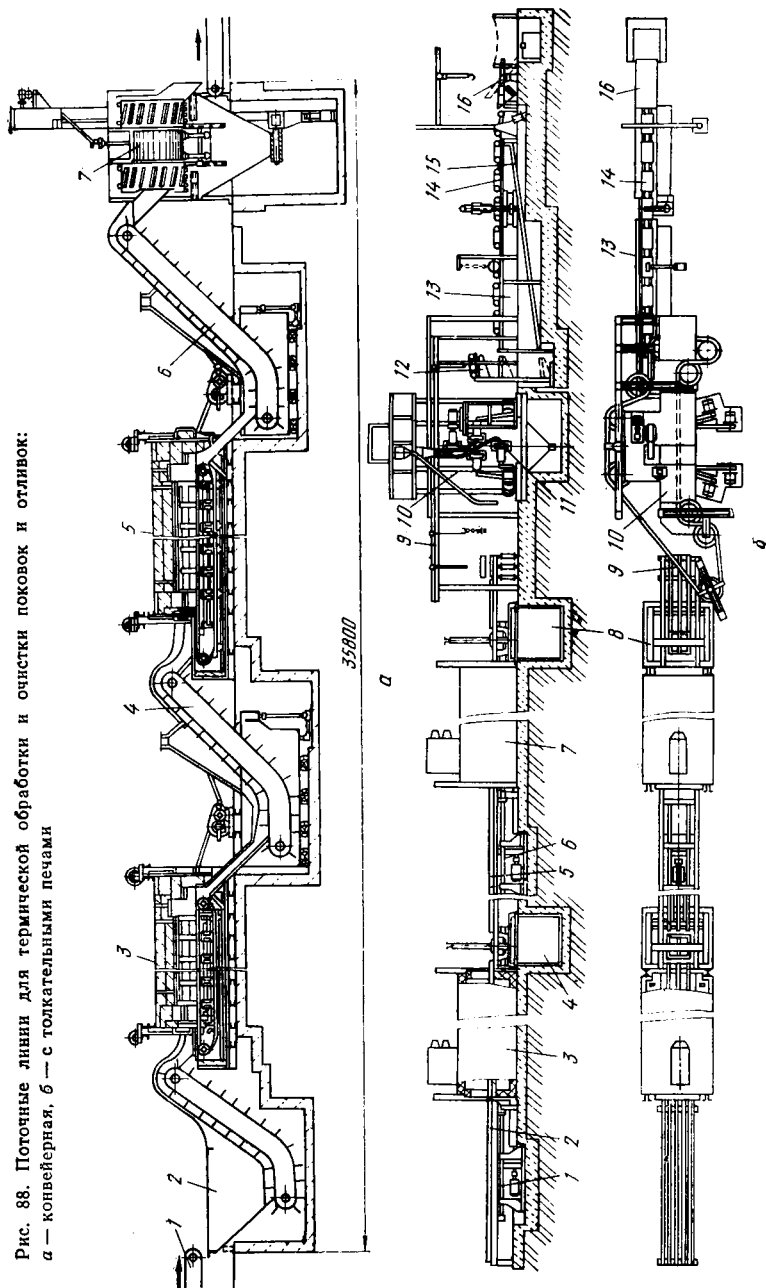
При массовом производстве мелких отливок для нагрева под закалку, нормализацию и отпуск в поточных линиях на низкие и средние температуры (до 850 °С) целесообразно применять конвейерные печи, а на высокие температуры (900—1000 °С) — толкательные.

Схема конвейерной автоматизированной линии для термической обработки (закалки с высоким отпуском) и очистки от окалины мелких отливок и поковок дана на рис. 88, а. Детали с транспортного конвейера 1 подают в загрузочный бункер 2 и транспортером доставляют на ленту конвейера закалочной печи 3. Затем они проходят закалку в конвейерном баке 4, отпуск в конвейерной печи 5, охлаждение после отпуска в водяном конвейерном баке 6 и очистку от окалины в дробеструйном барабане непрерывного действия 7. Производительность линии достигает 1,0—1,2 т/ч при общей длине 35 м, установочная мощность 400 кВт.

На рис. 88, б приведена схема автоматизированной поточной линии для термической обработки стальных отливок и поковок с движением деталей на поддонах с нагревом в толкательных печах.

Отливки или поковки на поддонах подаются электрической талью на стол 2 закалочной печи 3 и продвигаются толкателем 1 в печь. Из печи поддоны с деталями выдаются шаговым транспортером 5 на платформу закалочного

Рис. 88. Поточные линии для термической обработки и очистки поковок и отливок:
 а — конвейерная, б — с толкательными печами



бака 4. Закалочный бак имеет опускающую платформу, которая получает вертикальное движение от пневматического цилиндра. Сталкивание поддона с платформы закалочного бака и загрузка в отпускную печь 7 осуществляется толкателем 6.

После отпуска поковки охлаждаются в баке 8, затем зацепляются подвесным конвейером 9 и на нем очищаются от окалины в дробеметной проходной камере 10, снабженной четырьмя дробеметными турбинками 11. После очистки от окалины поковки перемещаются на тележках 14 транспортера 13. Крайняя левая тележка транспортера поднимается элеватором 12 на уровень подвески, с которой изделие укладывается на тележку, затем тележка снижается до уровня транспортера 13 и двигается по нему дальше. В конце транспортера крайняя правая тележка наклоняется, и поковки или отливки ссыпаются через лоток 16 в тару или на транспортер. Пустая тележка по направляющим 15 вновь подается под загрузку на элеватор 12. На транспортере 13 проводится наружный осмотр и контроль качества поволоков или отливок.

Термическая обработка деталей подшипников

Деталими подшипников качения, проходящими термическую обработку, являются наружные и внутренние кольца, шарики и ролики. Конструкции и размеры подшипников разнообразны, их наружный диаметр находится в пределах от 3 до 2700 мм (ГОСТ 3478—79). Основной маркой для изготовления деталей подшипников является сталь ШХ15. Для колец сечением выше 35 мм и роликов диаметром более 55 мм применяют сталь ШХ15СГ с повышенным содержанием марганца (1,4—1,7 %) и кремния (0,55—0,85 %), витые ролики готовят из стали ШХ10 (0,35 % С). Для карданных и крупногабаритных подшипников применяют цементуемые стали 15Г1 и 20Х2Н4А. При требовании коррозионной стойкости — стали типа 95Х18, 110ХГ8М.

Детали подшипников должны обладать высокой прочностью и твердостью (HRC 60—64), износостойкостью, контактной выносливостью и достаточной вязкостью. Снижают долговечность деталей подшипников неметаллические включения, карбидная неоднородность, карбидная сетка; микроструктура подшипниковой стали должна соответствовать ГОСТ 801—78.

С целью повышения однородности макроструктуры и уменьшения неметаллических включений стали для тяжелонагруженных подшипников подвергают электрошлаково-

му переплаву (в этом случае к обозначению марки стали в конце добавляется буква Ш).

Для колец исходным материалом служат трубы и прутки. Изготавливают кольца штамповкой и ковкой с раскаткой. Шарики и ролики диаметром до 30 мм штампуют в холодном состоянии из прутков, отожженных на зернистые карбиды, а с большим диаметром готовят поперечной прокаткой или ковкой.

Предварительная термическая обработка заготовок (перед механической обработкой) сталей типа ШХ15, ШХ15СГ заключается в отжиге на зернистый перлит с целью повышения обрабатываемости и подготовки структуры к последующей закалке. Режим отжига: нагрев до 800 °С, выдержка 1,5—3,0 ч, ускоренное охлаждение до 730 °С, медленное охлаждение до 600 °С со скоростью 20—30 °С/ч с целью образования зернистого перлита и дальнейшее охлаждение на воздухе. При наличии сетки цементита и крупных неоднородных глобулей карбидов применяют предварительную нормализацию с 900—920 °С. Твердость заготовок после отжига находится в пределах НВ 179—217. Окончательная термическая обработка заключается в закалке с 820—850 °С в масле (30—60 °С). Для повышения равномерности охлаждения кольца с диаметра 100 мм и выше при закалке приводятся во вращение или непрерывное качание. Закалку тонкостенных колец осуществляют в прессах.

После закалки проводят низкий отпуск при 150—170 °С с выдержкой 2—3 ч. Крупные шарики и ролики (диаметром более 50—80 мм) охлаждают в 10 %-ном водном растворе NaCl. Для стабилизации размеров и борьбы с остаточным аустенитом после закалки применяют отмывку от масла и обработку холодом до —40 °С.

Крупногабаритные подшипники (диаметром до 2 м) изготавливают из стали 20Х2Н4А. Их подвергают газовой цементации при 930—940 °С на глубину до 8—10 мм (при средней скорости наращивания слоя 0,05 мм/ч) и охлаждению на воздухе. Далее, проводят высокий отпуск при 580—600 °С с выдержкой 10—15 ч (с целью распада остаточного аустенита и коагуляции карбидов), закалку с 800 °С и низкий отпуск при 160 °С с выдержкой 8—12 ч. При этом содержание углерода в поверхностном слое мартенсита будет 0,8—1,0 %.

Детали карданных подшипников изготавливают из стали 15Г1. Их подвергают цементации при 940—950 °С на глубину 1,0—1,4 мм в течение 6—7 ч. Подстуживают до 850 °С, закачивают в масле и подвергают отпуску при 150 °С.

Детали подшипников коррозионностойких сталей типа 95Х18 подвергают предварительному подогреву до 850 °С, закалке с 1050 °С в масле и отпуску при 150—160 °С в течение 3 ч.

В случае работы подшипников при отрицательных температурах сразу после закалки применяют обработку холодом при —70 °С. При работе подшипников при температурах до 400 °С детали подвергают отпуску при 400—420 °С в течение 5 ч на твердость не менее HRC 55.

Кольца и ролики из сталей ШХ15, ШХ15СГ при термической обработке нагревают в конвейерных печах, чаще в электрических. Конвейерная поточная линия приведена на рис. 89. На конвейерную ленту закалочной печи 1 кольца подаются пульсирующим лотком из магазина-накопителя и автоматически укладываются по 5—6 в ряд; при больших диаметрах внутренние кольца подшипников размещаются в наружных. Мощность конвейерной печи 160 кВт; размеры пода 0,6×3,0 м. Закалку проводят в конвейерном масляном баке 2, затем после отмывки от масла в конвейерной моечной машине 4, детали поступают в конвейерную установку 5 для обработки холодом и проведения низкого отпуска в конвейерных печах 6 с принудительной циркуляцией нагретого воздуха от четырех центробежных вентиляторов типа СКО-8.55.4/3 (размер пода 0,8×5,5 м; мощность 55 кВт). Для охлаждения масла установлена маслоохладительная установка 3. Вместо конвейерных печей для нагрева под закалку применяют также печи с пульсирующим подом.

На рис. 90 изображен план термического участка цеха массового выпуска подшипников (1,5 млн. шт/год). Кольца подшипников на термическую обработку поступают со станков 1 токарного участка по транспортерам 2, расположенным сверху, в магазины-накопители 3. Далее автоматы 4 укладывают кольца на конвейерную ленту или пульсирующий под печей 5, после нагрева кольца охлаждаются в масляных конвейерных закалочных баках 6, проходят моечные машины 7 и после подсушки в вертикальных камерах 8 подаются в конвейерные установки 9 для обработки холодом (охлаждающая способность установки ~16 МДж/ч). Из холодильных установок кольца сбрасывают на конвейерную ленту воздушно-отпускных печей 10, пройдя которые кольца попадают в автомат 11 для клеймения и зачистки заусенец. По транспортерам 12 их подают в бункер-накопитель 13, а затем на шлифовальные станки 14.

Нагрев под закалку массивных роликов проводят в ка-

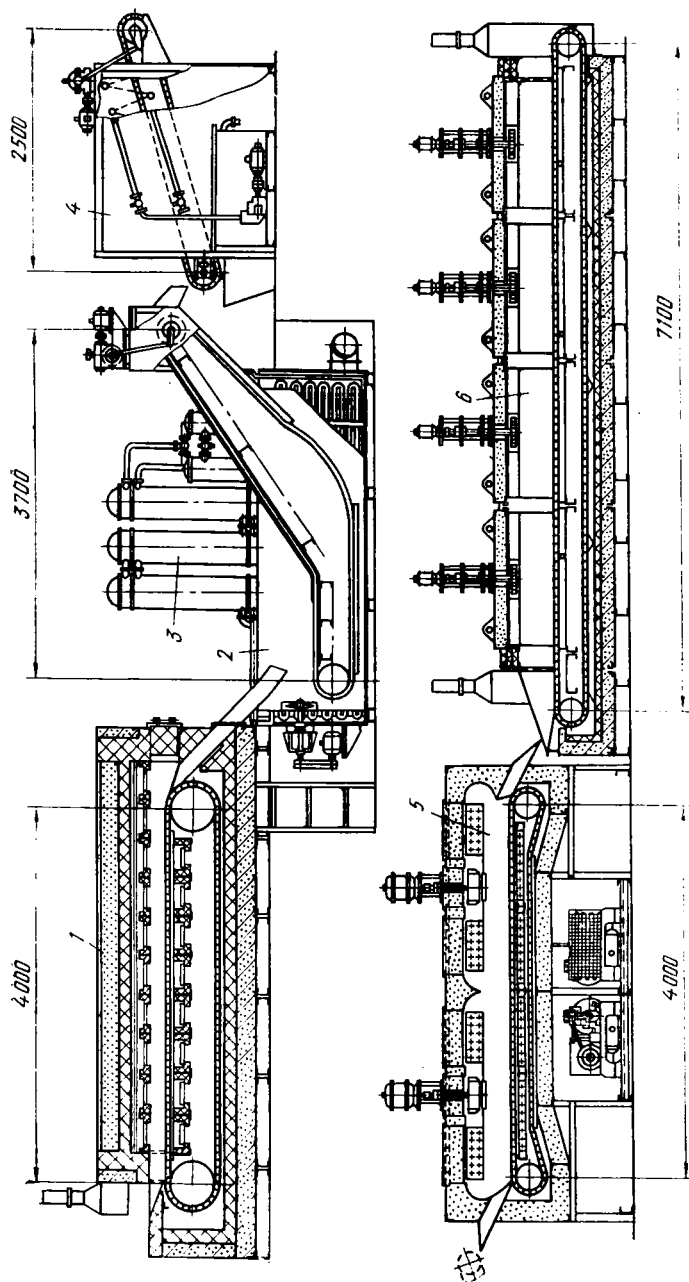


Рис. 89. Конвейерная поточная линия для термической обработки колец подшипников

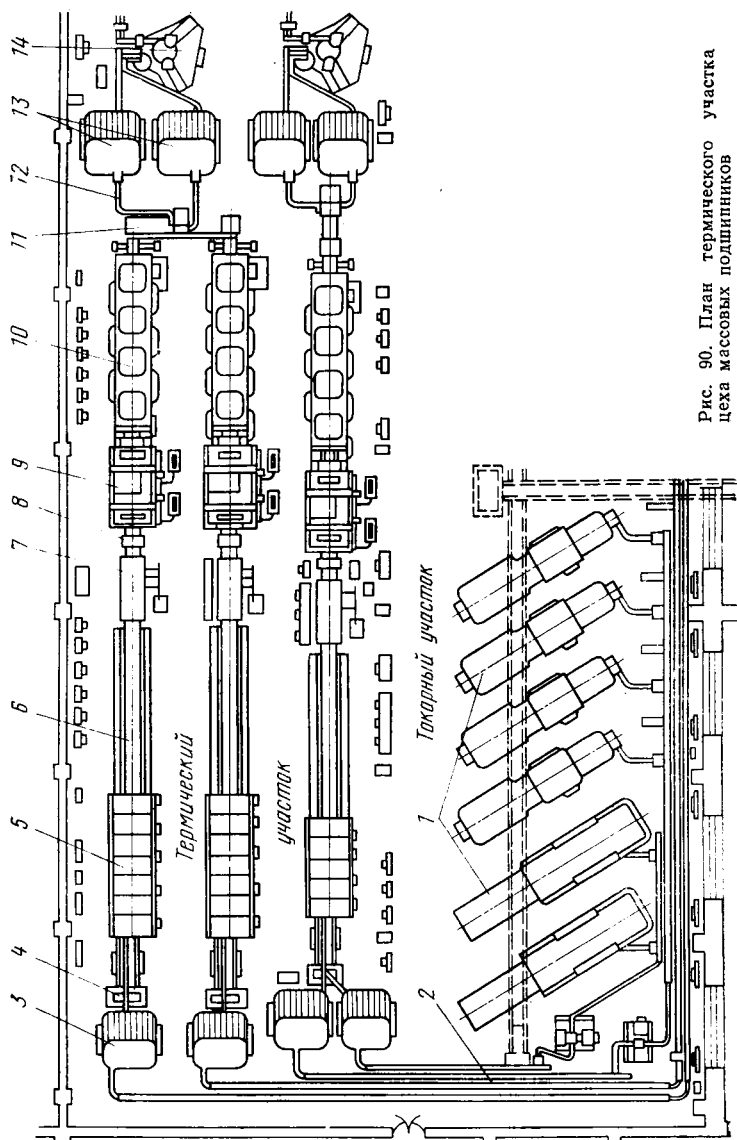


Рис. 90. План термического участка
 цеха массовых подшипников

русельной печи, а колец железнодорожных подшипников — в роликовых печах. Охлаждение в баке ведется с помощью автоматов, которые снимают кольца с рольганга, помещают их в бак, осуществляя или непрерывное покачивание или вращение колец. Способ вращения дает более равномерное и ускоренное охлаждение колец. Дальнейшая обработка совершается в конвейерных агрегатах.

На ГПЗ-8 для нагрева колец подшипников железнодорожных вагонов применяют поточную линию с нагревом ТВЧ. Схема установки приведена на рис. 91. Для получе-

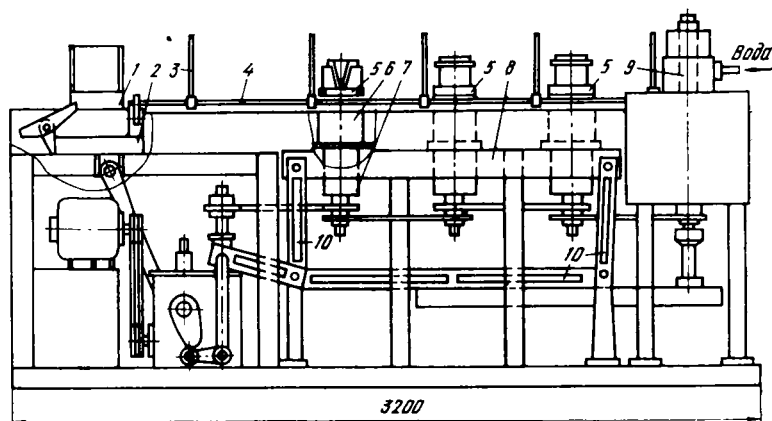


Рис. 91. Поточная линия для закалки колец подшипников железнодорожных вагонов с нагревом т. в. ч.

ния регламентированной прокаливаемости около 1 мм используют сталь ШХ-4 после закалки с 850°C . Линия состоит из последовательно расположенных позиций: загрузки 1, трех петлевых индукторов 5 и спрейерного охлаждения водой 9. Индукторы питаются от двух машинных генераторов мощностью по 100 кВт, частотой 2400 Гц. Время пребывания на каждой позиции, в том числе и в каждом индукторе — 1 мин. Производительность установки 60 шт/ч. Расход воды для охлаждения индукторов примерно $30 \text{ м}^3/\text{ч}$, а для спрейерного охлаждения при закалке $300 \text{ м}^3/\text{ч}$. Передвижение колец в линии осуществляется пальцами 3, укрепленными на продольной оси 4, которая поворачивает пальцы в горизонтальное положение перемещая кольца. Ось приводится в движение с помощью специального толкателя 2. Вертикальная подача колец в индукторы осуществляется подъемом столиков 6 с помощью рамы 8, приво-

димой в движение шарнирным механизмом 10. С целью повышения равномерности нагрева и охлаждения колец они приводятся во вращение с помощью оправок 7. За закалкой следует отпуск при 160—180 °С в конвейерной печи в течение 3 ч.

Шарики и мелкие ролики при термической обработке нагревают в ретортных печах. На рис. 92 приведена схема поточной линии, состоящей из закалочной ретортной печи 1, закалочного бака 2 со шнековым конвейером, шнековой барабанной моечной машины 3, отпускной низкотемпературной печи 4 с нагревом калориферами 5.

Для шаров диаметром 12—42 мм применяют непрерывно-последовательный нагрев т. в. ч. в многовитковых индукторах, расположенных наклонно или вертикально. Установка ГПЗ-1, предназначенная для нагрева шариков диаметром 11,5—12,7 мм из стали ШХ15, имеет многовитковый вертикально расположенный индуктор высотой около 710 мм, вмещающий 56 шариков (мощность генератора 100 кВт, частота 8000 Гц). Время нагрева до 920 °С составляет 9,3 с, время охлаждения 9 с, темп выдачи шариков 6 шт/с, производительность установки 200 кг/ч. Охлаждение при закалке проводится водой из щелевого спрейера, а движение шариков под спрейером проводится двумя вращающимися барабанами, из которых один имеет винтовую канавку. Индуктор внизу снабжен выдающим устройством в виде вращающейся звездочки. В индуктор шарики поступают вертикальным конвейером через наклонный лоток. После закалки шарики проходят отпуск в низкотемпературной отпускной печи.

Для цементации шариков и роликов из стали 60Г1 применяют поточные агрегаты типа СБЦА-6,24/3, в которых цементация проводится в барабанных печах с закалкой сразу после цементации и далее в барабанных моечных машинах и барабанных отпускных печах. Расположение оборудования осуществляется в непрерывной поточной линии.

Цементацию, нагрев под закалку и отпуск крупных подшипников из стали 20Х2Н4А проводят в шахтных печах, чаще с электронагревом.

Термическая обработка рессор и пружин

Рессоры и пружины должны иметь предел упругости σ_y не ниже 800 для углеродистых сталей и 1000 МПа для легированных при пластичности $\delta_5 \geq 5\%$, $\psi \geq 20—25\%$. Кроме того, пружины должны обладать высокой релаксационной стойкостью.

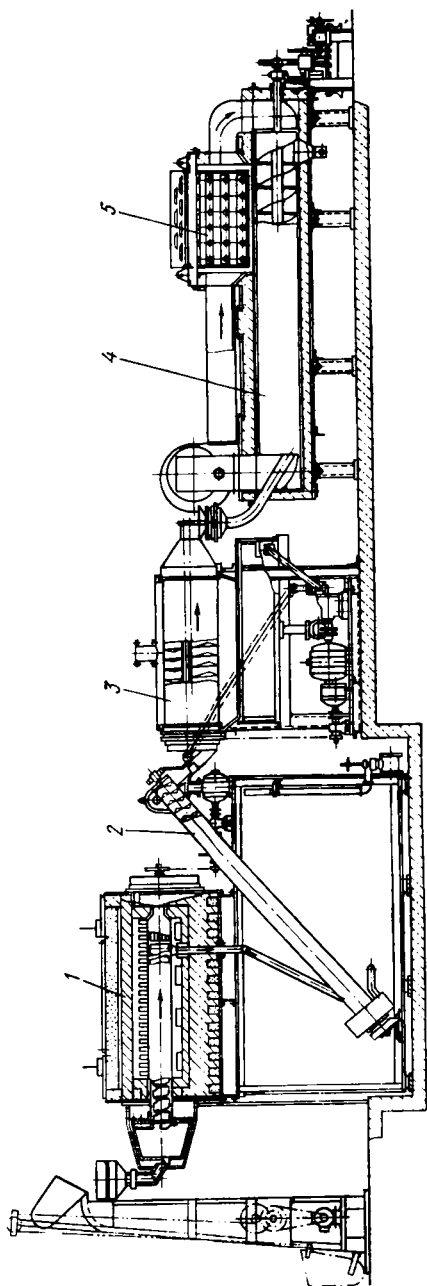


Рис. 92. Поточная линия с ретортными печами, закалочным баком и моечной машиной для термической обработки шариков и роликов

Пружины и рессоры изготавливают из углеродистой стали с 0,5—0,6 % С. Одним из основных элементов повышающих предел упругости стали является кремний. При содержании 1,5—2,0 % Si отношение $\sigma_y/\sigma_b=0,9-0,95$. Из кремнистых сталей для изготовления пружин и рессор применяют стали 55С2, 60С2, 70С3А. Однако кремнистые стали имеют невысокую прокаливаемость, склонны к обезуглероживанию, а при содержании кремния выше 2,5 % (сталь 70С3) — к графитизации. Поэтому в авто- и тракторостроении для изготовления указанных деталей используют хромомарганцевые стали типа 50ХГ. Для уменьшения чувствительности к росту зерна в них в количествах 0,15—0,25 % вводят ванадий (сталь 50ГФА). Перспективной сталью с повышенной прокаливаемостью является сталь типа 55ХГР с содержанием 0,001—0,003 % В.

Тяжелонагруженные рессоры и пружины изготавливают из кремнистых сталей с добавками 0,7—1,2 % Cr, 0,8—1,2 % W и 0,1—0,2 % V. В основном для изготовления указанных деталей используют стали 55С2, 60С2, 50ХГФА, 55ХГСФА, 60С2ХА, 70С2ХА, 60С2ХФА, 60С2ВА, 60С2Н2 (ГОСТ 1459—79), а для торсионов стали типа 45ХН2МФА.

Листы для рессор закаливают с 840—870 °С в масле и отпускают при 400—460 °С в зависимости от марки стали. Охлаждение рессорных листов после закалки проводят в гибозакалочных машинах, что значительно сокращает объем наладки при сборке рессор. При отпуске закаленной стали предел упругости сначала возрастает, а затем падает; максимальное его значение соответствует температурам отпуска 400—450 °С. Стали, склонные к отпускной хрупкости, после отпуска охлаждают в воде.

С целью повышения предела выносливости и релаксационной стойкости рессоры и пружины подвергают дробеструйному наклепу.

Термическая обработка пружин зависит от способа их изготовления. Пружины, изготавливаемые из холоднотянутой проволоки диаметром 3—6 мм, при холодной навивке подвергают отпуску при 230—330 °С (в зависимости от марки стали) с целью повышения предела упругости и вязкости. Пружины большого диаметра делают из горячекатаных прутков. Их закаливают с 840—860 °С в масле и отпускают при 400—500 °С в зависимости от марки стали и предъявляемых к ним требований. При указанных температурах отпуска получается наиболее высокий предел упругости стали. Во избежание поводки и изменения размеров ответственные пружины охлаждают при закалке на оправках.

При нагреве прутков под навивку с использованием прямого электронагрева пружины закаливают сразу после горячей навивки, строго контролируя температуру, с которой проводится охлаждение при закалке.

Свойства пружинно-рессорных сталей могут быть улучшены после изотермической закалки их на нижний бейнит при температурах 280—350 °С. При этом уменьшается уровень напряжений и склонность стали к хрупкому разрушению. Для повышения предела упругости и релаксационной стойкости этих сталей необходим дополнительный отпуск при 300—350 °С.

Повышения свойств рессорно-пружинных сталей можно также достигнуть применением ВТМО. На сталях 55С2, 50ХГА, 55ХГР при нагреве их на 900—950 °С и степени деформации 25—50 % значительно увеличиваются прочностные характеристики, особенно предел упругости и предел усталости, а также пластические свойства. Стали имеют большую устойчивость против отпуска. Оптимальные свойства получаются при отпуске около 300 °С. Использование ВТМО в промышленных условиях (на Челябинском и Чусовском металлургических заводах) на сталях 60С2 55ХГР после деформации 25—50 % при температурах конца прокатки 950—900 °С, скорости прокатки 5—7 м/с, быстрого охлаждения и отпуска при 300 °С дало $\sigma_y = 1600$ —1800 МПа, $\sigma_w \leq 600$ МПа при удлинении $\delta_{10} = 6,5$ %.

Процесс рекристаллизации аустенита при обработке давлением можно несколько задержать легированием сталей молибденом и ванадием.

С целью повышения эксплуатационной стойкости пружин и рессорных листов их подвергают дробеструйному наклепу для получения на поверхности сжимающих напряжений, которые могут достигать до 600 МПа. Для нагрева под закалку и отпуск рессорных листов и навитых пружин применяют конвейерные печи. Закалку листов проводят во вращающихся барабанных закалочных машинах, в которых происходит гибка листа в штампах и охлаждение в зажатом состоянии. Кроме термической обработки и наклепа листов в рессорных отделениях проводится сборка рессор и контроль их качества.

Контроль качества продукции сводится к наружному осмотру ее на поверхностные дефекты, а ответственные пружины подвергают магнитному контролю и определению твердости для пружин проходящих закалку.

Готовые пружины подвергают следующим видам контроля: 1) определению размеров после минимальной и мак-

симальной нагрузки; 2) кратковременным обжатиям (3—10 раз) до соприкосновения витков (для пружин, работающих на сжатие) и до максимальной нагрузки (для пружин, работающих на растяжение); 3) длительному нагружению (заневоливанию), выполняемому путем сжатия пружин при напряжениях на 10 % выше рабочих с выдержкой под нагрузкой в течение 10—30 ч в зависимости от конструкции пружины, ее массы и режима эксплуатации.

Полезно теплое заневоливание (термофиксация), при котором повышаются предел упругости и релаксационная стойкость пружины; 4) испытанию на выносливость (число циклов до разрушения); 5) копровым испытаниям на удар свободно падающего груза; 6) испытанию на кручение с определением крутящего момента и угла закручивания.

Наиболее типичные планировки оборудования приведены на рис. 93. В первом варианте (рис. 93, а) заготовки

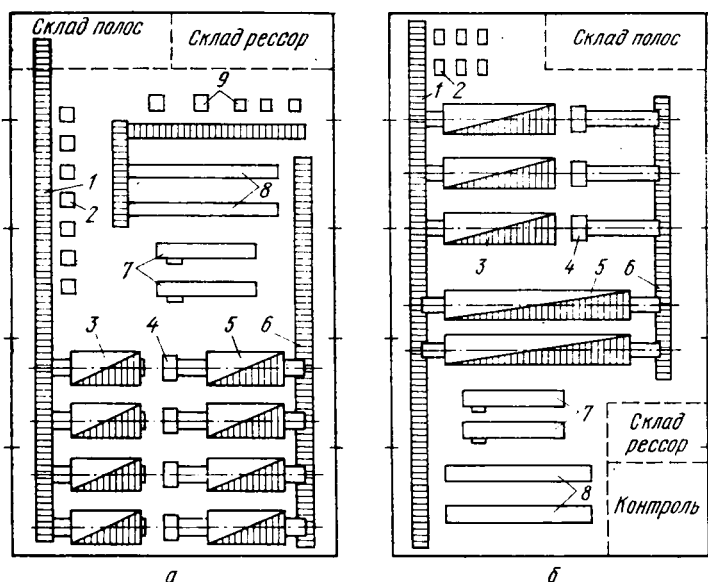


Рис. 93. Поточные линии для термической обработки рессорных листов (схема)

полос поступают со склада, после резки на заданный размер на станках 2 их пластинчатый конвейер 1 доставляют к конвейерным закалочным печам 3, где они проходят охлаждение после закалки в барабанных гибозакалочных

машинах 4 и отпуск в конвейерных печах 5. После отпуска рессорные листы попадают на конвейер 6, которым их доставляют к дробеструйным устройствам 7 и затем на сборочные конвейеры 8. Собранные рессоры проходят контроль на столах 9. После этого они поступают на склад. Во втором варианте (рис. 93, б) сохраняется та же последовательность потока, но закалочные и отпускные конвейерные печи располагают параллельно. Передача между ними осуществляется промежуточными конвейерами 6.

На ЗИЛ предложена принципиально новая технология обработки рессорных листов автомобиля ЗИЛ 133. Для гибки и термической обработки рессорных листов сечением 90×18 мм из стали 60С2 использован нагрев т. в. ч. Высокопрочное состояние листов получается в результате сильного измельчения зерна и создания в поверхностных слоях значительных сжимающих напряжений применением поверхностной закали. Гибка рессорных листов, перемещающихся на ребре, проводится с помощью вращающихся вертикальных роликов. Ролики устанавливают попарно по обеим сторонам листа. Задние ролики являются приводными, перемещающими рессорные листы вдоль всей линии, а ролики переднего ряда прижимают лист к роликам заднего ряда с помощью пружин.

Автоматическая линия (рис. 94) состоит из позиции загрузки, участка выдавливания центрирующей бобышки

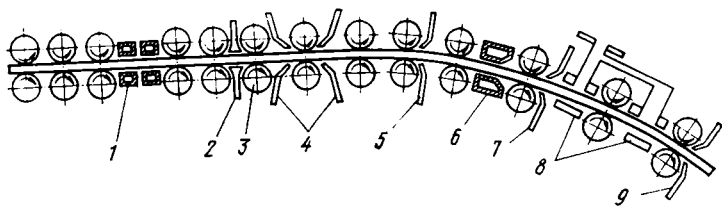


Рис. 94. Автоматическая линия для обработки рессорных листов с применением нагрева т. в. ч.

с местным нагревом т. в. ч. индуктором мощностью 30 кВт, участка гибки и термической обработки и стола выгрузки. Участок гибки и термической обработки имеет три группы индукторов 1, 6 и 8 мощностью соответственно 240, 210 и 100 кВт, частотой 2500 Гц. Индукторы 1 используют для нагрева под гибку и подготовку структуры для последующей закали, 6 — для поверхностной закали, а 8 — для электроотпуска.

Гибка рессоры по радиусу начинается с роликов 3, перед ними установлены вставки 2, в них упирается начальный прямой участок листа, который изгибается. Между рабочей поверхностью вставки и рессорным листом имеется зазор 0,3—0,5 мм, вследствие чего основная часть листа не соприкасается со вставкой. Конечный участок рессорного листа длиной 200 мм также изгибается с помощью вставки. Лист для гибки в индукторе 1 нагревается до 950—1000 °С, далее он охлаждается спреями 4, обеспечивающими закалку с самоотпуском до 250—280 °С с получением в поверхностном слое структуры отпущенного мартенсита. Перед поверхностной закалкой проводится дополнительное охлаждение спреями 5, при котором мартенсит образуется и в сердцевине листа. Непрерывно-последовательная поверхностная закалка листа осуществляется в одновитковом индукторе-спрее 6. Нагрев ведется до температуры поверхности листа 820 °С со скоростью 300 °С/с, что обеспечивает образование мелкодисперсного мартенсита в поверхностном слое глубиной 3—4 мм. Одновременно проходит отпуск сердцевины при кратковременном нагреве 650—700 °С с получением троостита отпуска (твердость HRC 38—40). После охлаждения в спрее 7 в специальном индукторе 8, состоящей из двух последовательно соединенных секций, что обеспечивает равномерную температуру по ширине листа (в пределах 20 °С) проводится электроотпуск. После отпуска рессорные листы подвергаются охлаждению водяным душем 9, затем подаются роликами на стол выгрузки и укладываются комплектами в специальную тару.

Производительность установки ~800 кг/ч при скорости движения листов ~18 мм/с. Размеры установки в плане (включая щиты управления) 12×4,4 м, высота 5,5 м, масса 30 т.

Внедрение данной автоматической линии позволило за счет упрочнения листов облегчить рессору, уменьшить расход проката.

Автоматическая поточная линия для изготовления и термической обработки вагонных пружин, изготавливаемых из горячекатаных прутков, состоит из двух потоков, укомплектованных одинаковым оборудованием — один поток для наружных пружин, другой — для внутренних. Принят следующий технологический процесс изготовления вагонных пружин: резка заготовки с предварительным подогревом; оттяжка концов заготовки с местным прямым электронагревом; навивка пружин после прямого электронагрева до

1100 °С; заковка с использованием тепла от нагрева под навивку и охлаждение в закалочной машине в зажатом состоянии на специальной оправке; отпуск пружин с нагревом до температуры 480—520 °С в электрической конвейерной печи. Далее идут операции обжатия пружин для предотвращения остаточной деформации, контроль пружин на наличие трещин, шлифовка торцов пружин, дробеструйный наклеп, окраска и сушка. Низкий отпуск (200—300 °С) пружин холодной навивки проводят в соляных ваннах.

Термическая обработка на ковкий чугун

Ковкий чугун нашел широкое применение для изготовления мелких деталей автомобильных, тракторных и сельскохозяйственных машин. Механические свойства чугуна зависят от его металлической основы, размеров и формы выделяющегося графита. Чем мельче графит, тем лучше механические свойства чугунов. В сером, не модифицированном чугуне, графит, кристаллизующийся из жидкого состояния, выделяется в виде грубых пластин, которые являются надрезами, снижающими свойства. Одним из способов получения мелкой, хлопьевидной, формы графита является получение ковкого чугуна, когда графит образуется из твердого состояния. Для этого выбирают белые, доэвтектические чугуны, которые способны графитизироваться при охлаждении и выдержках. Примерный состав чугуна: 2,2—3,0 % С; 0,7—1,0 % Si; 0,2—0,4 % Mn; <0,2 % Р и <0,1 % S. Ковкий чугун получается путем отжига в несколько стадий. Температура нагрева при отжиге принимается 950 °С при выдержке 10—12 ч, при этом графитизируется углерод эвтектики (первая стадия), далее следует замедленное охлаждение по 25—30 °С/ч (8—10 ч) до температур несколько ниже A_{r1} для графитизации углерода, выделяющегося при охлаждении (промежуточная стадия) и наконец выдержка около 20 ч под критической точкой A_{r1} (700—710 °С) для графитизации углерода, выделяющегося из эвтектоида — вторая стадия (рис. 95). В результате получается ковкий чугун с ферритной металлической основой и мелким графитом. При необходимости получения ковкого чугуна с перлитной основой исключается вторая стадия графитизации. В перлитном чугуне $\sigma_b = 600$ МПа, $\delta = 2—3$ %, в ферритном чугуне при $\sigma_b = 370$ МПа $\delta = 12$ %.

Повышение температуры нагрева выше 950 °С ускоряет процесс графитизации, но графит получается в виде грубых выделений, что снижает пластичность чугуна. В связи с значительным временем отжига на ковкий чугун стремятся к его сокращению. Хорошие результаты дает выдержка во время нагрева при температурах 400—450 °С, а для деталей простой формы — предварительная заковка. Ускорение графитизации объясняется образованием большого количества мелких графитных центров. При использовании предварительной заковки, отливки, очищенные от литников, нагревают

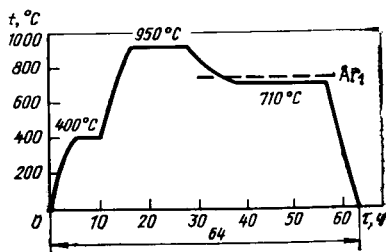


Рис. 95. График отжига на ковкий чугун с ферритной металлической основой

до 900 °С и охлаждают в масле. При толщине стенок отливок 15—20 мм первая стадия графитизации при 950 °С сокращается до 5—6 ч, а вторая стадия при 710 °С до 12—14 ч, охлаждение в промежуточной зоне ведут ускоренно, тогда общее время отжига составит 20—22 ч. Ускоряет процесс графитизации модифицирование чугуна в ковше алюминием (0,01 %), бором (0,003 %), висмутом (0,025 %) и легирование чугуна медью (до 1,5 %).

Советскими учеными разработан отжиг ковкого чугуна с получением дисперсного графита и сфероидизированного перлита металлической основы, что позволило поднять прочность до $\sigma_b = 600$ МПа при $\delta = 10$ %. Для получения такой структуры применяется белый чугун с повышенным содержанием марганца (2,4—2,7 % С, 1,1—1,2 % Si, 0,8—1,0 % Mn). После первой стадии графитизации при 950—970 °С, отливки подвергают ускоренному охлаждению до 600—650 °С (нормализации) и далее проводят отжиг на зернистый перлит при 700—710 °С в течение 14—16 ч. Можно несколько ускорить процесс сфероидизации перлита, повысив температуру второй стадии до 740 °С. Марганец частично можно заменить серой, которая оказывает более интенсивное влияние на образование зернистого перлита; при 0,3—0,4 % S содержание марганца можно уменьшить до 0,4—0,5 %.

Для отжига на ковкий чугун в массовом производстве чаще всего применяют толкательные печи с контролируемой атмосферой или туннельные печи с поездом из вагонеток, а при серийном производстве элеваторные камерные печи с подъемной платформой.

На рис. 96 приведен агрегат, который состоит из двух последовательно расположенных электрических толкательных печей. Первая печь 3 с полезной площадью пода $2,1 \times 10,2 = 21,4$ м² предназначена для первой и промежуточной стадии графитизации. В соответствии с технологией температура в начале печи установлена 1000 °С, а в конце печи снижена до 760 °С, для чего на одной пятой части длины печи в поду размещены трубы, охлаждаемые воздухом. Вторая печь 6 с площадью пода $2,1 \times 12,6 = 26,5$ м² предназначена для второй стадии графитизации. Температура в начале печи 760 °С, а в конце 700 °С. Печи соединены камерой 5, снабженной переталкивателем 4. Камера герметична, что позволяет проводить отжиг с передачей отливок из одной печи в другую в контролируемой атмосфере без упаковки. Время пребывания отливок в промежуточной камере составляет лишь 3—5 мин, необходимых для переталкивания поддонов из одной печи в другую.

Для создания герметичности при загрузке и разгрузке

агрегат снабжен форкамерами 2 и 7. Отливки перемещаются на поддонах 600×850 мм двумя параллельными рядами. Всего в агрегате находится 74 поддона. Продолжительность отжига 37 ч, период толкания 1 ч, производительность агрегата 15 т/сут, удельная производительность 8—10 кг/(ч·м²) площади пода. Общая мощность агрегата 400 кВт. Первая печь имеет четыре тепловые зоны: первые две зоны по 135 кВт, третья—50 кВт и четвертая зона—охладительная, в ней нагревательные элементы 9 включаются при разогреве печи. Вторая печь имеет две тепловые зоны по 40 кВт.

Работа агрегата полностью автоматизирована. Движение толкателей, вытаскивателей и подъем заслонок совершаются гидравлическими цилиндрами двойного действия. Последовательность работы гидравлических цилиндров достигается системой автоматической блокировки и концевых выключателей. Порядок работы агрегата следующий: поддоны с отливками загружаются в форкамеру кареткой, приводимой в движение гидравлическим цилиндром. Проталкивание поддонов в первой печи проводится гидравлическим толкателем 1, а выдача поддонов из первой печи, их движение в промежуточной камере и во второй печи осуществляется реечным переталкивателем 4. Выдача поддонов из второй печи в разгрузочную форкамеру совершается гидравлическим вытаскивателем 8, а из форкамеры детали выдаются с по-

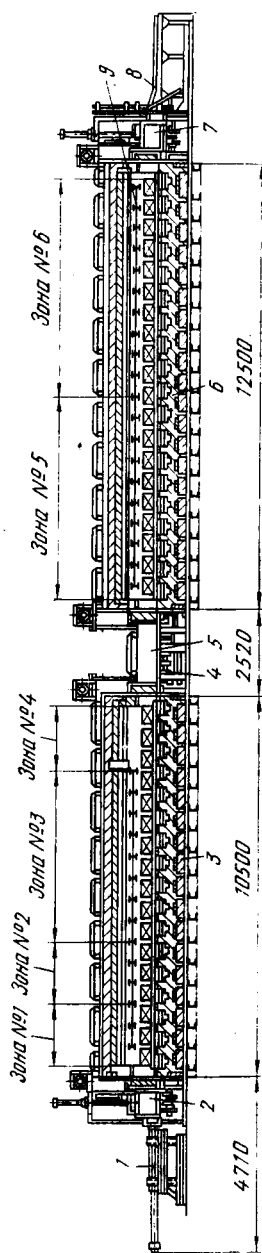


Рис. 96. Агрегат для отжига на ковкий чугун

мощью специальной каретки, которая аналогична загрузочной.

На рис. 97, а изображен оригинальный поточный толкательный агрегат для отжига на ковкий чугун с элеваторной загрузкой и разгрузкой отливок снизу. Отливки укладываются в муфели размером $980 \times 580 \times 500$ мм, устанавливаемые на поддоны из окалиностойких сталей. На каждый поддон загружается до 500 кг отливок. Поддоны по печи продвигаются в два ряда гидравлическими толкателями 1. Загрузка ящиков в печь проводится с помощью реечного шагового транспортера 15 при опускании элеваторной платформы 2 на уровень нижних направляющих 14. Выгрузка готовых деталей из печи проводится таким же образом опускающейся элеваторной платформой 8. Муфели снимаются с платформы 8 реечным шаговым транспортером 9, приводимым в возвратно-поступательное движение гидравлическим цилиндром 10. После охлаждения муфели попадают в кантователь 11, поворачиваются на 180° , и детали сыпаются в яму 12, из которой выдаются конвейером к месту контроля, а пустые муфели вновь переворачиваются кантователем и шаговым транспортером 13 доставляются к загрузочному торцу печи. Шаговый транспортер 15 имеет два вида собачек, один — для транспортирования пустых муфелей влево и другой — для транспортирования загруженных муфелей вправо, на платформу 2.

Печь отапливается природным газом, который сжигается в U-образных горизонтальных трубах 3, расположенных в два ряда на поду печи и над муфелями. Печь вмещает всего $32 \times 2 = 64$ муфеля (садка 32 т). Печь состоит из трех камер: камеры нагрева 4 (первой стадии графитизации), камеры подстуживания 5, в которой вместо нагревательных труб установлены охладительные трубы 6, и камеры 7 замедленного охлаждения (для второй стадии графитизации). Размеры полезной площади пода печи $19 \times 2,3$ м. При продолжительности отжига 36 ч максимальная производительность агрегата составляет 0,9—1,0 т/ч. Подъем и опускание платформ, передвижение деталей в печи, возвратно-поступательное движение транспортеров и поворот кантователя проводятся гидравлическими цилиндрами (рис. 97, б). Продвижение поддонов с деталями по печи осуществляется двумя гидравлическими толкателями 1, опускание и подъем элеваторных платформ — гидравлическими цилиндрами 2 через блоки 4; платформа уравнивается противовесами 3, подвешенными через два блока. Обратная транспортировка поддонов с низа

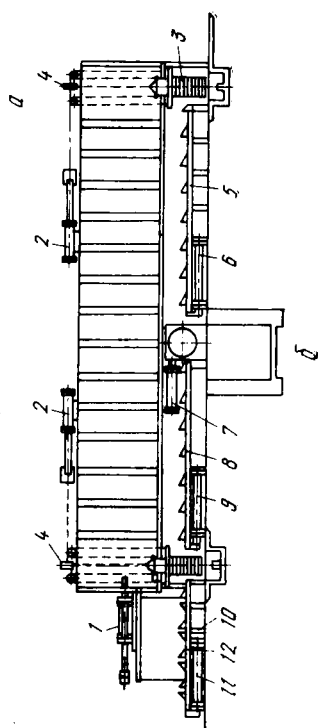
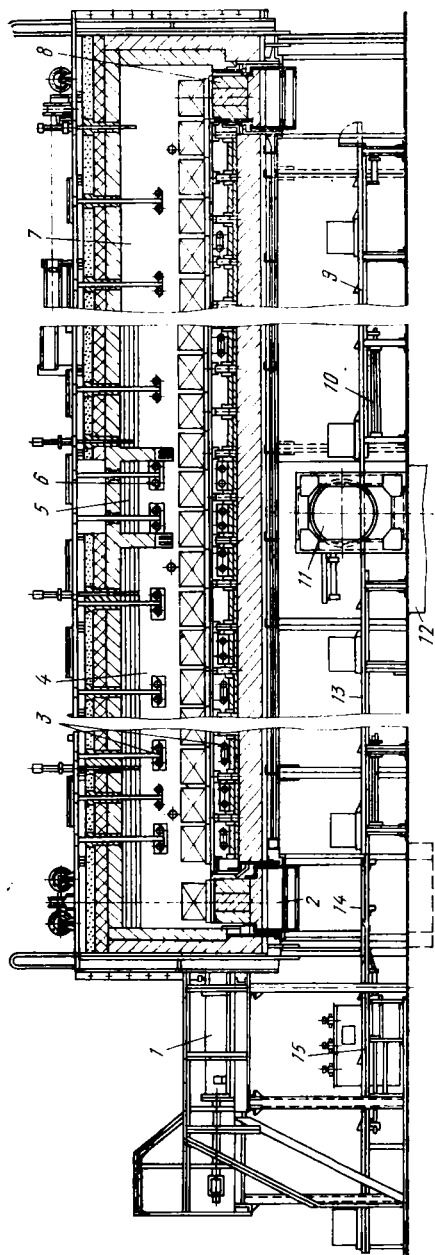


Рис. 97. Агрегат для отжига на ковкий чугун с электродвигательной загрузкой и выгрузкой деталей (а) и схема приводных механизмов (б)

печи совершается шаговыми реечными транспортерами 5, 8 и 10 с помощью гидравлических цилиндров 6, 9 и 11. Транспортер 10 имеет две пары реек с различным расположением собачек 12, благодаря чему поддоны могут двигаться в двух направлениях. Кантователь вращается через рейку от гидравлического цилиндра 7.

В США имеются печи аналогичной конструкции на пять параллельных рядов поддонов размерами $0,5 \times 0,4$ м с производительностью до 1,2—1,5 т/ч.

Планировка печей не вызывает сложности, они располагаются параллельными рядами. При использовании туннельных печей необходимо обеспечить путь для возврата вагонеток и окончательного охлаждения муфелей с деталями на воздухе.

Глава VI

ТЕРМИЧЕСКИЕ ЦЕХИ И ОТДЕЛЕНИЯ НА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ЗАВОДАХ

Инструменты служат для придания изделиям требуемой формы и для измерения их размеров. Придание формы может быть осуществлено снятием стружки (режущий инструмент — резцы, фрезы, сверла, метчики и др.), пластической деформацией (штамповый, прессовый, волочильный инструмент, прокатные валки). Для измерения размеров применяется калиброво-измерительный инструмент (пробки, кольца, скобы и др.).

Выбор стали для инструмента определяется его поведением при практическом использовании, чаще всего числом обработанных деталей. В качестве критериев при выборе стали для инструмента служат: 1) высокая твердость и сохранение ее при повышенных температурах (тепло- и красностойкость); 2) сопротивление истиранию; 3) малая чувствительность к перегреву и способность стали к закалке, определяемая по виду излома закаленных образцов.

Химический состав инструментальных сталей характеризуется повышенным содержанием углерода (выше 0,7 %) и наличием карбидообразующих элементов: хрома, вольфрама, молибдена, ванадия. Хром, вольфрам, молибден, входя в раствор цементита, затрудняют диссоциацию карбида, а следовательно, замедляют процесс его выделения из мартенсита и процессы коагуляции, способствуя сохранению твердости до более высоких температур отпуска.

При больших содержаниях хром и вольфрам образуют дисперсные карбиды, вызывая при повышенных температурах отпуска даже возрастание твердости (явление вторичной твердости). На рис. 98 приведены кривые изменения твердости при отпуске сталей с различным содержанием хрома. Вторичная твердость объясняется выделением специальных карбидов критической степени дисперсности и распадом остаточного аустенита при охлаждении после отпуска. Максимальный эффект вторичной твердости *HRC* в хромистых сталях достигается при температурах около 500 °С, а в вольфрамовых и молибденовых при 560—580 °С. Преимущество легирования вольфрамом по сравнению с хромом заключается также и в более высокой способности вольфрамового карбида противостоять истиранию.

В присутствии хрома и вольфрама весьма эффективно легирование молибденом и ванадием: молибден повышает устойчивость карбида против отпуска, а ванадий образует дисперсные карбиды VC . Из некарбидообразующих элементов благоприятно влияет кремний, затрудняющий диффузию углерода сквозь феррит и повышающий предел упругости стали. Особую роль играет кобальт, способствующий дисперсионному выделению карбидов.

Снижают содержание углерода в стали и вводят в нее никель (или его заменитель марганец) только в тех случаях, когда требуется повышение вязкости инструмента, подвергающегося в работе ударам (молотовые штампы),

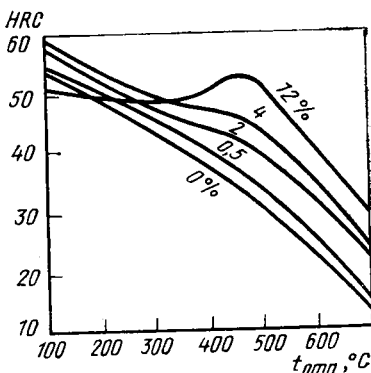


Рис. 98. Изменение твердости при отпуске закаленных изделий из среднеуглеродистых сталей с разным содержанием хрома (цифры на кривых указывают содержание хрома)

1. Термическая обработка режущего инструмента

При резании часть работы переходит в тепло, которое разогревает режущую кромку инструмента. Поэтому для режущего инструмента важна не только высокая твердость при комнатных температурах, но и сохранение твердости при повышенных температурах (тепло- и красностой-

кость). Повышение температуры режущей кромки зависит от твердости обрабатываемого материала и параметров режима резания (сечение снимаемой стружки и скорости резания). Эти условия определяют выбор сталей для режущего инструмента. Твердость обрабатываемого материала снижается отжигом или высоким отпуском, поэтому основными моментами, определяющими выбор сплава, являются режимы резания.

Необходимая минимальная твердость инструмента при резании по металлу должна быть не менее HRC 60—62. При нормальных подачах и невысоких скоростях резания (до 10—20 м/мин) нагрев режущей кромки не превышает 200—300 °С, что позволяет применять для инструмента углеродистые и низколегированные стали, которые до этих температур сохраняют высокую твердость. При высоких твердостях обрабатываемого материала и повышенных скоростях резания (30—50 м/мин) режущая кромка нагревается до 500—600 °С, что требует применения высоколегированных сталей типа быстрорежущих (содержание карбидов до 30 %). При температуре нагрева режущей кромки до температур выше 600—650 °С повышенную твердость сохраняют лишь твердые сплавы (содержание карбидов до 80—90 %).

Характеристики легированных сталей, рекомендуемых ГОСТ 5950—73 для режущего инструмента, и режимы их термической обработки приведены в табл. 5.

Режущий инструмент для обработки черных металлов изготавливают из углеродистых сталей марок от У10 до У12. Сталь У8 является типовой при резании по дереву и мягким металлам (меди). Сталь У13 применяют при резании твердого материала с небольшими скоростями и при чистовой обработке.

Низколегированные стали 9ХФ, 11ХФ, 13Х по свойствам и глубине закалки мало отличаются от углеродистых сталей, в них введено 0,15—0,30 % V для измельчения зерна и 0,4—0,7 % Cr для облегчения закалки, что особенно важно для сталей с 1,1—1,3 % C из-за большого количества в них избыточного цементита. При содержании хрома до 1,65 % (стали 9Х1, Х, 12Х1) наряду с увеличением их прокаливаемости несколько возрастает устойчивость против отпуска. При добавке к хромистой стали кремния (сталь 9ХС) еще в большей степени повышается устойчивость стали против отпуска. Это объясняется затруднением диффузии углерода в кремнистом феррите. Кроме того,

Т а б л и ц а 5. Химический состав и окончательная термическая обработка легированных сталей для режущего инструмента (ГОСТ 5950—73)

Марка стали	Содержание основных элементов, %						Температура закалки, °C	Твердость HRC после закалки	Температура отпуска, °C	Твердость HRC после отпуска
	C	Si	Mn	Cr	W	V				
9XΦ	0,80—0,90	0,15—0,35	0,30—0,6	0,40—0,70	—	0,15—0,30	850—880	60—64	200—240	58—60
11XΦ	1,05—1,15	0,15—0,35	0,40—0,7	0,40—0,70	—	0,15—0,30	840—860	62—64	150—170	62—63
13X	1,25—1,40	0,15—0,35	0,30—0,6	0,40—0,70	—	—	780—810	64—66	150—170	62—64
XB4	1,25—1,45	0,15—0,35	0,15—0,4	0,40—0,70	3,5—4,3	0,15—0,30	800—820	65—67	140—170	62—65
B2Φ	1,05—1,20	0,15—0,35	0,20—0,5	0,20—0,40	1,6—2,0	0,20—0,30	820—850	62—65	150—180	62—64
9X1	0,80—0,95	0,25—0,45	0,15—0,4	1,40—1,70	—	—	820—850	61—63	160—180	59—61
12X1	1,15—1,25	0,15—0,35	0,30—0,6	1,30—1,65	—	—	850—870	62—64	160—180	61—63
X	0,95—1,10	0,15—0,35	0,15—0,4	1,30—1,65	—	—	840—860	62—63	130—150	62—63
9XC	0,85—0,95	1,20—1,60	0,30—0,6	0,95—1,25	—	—	840—860	62—63	160—180	58—62
XTC	0,95—1,05	0,40—0,70	0,85—1,3	1,30—1,65	—	—	820—860	62—64	160—180	60—62
9XBГ	0,85—0,95	0,15—0,35	0,90—1,2	0,50—0,80	0,5—0,8	—	820—840	64—66	160—180	60—62
XBГ	0,90—1,05	0,15—0,35	0,80—1,1	0,90—1,20	1,2—1,6	—	830—850	62—63	150—200	60—62
XBС1	0,95—1,05	0,65—1,00	0,60—0,9	0,60—1,1	0,5—0,8	0,05—0,15	840—860	62—63	140—160	60—62
9X5BΦ	0,85—1,00	0,15—0,40	0,15—0,4	4,5—5,5	0,8—1,2	0,15—0,30	950—1000	59—61	160—180	58—60
8X6HBT	0,80—0,90	0,15—0,35	0,15—0,4	5,0—6,0	0,9—1,3	0,30—0,50	950—1000	58—60	160—180	56—58
8X4B3M3Φ2	0,75—0,85	0,15—0,35	0,15—0,4	3,5—4,5	2,5—3,2	1,9—2,5	1150—1170	60—62	160—180	58—60

Примечание. Стали 13X, XB4, B2Φ закаливают в воде, а остальные в масле.

повышается предел упругости, что важно для длинного инструмента. Инструмент, изготавливаемый из стали 9ХС, может работать при несколько повышенных скоростях резания. На рис. 99 показано изменение твердости при отпуске сталей У10, Х и 9ХС.

Вольфрам в количествах 2—4 %, вводимый в сталь, при закалке с температур 820—830 °С не переходит в раствор аустенита, а находится в цементите (стали В2Ф и ХВ4) и поэтому не повышает прокаливаемости и теплостойкости. Действие вольфрама сводится к образованию мелких заэвтектоидных карбидов, повышающих износостойкость стали. Небольшая добавка хрома облегчает закалку стали при наличии большого количества избыточных карбидов. Стали ХВГ, 9ХВГ содержат наряду с сильными карбидообразующими элементами также

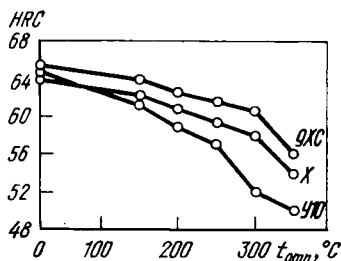


Рис. 99. Изменение твердости при отпуске закаленных сталей У10, Х и 9ХС

марганец, роль которого сводится к увеличению количества остаточного аустенита, наличием которого можно компенсировать увеличение объема от образования при закалке мартенсита. Поэтому данные стали применяются для режущего инструмента, они не должны деформироваться при закалке (длинный фасонный инструмент, протяжки и калиброво-режущий инструмент). Сталь Х используется для изготовления токарных, строгальных и долбежных резцов; сталь 9ХС — для фасонного инструмента (сверл, разверток, фрез, метчиков). Из стали 13ХФ изготавливают острый хирургический инструмент, а сталь ХВ4 для чистового резания твердых материалов с небольшой скоростью. Сталь 7ХФ — для деревообрабатывающего инструмента, а В2Ф — для ленточных пил по металлу и ножовочных полотен.

Типовая термическая обработка углеродистых и низколегированных сталей для режущего инструмента — это закалка с низким отпуском. Температура закалки углеродистых заэвтектоидных сталей принимается равной $A_{c1} + (30—60\text{ }^\circ\text{C})$ с тем, чтобы часть карбидов оставить в структуре закаленной стали. В связи с более трудным переходом в раствор легированного цементита температура закалки для низколегированных сталей повышается. При повышении температуры закалки

заэвтектоидных сталей происходит дальнейшее растворение карбидов, сильно возрастает количество остаточного аустенита, что снижает твердость закаленной стали. Кроме того, происходит рост зерна аустенита, а при закалке — возникновение значительных напряжений, часто приводящих к трещинообразованию. Оставшаяся нерастворенной часть карбидов повышает сопротивление истиранию, а благодаря уменьшению содержания углерода в мартенсите увеличивается ее вязкость. При закалке в воде, для снижения напряжений следует рекомендовать прерывистую закалку с переносом в масло для окончательного охлаждения.

В случае появления при закалке в воде мягких пятен следует добавить в воду 5 % поваренной соли. Большое значение для работы инструмента, изготовленного из углеродистых и легированных сталей, оказывает глубина закалки. Сталь для метчиков и разверток должна иметь малую прокаливаемость, чтобы получить высокую твердость поверхности при вязкой сердцевине. Сталь для сверл выбирается глубокопрокаливающаяся для получения одинаковой твердости по сечению всей рабочей части сверл, иначе при переточке сверла обнаруживается незакаленная часть.

Ориентировочная скорость нагрева под закалку определяется из расчета 20 с (для нагрева в камерных печах) или 10—12 с (при нагреве в соляных ваннах) на 1 мм толщины или диаметра инструмента.

Отпуск закаленных режущих инструментов из углеродистых и низколегированных сталей лучше проводить при более низких температурах (180 °C), увеличивая время выдержки; это повышает пластичность стали, не снижая ее твердости.

Карбиды в структуре закаленной стали должны иметь зернистую форму. Поэтому в качестве предварительной обработки применяется отжиг на зернистый перлит. Присутствие в структуре заэвтектоидных сталей карбидов в виде сетки вызывает резкое снижение вязкости закаленной стали и приводит к скалыванию режущих кромок инструмента. При наличии сетки цементита проводится до отжига процесс нормализации с нагревом выше точки A_{cm} и охлаждением на воздухе. Ускоренное охлаждение не дает возможности выделиться избыточной фазе (цементиту). Отжиг проводится с нагревом при $A_{c1} + (40—60\text{ °C})$ с медленным охлаждением через критический интервал (50—100 °C/ч до температуры 600 °C). Для стали X(ШХ15) мож-

но провести после аустенитизации изотермический отжиг с выдержкой 4—6 ч в случае охлаждения при 730 °С.

При вместимости печи 10—20 т средняя скорость нагрева может быть принята равной 100 °С/ч. Время выдержки зависит от конструкции печи — выравнивания температуры по массе металла — для 10—20 т оно составляет 4—8 ч.

В ряде случаев металлообрабатывающий инструмент из сталей ШХ15, ХВГ, У10 и др. подвергается лазерному упрочнению, при этом его стойкость повышается в 2 раза и более.

Типовые быстрорежущие стали с вольфрамом применяют в виде трех марок: P18, P12 и P9 (табл. 6). Повышение содержания вольфрама выше 20 % нецелесообразно вследствие увеличения количества избыточных эвтектических карбидов и резкого снижения ковкости и обрабатываемости сталей при отсутствии существенного повышения красностойкости. Быстрорежущая сталь P18 содержит 17,5—18,5 % W, 1,0—1,4 % V и 3,8—4,4 % Cr. Ванадий, увеличивая дисперсность и устойчивость карбидов, повышает красностойкость и режущую способность инструмента, поэтому быстрорежущие стали без ванадия не применяются. При повышении содержания ванадия можно снизить содержание вольфрама. Приблизительно можно считать, что 1 % V может заменить до 8 % W (сталь P9). Уменьшение содержания вольфрама ниже 9 % понижает красностойкость, так как не обеспечивает полного насыщения аустенита вольфрамом. Согласно тройной диаграмме Fe—W—C, максимальная растворимость вольфрама в аустените при 0,7—0,8 % C достигает 10 %.

Основная роль хрома в быстрорежущих сталях заключается в повышении устойчивости переохлажденного аустенита, что в малых сечениях позволяет закалывать быстрорежущую сталь на воздухе. Повышение содержания хрома выше 4,5 % нежелательно, так как это увеличивает карбидную неоднородность. Хром в количестве до 3,6—4,4 % находится в каждой быстрорежущей стали.

Содержание углерода должно быть таким, чтобы могло связать в карбиды вольфрам и ванадий (1 % ванадия требует около 0,15 % углерода). Для стали P18 содержание углерода в среднем составит $0,55 + 0,15 \cdot 1,2 \approx 0,73$ %, а для стали P9 — $0,55 + 0,15 \cdot 2,4 \approx 0,9$ %.

Из других элементов красностойкость и режущие свойства повышает кобальт (5—15 %). Вольфрамовые стали с кобальтом имеют бóльший эффект дисперсионного твер-

Таблица 6. Химический состав и режим окончательной термической обработки быстрорежущей стали (ГОСТ 19265-73)

Марка стали	Содержание основных элементов, %					Температура нагрева, °С		Твердость после отпус-ка HRC	Красно-стойкость, °С (при HRC58)
	C	Cr	W	V	Mo	Co	закалка	отпуск	
P18	0,70—0,80	3,8—4,4	17,0—18,5	1,0—1,4	<1,0	—	1270—1290	550—570	62—65
P12	0,80—0,90	3,1—3,6	12,0—13,0	1,5—1,9	<1,0	—	1240—1260	550—570	62—65
P9	0,85—0,95	3,8—4,4	8,5—10,0	2,0—2,6	<1,0	—	1220—1240	550—570	62—64
P6M5	0,80—0,88	3,8—4,4	5,5—6,5	1,7—2,1	5,0—5,5	—	1210—1230	540—560	63—65
P6M3	0,85—0,95	3,0—3,5	5,5—6,5	2,0—2,5	3,0—3,6	—	1200—1230	540—560	62—64
P18Ф2	0,85—0,95	3,8—4,4	17,0—18,0	1,8—2,4	—	—	1270—1290	560—580	63—66
P14Ф4	1,20—1,30	4,0—4,6	13,0—14,5	3,4—4,1	—	—	1240—1260	560—580	63—66
P12Ф3*	0,95—1,05	3,8—4,3	12,0—13,0	2,5—3,0	0,5—1,0	—	1240—1260	550—570	62—65
P9Ф5	1,40—1,50	3,8—4,2	9,0—10,5	4,3—5,1	<1,0	—	1230—1250	560—580	63—65
P6M5Ф3*	0,96—1,05	3,8—4,3	5,7—6,7	2,2—2,6	5,5—6,0	—	1210—1230	540—560	63—65
P9K10	0,90—1,00	3,8—4,3	9,0—10,5	2,0—2,6	<1,0	9,0—10,5	1220—1240	560—580	640
P9K5	0,90—1,00	3,8—4,4	9,0—10,5	2,0—2,6	<1,0	5,0—6,0	1220—1240	560—580	630
P18K5Ф2	0,85—0,95	3,8—4,4	17,0—18,5	1,8—2,4	<1,0	5,0—6,0	1270—1290	560—580	640
P10K5Ф5	1,45—1,55	4,0—4,6	10,0—11,5	4,3—5,1	<1,0	5,0—6,0	1230—1250	560—580	640
P9M4K8	1,00—1,10	3,0—3,6	8,5—9,6	2,1—2,5	3,8—4,3	7,5—8,5	1210—1240	560—570	630
P6M5K5	0,80—0,88	3,8—4,3	6,0—7,0	1,7—2,2	4,8—5,8	4,8—5,3	1210—1240	540—560	630

Примечание. Марки сталей со звездочкой не входят в ГОСТ 19265-73.

дения. При добавке кобальта увеличивается устойчивость мартенсита против отпуска, замедляется коагуляция выделившихся карбидных частиц, происходит более полное насыщение аустенита вольфрамом (молибденом), возможно также выделение интерметаллидов $(Co, Fe)_7(W, Mo)_6$. При этом повышается твердость и красностойкость до $640^{\circ}C$, но понижается вязкость. Однако кобальт является дорогим и дефицитным элементом.

В связи с дефицитностью вольфрама его частично заменяют молибденом. Молибден имеет ту же кристаллическую решетку, что и вольфрам, очень близкие параметры и то же атомное строение. Равноценные свойства быстрорежущие стали получают при замене вольфрама молибденом в соотношении $Mo : W = 1 : 1,5$. Вольфраммолибденовые стали при той же красностойкости, что и вольфрамовые стали (P18 и P12) отличаются большей однородностью в распределении карбидов, повышенными характеристиками прочности, вязкости и пластичности в горячем состоянии. В США и СССР широкое распространение получили вольфраммолибденовые стали типа P6M5 и P6M3. Улучшение стойкости инструмента из вольфрамовых и вольфраммолибденовых сталей можно получить повышением содержания ванадия с одновременным увеличением содержания углерода, а также введением 5—10 % кобальта (табл. 6).

Стали с кобальтом и повышенным содержанием ванадия имеют большую твердость, теплостойкость, теплопроводность, но меньшую вязкость, пластичность и высокую стоимость. Их применение целесообразно в случае обработки резанием твердых конструкционных материалов ($HV \geq 300$) и малотеплопроводных аустенитных сталей и сплавов и при резании с высокими скоростями.

Из высокотеплоустойчивых сталей наиболее экономичной является сталь P6M5Ф3 с содержанием около 1% С. Она дает повышение стойкости инструмента в 1,5—2 раза большее, чем вольфрамовые стали (P18, P12). Сталь P18, благодаря значительной карбидной неоднородности, малой вязкости и пластичности рационально применять для шлифуемого инструмента небольших размеров (диаметром 15—50 мм). Для большинства фасонных инструментов (фрез, разверток, сверл, протяжек) вместо стали P18 можно использовать сталь P12 или P6M5.

Быстрорежущие стали относятся к ледебуритному классу и имеют в литом состоянии эвтектику скелетообразного вида. Для уменьшения неоднородности при кристаллизации быстрорежущая сталь отливается из электропечей в слит-

ки небольшой массы (200—300 кг). Перед горячей механической обработкой ставится задача раздробления хрупких карбидов, на отдельные зерна, в связи с чем слитки подвергают 2—3 кратному обжатию. Послековки и отжига в структуре стали имеются зернистые карбиды с крупными первичными эвтектическими карбидами и более мелкими вторичными. Отжиг быстрорежущей стали ведется, как любой инструментальной стали, на зернистый перлит с нагревом до температур $A_{c1} + (40-60)^\circ\text{C} = 860-880^\circ\text{C}$, с последующим медленным охлаждением по $20-25^\circ\text{C}/\text{ч}$ до 600°C . Анализ кинетики распада переохлажденного аустенита показывает, что более рационален изотермический отжиг с нагревом $860-880^\circ\text{C}$ и изотермической выдержкой при температурах $720-740^\circ\text{C}$ в течение не менее 3—4 ч с последующим охлаждением на воздухе; при таком отжиге сталь получает твердость не более HB 255, а для высоколегированных быстрорежущих сталей не более HB 285. Применение изотермического отжига быстрорежущих сталей значительно сокращает время операции. Повышения температуры нагрева допускать не следует, так как значительно увеличивается устойчивость переохлажденного аустенита, затягивается процесс отжига, а при длительных выдержках могут образоваться стабильные карбиды WC, MoC, которые при дальнейшем нагреве под закалку практически не переходят в раствор аустенита.

Быстрорежущая сталь приобретает красностойкость только после закалки и отпуска. Стали с содержанием 18 % W нагревают для закалки до $1270-1290^\circ\text{C}$. С уменьшением содержания вольфрама температура нагрева понижается: для сталей с 12 % W она составит $1240-1260^\circ\text{C}$, с 9 % W $1220-1240^\circ\text{C}$, а для наиболее распространенных быстрорежущих сталей P6M5 и P6M3— $1210-1230^\circ\text{C}$. Для сталей с молибденом повышение температуры нагрева выше указанных может привести к росту зерна и резкому снижению прочности при изгибе (с 4000 до 2500 МПа).

Высокая температура нагрева быстрорежущих сталей для закалки объясняется необходимостью перевода легирующих элементов в раствор аустенита для получения легированного мартенсита, а после отпуска — вторичной твердости. Нормально закаленные быстрорежущие стали имеют наряду с мартенситом до 30 % остаточного аустенита и до 15 % карбидов не перешедших в раствор; твердость HRC 61 и ниже (рис. 100). Наиболее высокую твердость после закалки имеют стали P18 и P12 при нагреве на 1150°C , а стали P6M5 и P6M3 — на 1100°C . Однако закал-

ка быстрорежущих сталей с этих температур ведет к снижению твердости при отпуске вследствие малой легированности аустенита (значительная часть карбидов не перешла в раствор). На рис. 101 приведены кривые изменения твердости при отпуске сталей Р18 и Р6М5, закаленных с нормальных температур (для Р18—1280°C, а для Р6М5—1220°C), и температур, при которых после закалки получается максимальная твердость (соответственно 1150

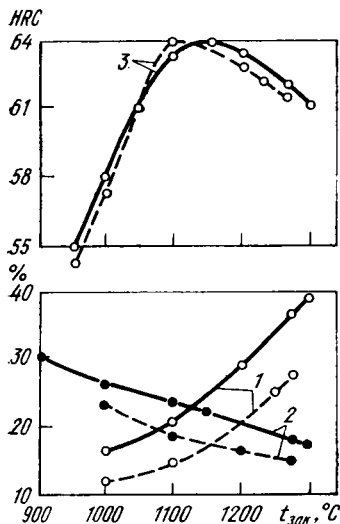


Рис. 100. Зависимость твердости (кривая 3), количества остаточного аустенита (кривая 1) и количества нерастворенных карбидов (кривая 2) от температуры закалки быстрорежущих сталей Р18 (сплошные линии) и Р6М5 (штриховые линии)

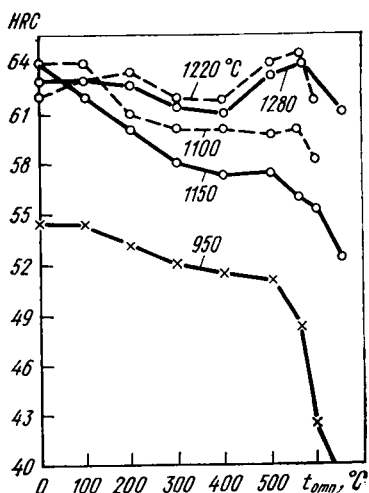


Рис. 101. Влияние температуры закалки на изменение твердости быстрорежущих сталей Р18 (сплошные линии) и Р6М5 (штриховые) при отпуске (цифры на кривых — температуры закалки)

и 1100°C). Стали, закаленные с пониженных температур, при отпуске резко снижают твердость, а закаленные с нормальных температур дают вторичную твердость до HRC 64 и выше после отпуса 560°C (сталь Р6М5) и 580°C (сталь Р18). Повышение твердости объясняется выделением высокодисперсных легированных карбидов из мартенсита и остаточного аустенита, превращением остаточного аустенита в мартенсит при охлаждении. Остаточный аустенит быстрорежущей стали, аналогично переохлажденному, очень устойчив и не распадается в процессе нагрева и вы-

держки при отпуске. Но в связи с выделением карбидов во время выдержки при 560—580 °С он обедняется углеродом и легирующими элементами. Мартенситная точка его повышается и при охлаждении после отпуска происходит уменьшение количества остаточного аустенита. Так как за одну операцию охлаждения полного распада остаточного аустенита не происходит, то применяют многократные отпуска. Для сталей Р18 и Р9 три отпуска, а для Р6М5, Р6М3, имеющих после закалки около 20 % остаточного аустенита, достаточно двух отпусков. Многократные отпуска проводят при температуре 560 °С для сталей Р6М5 и Р6М3 и до 580 °С для Р18 с часовой выдержкой, охлаждение на воздухе. Разложение остаточного аустенита можно осуществить обработкой холодом при температуре —80÷—100 °С. При этом твердость повышается до HRC 65 и можно ограничиться одним отпуском при тех же температурах с часовой выдержкой. Обработку холодом следует проводить сразу после закалки, иначе может пройти стабилизация остаточного аустенита; в инструменте сложной формы возможно образование трещин, поэтому более низкие температуры применять не следует.

Представляет интерес разработанная в станкоинструментальном институте безвольфрамовая быстрорежущая заэвтектоидная сталь типа 11М5Ф (1,03—1,1 % С; 5,2—5,7 % Мо; 3,8—4,2 % Сг; 1,3—1,7 % V; 0,3 % Се), для которой рекомендуется температура нагрева для закалки 1140—1160 °С и трехкратный отпуск при 560 °С, 1 ч. Состав стали и режим термической обработки подобраны так, что ледебуритной эвтектики не образуется, а получаемые вторичные карбиды ($Me_{23}C_6$, Me_6C) переходят в раствор аустенита, легируя мартенсит. В стали после отпуска обеспечивается твердость HRC 64—66, теплостойкость при 630 °С и повышение стойкости инструмента по сравнению со сталью Р6М5. Для улучшения свойств стали предлагается добавлять в сталь до 1 % Al, который влияет аналогично кобальту. Введение в сталь вольфрама считается неэффективным вследствие образования эвтектики и нерастворимых при нагреве под закалку карбидов.

Перед каждой закалкой быстрорежущая сталь обязательно должна подвергаться отжигу, в противном случае может образоваться нафталинистый излом, сопровождающийся резким снижением вязкости и стойкости инструмента в эксплуатации.

Для нагрева под закалку применяют электродные ванны, которые обеспечивают быстрый и равномерный нагрев.

В связи с малой теплопроводностью быстрорежущих сталей их нагревают под закалку с предварительным подогревом до 800—900 °С в камерных печах или соляных электродных ваннах. При нагреве в соляных ваннах полезно предварительное кратковременное обмакивание инструмента, закристаллизованная на его поверхности соль уменьшит скорость первоначального нагрева. Выдержка при окончательной температуре нагрева для закалки устанавливается 6—7 с на каждый миллиметр диаметра или толщины изделия при нагреве в соляных ваннах и 10—12 с при нагреве в камерной печи.

Лучшую стойкость в работе инструмент приобретает при закалке с охлаждением в масле. В случае необходимости уменьшить напряжения применяют ступенчатую закалку в горячих средах. Температура горячей закалочной среды должна соответствовать наибольшей устойчивости переохлажденного аустенита, т. е. 500—550 °С. После выдержки в горячей закалочной среде инструмент охлаждается в масле. На рис. 102 приведены графики полного цикла термической обработки быстрорежущей стали.

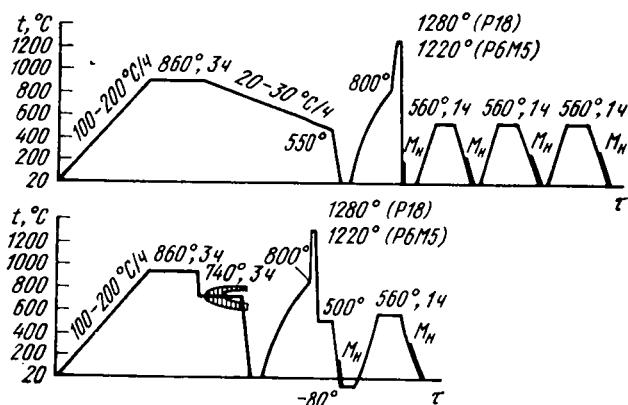


Рис. 102. Графики полного цикла термической обработки быстрорежущих сталей:

а — термическая обработка включает отжиг, закалку в масле и три отпуска;
б — термическая обработка состоит из изотермического отжига, ступенчатой закалки, обработки холодом и одного отпуска

Резкая разница во времени нагрева быстрорежущих сталей для закалки и отпуска не позволяет организовать поточную линию с включением операций отпуска. Исследования Е. А. Смольникова и др. показали, что для сталей Р6М5 и Р6М5К5 продолжительность отпуска можно сокра-

тить до 4—6 мин, при повышении температуры отпуска до 630—640 °С.

Температуру нагрева при отпуске рекомендуется определять по формуле $t_{\text{отп}} = 600 + (8-12) V \% + (1-2) \text{Co} \%$.

Резкое уменьшение времени отпуска позволит создать поточную линию на полный цикл окончательной термической обработки быстрорежущих сталей с использованием соляных электродных ванн. Такая линия будет включать ванны 1, 2 для подогрева, 1 — для окончательного нагрева, 1 — для ступенчатой закалки с последующим охлаждением сжатым воздухом и 2 — для отпуска. Для расплавов целесообразно использовать хлористые соли и их смеси. Перенос приспособлений с инструментами из одной ванны в другую можно осуществлять рычажными или цепными перебросами.

Повышение стойкости инструмента из быстрорежущих сталей может быть достигнуто применением дополнительных способов обработки. К ним относится цианирование окончательно обработанного инструмента при температурах 550—560 °С в расплавах цианистых солей ($\text{NaCN} + \text{KCN}$) с выдержкой 20—30 мин. Хорошие результаты дает применение ванны с 20—25 % NaCN и 5—9 % KCNO (остальное $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{KCl}$). Для обеспечения повышенной коррозионной стойкости инструмент после цианирования подвергают оксидированию при 450—500 °С в расплаве солей 40 % $\text{KNO}_3 + 60 \% \text{NaNO}_3$. Те же результаты получают при газовом цианировании в смеси 20—30 % аммиака + +80—70 % цементирующего газа при температуре 550—570 °С с выдержкой 1,5—2,5 ч.

Некоторое повышение стойкости инструмента дает применение сульфацианирования (сульфоазотирования) при 570—590 °С с последующим охлаждением на воздухе. Для обработки инструмента применяют жидкие ванны (50 % $\text{NaCN} + 25 \% \text{Na}_2\text{SO}_4$) и в качестве нейтрального разбавителя 25 % KCl или не ядовитый расплав (мочевина 55 % $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{поташ} 45 \% \text{K}_2\text{CO}_3$) и 2 % Na_2S от массы. Преимуществом процесса является отсутствие схватывания с обрабатываемым материалом.

Стойкость инструмента из быстрорежущих сталей можно повысить обработкой паром, в результате чего получается пористый оксид, удерживающий смазку при эксплуатации. Инструмент помещается в реторту шахтной печи, нагревают до 300 °С, удаляют воздух продуванием паром в течение 20—30 мин. Затем повышают температуру до 550—560 °С, выдерживают 30—60 мин в атмосфере пара

и охлаждают до 300—350°C, после чего прекращают подачу пара и охлаждают инструмент на воздухе и немедленно промывают в горячем масле.

Увеличить стойкость инструмента можно применением ступенчатой закалки, при которой происходит старение всего переохлажденного аустенита с выделением дисперсных карбидов, но без распада аустенита. Таким оптимальным режимом для стали Р18 будет нагрев до температур 1270—1290°C, а для стали Р6М5 до 1210—1230°C и старение при 620—630°C с выдержкой 15—20 мин и последующим охлаждением в масле или на воздухе.

Повышение стойкости инструмента из быстрорежущих сталей достигается электроискровым упрочнением твердыми сплавами (типа Т15К6) или графитом. При электроискровом упрочнении наиболее значительно повышается стойкость инструмента, изнашивающегося по передней грани (обдирочное и полуобдирочное точение, фрезерование при толстых и средних стружках). Улучшение качества поверхности инструмента и удаление дефектов трооститного поверхностного слоя, образующегося в процессе шлифования, может быть получено применением электролитического полирования. Лучшей ванной для этого является фосфорно-сернокислый электролит при плотности тока 6 А/дм² и напряжении 3,5—4,5 В. Продолжительность процесса составляет 20—30 мин.

В ряде работ указывается на повышение твердости и стойкости инструмента из быстрорежущих сталей с помощью лазерного упрочнения. Так, отрезные резцы для токарных автоматов, изготовленные из стали Р6М5, после обработки лучом лазера на установке «Квант-16» значительно повысили стойкость в работе. Хорошие результаты дало лазерное упрочнение концевых фрез, применяемых в станках с ЧПУ. Так при фрезеровании стали типа Х18Н9Т было получено повышение их стойкости в 2 раза.

Экономия быстрорежущих сталей осуществляется изготовлением наварного, сварного, наплавленного, составного инструмента и применением литого сплошного и биметаллического инструмента.

Быстрорежущие стали используют только для режущей части инструмента. Большое количество инструмента (особенно резцов) делается составными: пластинки из быстрорежущих сталей скрепляются с державками из низколегированных сталей 40Х, 40ХН и др. Крепление пластинок осуществляется печной наваркой, электрической контактной сваркой и механическими зажимами. Печную наварку

проводят для Р18 при 1260—1280 °С с помощью сварочных порошков (ферросилиция, ферромарганца и других) с последующей закалкой. После электрической контактной сварки необходим отжиг, причем лучше использовать изотермическую выдержку сразу после сварки при температурах 730—740 °С. При изготовлении составных сверл, метчиков преимущественно применяют контактную сварку, а для составных фрез — наварку и механическое крепление.

Экономию быстрорежущих сталей достигают применением наплавки быстрорежущей стали на державку при помощи кислородно-ацетиленовых горелок или электрической дуги. Наплавку зубьев больших протяжек осуществляют при температурах 500—550 °С, соответствующих области устойчивого аустенита. После такой наплавки и охлаждения на воздухе достаточно провести отпуск при 600—630 °С.

Значительную экономию быстрорежущих сталей дает изготовление литого инструмента с использованием в качестве шихты отходов быстрорежущей стали и стружки. Плавку проводят в высокочастотных печах. Литая быстрорежущая сталь имеет повышенное сопротивление истиранию, но более хрупкая. Для уменьшения хрупкости литой быстрорежущей стали необходимо получить в структуре режущей кромки эвтектику не в виде скелета, а в форме мелких раздробленных карбидов, что достигается ускоренным охлаждением (например, при отливке в кокиль). При литье в кокиль иногда можно ограничиться только отпуском при 560—580 °С. Учитывая лучшую жидкотекучесть для литого инструмента рекомендуются стали Р6М3, Р12Ф3, Р6М3Ф. Отжиг и закалка литого инструмента из быстрорежущих сталей подобны кованным сталям. Иногда применяют двойной отжиг — первый с температур 960—980 °С с целью повышения однородности литой стали, а второй с 860—880 °С.

Можно повысить твердость и стойкость литых быстрорежущих сталей, применяя модифицирование ее небольшими добавками (0,2—0,3 %) бора, циркония, титана. Последние два элемента повышают вязкость измельчая зерно стали. Улучшают технологические свойства и жидкотекучесть введением до 1 % меди и никеля.

Дальнейшая экономия вольфрама и молибдена в литых быстрорежущих сталях достигается производством литого биметаллического инструмента. При изготовлении, например, больших фрез, можно заформовав центральную часть фрезы из углеродистой стали, залить ее для образования обода с зубцами быстрорежущей сталью или, наоборот,

заформовав пластинки из быстрорежущей стали, залить их углеродистой сталью. В первом случае вследствие более низкой температуры плавления быстрорежущей стали не происходит ее сварки с углеродистой сталью; поэтому необходимо предусматривать механическое крепление (например, по типу ласточкина хвоста).

Можно изготавливать инструмент из быстрорежущих сталей методом порошковой металлургии. Это дает ряд преимуществ заключающихся в получении более дисперсных, равномерно распределенных карбидов, мелкого зерна, повышении эксплуатационной стойкости. Температура закали такого инструмента не должна превышать температуры спекания ($\sim 1200^\circ\text{C}$). Поэтому метод порошковой металлургии рекомендуется применять для вольфрамомолибденовых сталей с содержанием не более 6 % W.

В ряде работ указывается, что для инструмента, изготовляемого методом порошковой металлургии, вместо стали Р6М5 можно применять менее легированную вольфрамом сталь с добавкой 2—3 % V. Однако метод порошковой металлургии для изготовления быстрорежущих сталей пока не получил должного распространения.

Твердые металлокерамические сплавы для инструмента применяют при очень высоких скоростях резания (80 м/мин и выше) или при черновом точении, когда температура режущей кромки составляет 700°C и выше. Они представляют собой чистые карбиды вольфрама или с добавкой карбидов титана, тантала, молибдена. Эти сплавы из-за высокой температуры плавления карбидов изготовляют методами порошковой металлургии — спеканием порошков карбидов. Связующим веществом служит кобальт (от 3 до 25 %). С повышением содержания кобальта увеличивается вязкость сплава, но несколько снижается твердость. Твердые сплавы обладают высокой твердостью (до HRA 90 или около HRC 73), причем данная твердость сохраняется вплоть до температуры 1000°C . Несмотря на очень высокие режущие свойства, применение этих сплавов ограничивается их хрупкостью, невозможностью их механической обработки и высокой стоимостью. Выпускаются они в виде пластин различного размера и формы, напайваемых медью на державки при 1200°C . Составы и свойства основных изготавливаемых в СССР металлокерамических твердых сплавов приведены в табл. 7.

Однокарбидные вольфрамовые твердые сплавы применяют для инструментов, обрабатывающих преимущественно хрупкие материалы: чугуны, бронзы, стекла, а вольфрамо-

Таблица 7. Характеристика основных твердых сплавов (выписка из ГОСТ 3882—74)

Марка сплава	Состав, %				Плотность, г/см ³	Твердость, HRA, не менее	$\sigma_{изг}$, МПа, не менее
	WC	TiC	TaC	Co			
BK3	97	—	—	3	15,0—15,3	89,5	1100
BK4	96	—	—	4	14,9—15,2	89,5	1400
BK6	94	—	—	6	14,6—15,0	88,5	1500
BK8	92	—	—	8	14,4—14,8	87,5	1600
BK10	90	—	—	10	14,2—14,6	87,0	1650
BK15	85	—	—	15	13,9—14,1	86,0	1800
BK20	80	—	—	20	13,4—13,7	84,0	1950
BK25	75	—	—	25	12,9—13,2	82,0	2000
T30K4	66	30	—	4	9,5—9,8	92,0	950
T15K6	79	15	—	6	11,1—11,6	90,0	1150
T14K8	78	14	—	8	11,2—11,6	89,5	1250
T5K10	85	5	—	10	12,4—13,1	88,5	1400
T5K12	83	5	—	12	13,1—13,5	87,0	1650
TT7K12	81	4	3	12	13,0—13,3	87,0	1650
TT8K6	84	8	2	6	12,8—13,7	90,5	1250
TT10K8	82	3	7	8	13,5—13,8	89,0	1300
TT20K9	71	8	12	9	12,0—13,0	89,0	1300

титановые сплавы — для более вязких материалов и труднообрабатываемых сталей. Одним из факторов повышения производительности металлокерамических твердых сплавов является точное соблюдение геометрии. Учитывая высокое сопротивление этих сплавов сжатию, применяют отрицательные передние углы.

Для получения высоких скоростей резания применяют керамические материалы. Из естественных материалов используют новокулит, а из искусственных — керамические материалы на основе оксида алюминия. Пластины из керамических материалов крепят на металлической державке с помощью припоя, различных цементах или механическим способом. Керамические инструменты применяют для чистового и получистового резания при отсутствии ударных нагрузок и вибраций.

2. Термическая обработка штампового инструмента

По характеру работы штампы предназначаются: 1) для деформации холодного металла (дыропробивные, вырубные, гибочные, вытяжные штампы и волочильные кольца); 2) для деформации горячего металла (молотовые штампы, пуансоны и матрицы формирования, прошивные и обрезные штампы и т. п.); 3) штампы для литья под давлением (пресс-формы).

Разогрев рабочей поверхности штампов при холодной деформации

не превышает 200—300 °С, в то время как при горячей деформации температура нагрева фигуры штампа достигает 500—600 °С. В особо тяжелых условиях работают пресс-формы, которые соприкасаются с расплавленным металлом и охлаждающей водой.

Для успешной работы штампов при горячей деформации металла твердость их поверхности должна быть не ниже HB 300 (HRC 33). Твердость рабочей поверхности штампов холодной деформации следует повышать до возможно больших значений, не вызывающих поломку штампов: для штампов из углеродистой стали до HRC 60—62, а из легированных сталей до HRC 56—60.

Штампы для холодной деформации в большинстве случаев работают на прессах и не подвергаются ударной нагрузке. Поэтому для увеличения сопротивления смятию и износу целесообразно повысить твердость рабочих частей штампа.

Мелкие штампы изготавливают из углеродистых сталей У8, У9 и У12. Благодаря несковзкой закалке в малых сечениях углеродистая сталь совмещает высокую твердость поверхности (HRC 60—62) при вязкой сердцевине. Вязкость углеродистых сталей можно повысить добавкой 0,4—0,5 % Сг и 0,2—0,3 % V — сильного карбидообразующего элемента. Введение этих добавок способствует измельчению зерна

Таблица 8. Химический состав и режимы окончательной термической

Марка стали	Содержание					
	C	Si	Mn	Cr	W	
11ХФ	1,05—1,15	0,15—0,35	0,40—0,7	0,4—0,7	—	
ХВ4	1,25—1,45	0,15—0,35	0,15—0,4	0,4—0,7	3,5—4,3	
9Х1	0,80—0,95	0,25—0,45	0,15—0,4	1,4—1,7	—	
9ХС	0,85—0,95	1,20—1,60	0,30—0,6	0,95—1,25	—	
ХГС	0,95—1,05	0,40—0,70	0,85—1,25	1,3—1,65	—	
ХВСГ	0,95—1,05	0,65—1,00	0,60—0,9	0,6—1,1	0,5—0,8	
Х6ВФ	1,05—1,15	0,15—0,35	0,15—0,4	5,5—6,5	1,0—1,5	
Х6Ф4М	1,7—1,85	0,15—0,40	0,15—0,4	5,7—6,5	—	
6Х6В3МФ	0,50—0,60	0,60—0,90	0,15—0,4	5,5—6,5	2,5—3,2	
8Х4В3М3Ф2	0,75—0,85	0,15—0,40	0,15—0,4	3,5—4,5	2,5—3,2	
8Х4В2С2МФ	0,80—0,90	1,60—2,00	0,25—0,5	4,2—4,9	1,8—2,3	
Х12	2,0—2,2	0,15—0,35	0,15—0,4	11,5—13,0	—	
Х12М	1,45—1,65	0,15—0,35	0,15—0,4	11,0—12,5	—	
Х12Ф1	1,25—1,45	0,15—0,35	0,15—0,4	11,0—12,5	—	
Х12ВМ	2,0—2,20	0,20—0,40	0,15—0,4	11,0—12,5	0,5—0,8	
9ХВГ	0,85—0,95	0,15—0,35	0,90—1,2	0,5—0,8	0,5—0,8	
6ХС	0,60—0,70	0,15—0,4	0,15—0,4	1,0—1,3	—	
4ХВ2С	0,35—0,45	0,15—0,4	0,15—0,4	1,0—1,3	2,0—2,5	
5ХВ2С	0,45—0,55	0,15—0,4	0,15—0,4	1,0—1,3	2,0—2,5	
6ХВ2С	0,55—0,65	0,15—0,4	0,15—0,4	1,0—1,3	2,2—2,7	
6Х3МФС	0,55—0,62	0,35—0,65	0,20—0,6	2,6—3,0	—	

Примечание. Сталь ХВ4 закаливают в воде, остальные — в масле.

углеродистой стали. С увеличением размера штампов, изготовленных из углеродистой стали, резко понижается глубина закаленного слоя, что может вызвать продавливание и растрескивание рабочего слоя, а при больших размерах штампа можно совсем не получить закалки на мартенсит.

В этих случаях применяют легированные стали. Основное направление легирования заключается в использовании карбидообразующих элементов (хрома, вольфрама, ванадия, молибдена), для высадочных штампов в сталь дополнительно вводят кремний с целью повышения отношения σ_y/σ_B .

При необходимости обеспечить точные размеры деталей применяют малодеформирующиеся стали, которые почти не изменяют размеры вследствие сохранения в их структуре после термической обработки остаточного аустенита (сталь с марганцем 9ХВГ) или с повышенным содержанием хрома (стали Х12, Х12М, Х12Ф1, Х12ВМ).

Стали, рекомендуемые ГОСТ 5950—73 для штампов холодной штамповки и режимы их термической обработки приведены в табл. 8.

обработки штампов холодной штамповки (ГОСТ 5950—73)

элементов, %		Закалка		Отпуск	
Mo	V	t, °C	HRC	t, °C	HRC
—	0,15—0,35	840—860	62—64	150—170	62—63
—	0,15—0,35	820—840	65—67	140—170	62—65
—	—	820—850	61—63	160—180	59—61
—	—	840—860	62—63	160—180	58—62
—	—	820—860	62—64	150—160	61—63
—	0,05—0,15	840—860	62—63	140—160	60—62
—	0,5—0,8	980—1000	61—65	150—170	60—63
0,5—1,0	3,5—4,0	980—1020	63—65	160—180	61—62
0,6—0,9	0,5—0,8	980—1020	63—65	160—180	61—62
2,5—3,0	1,9—2,5	1150—1170	60—62	540—560	60—62
0,8—1,0	1,0—1,4	1060—1090	62—64	540—560	62—63
—	—	950—1000	60—65	180—200	60—62
0,4—0,6	0,15—0,3	950—1000	60—65	190—210	60—62
—	0,7—0,9	1050—1100	60—64	180—200	60—62
0,6—0,9	0,15—0,3	1020—1040	60—65	180—200	60—62
—	—	820—840	64—66	170—230	60—62
—	—	840—860	56—58	220—260	54—56
—	—	860—900	53—55	220—260	52—54
—	—	860—900	55—58	220—260	54—56
—	—	860—900	57—60	220—260	55—58
0,2—0,5	0,3—0,6	980—1020	56—60	220—260	54—56

Стали 9ХФ, 11ХФ, ХВ4 применяют для изготовления пуансонов.

Стали 9Х1, ХГС и ХВСГ используют для изготовления матриц и пуансонов, предназначенных для холодной высадки при нетяжелых условиях работы. Стали 6ХС, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С применяют для изготовления ударного инструмента типовой марки стали является ХВ2С с различным содержанием углерода. Стали Х6Ф4М, 6Х6В3МФ и типа 8Х4В3М3Ф2, 8Х4В2С2МФ применяют для изготовления матриц и пуансонов холодного объемного деформирования, работающих при давлениях 1800—2300 МПа, а также вырубных штампов сложной конфигурации.

Стали Х12, Х12М, Х12Ф1, Х12ВМ используют для изготовления матриц и пуансонов с высокой устойчивостью против истирания и при необходимости соблюдения точных размеров выпускаемой продукции.

Волоочильный инструмент (волоочильные доски, кольца, глазки) используют для деформирования металла в холодном состоянии. Его изготавливают из стали марок Х12М, Х12Ф1, Х12ВМ, затем закалывают с 1000—1050 °С и отпускают при 220—250 °С. Увеличение стойкости волоочильного инструмента в эксплуатации достигается дополнительным холодным наклепом очка.

Штампы для горячей деформации должны обладать теплостойкостью, износостойкостью, сопротивлением смятию, разгаростойкостью и хрупкому разрушению. Молотовые штампы, работающие в условиях приложения ударной нагрузки, должны иметь повышенную вязкость ($KCU \geq 0,4$ МДж/м²), которая достигается за счет некоторого снижения твердости (до HRC 35—45). Штампы формирования, прошивной и обрезающей инструмент, пресс-формы работают на прессах при плавном приложении нагрузки, но длительном соприкосновении с горячим металлом. Поэтому для них наиболее важно сохранение при отпуске твердости до HRC 45—50, а ударная вязкость может быть ограничена $KCU \geq 0,2—0,3$ МДж/м².

Штампы для горячей штамповки изготавливать из углеродистых сталей нецелесообразно, так как их твердость резко снижается при нагреве выше 250—300 °С.

Легирование штампов, эксплуатируемых на прессах, имеющих длительное соприкосновение с горячим металлом, проводят с использованием карбидообразующих элементов, повышающих стойкость против отпуска (хромом, вольфрамом, молибденом, ванадием), а из некарбидообразующих элементов — кремнием. Стали для молотовых штампов,

подвергающихся ударным нагрузкам, с целью повышения вязкости и прокаливаемости легируют никелем, а для повышения их теплостойкости — небольшим количеством молибдена или вольфрама. Комплексным легированием карбидообразующими элементами можно значительно повысить вязкость и теплостойкость, исключив дефицитный никель.

Режимы термической обработки и химический состав сталей, рекомендуемых ГОСТ 5970—73 для штампов горячей штамповки, приведены в табл. 9.

Молотовые штампы с массой падающих частей до 3 т изготовляют из стали: 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНВС, а также из более дешевых сталей — хромомарганцевых сталей 5ХГМ, 6ХВГ — их заменителей. Крупногабаритные молотовые штампы рекомендуется изготавливать из сталей 5Х2НМФ, 30Х2Н2ВМФ, 30Х2Н2ГМ1Ф1, а также из комплекснолегированных безникелевых сталей 4ХМФС, 4Х5МФС, теплостойких до 550 °С.

Для изготовления прошивных, обрезных и высадочных штампов неглубокой прошивки и высадки используют стали 7Х3 и 8Х3 для тяжелых условий работы.

Прессовый инструмент изготовляют из стали 3Х2В8Ф (теплостойкостью до 600—650 °С, HRC 45—50). Однако эта сталь содержит до 8 % дефицитного вольфрама. Ее заменители стали 4Х2В5МФ, 5Х3В3МФС, 4Х2В2МФС, 4Х3ВМФ, 4Х5В2ФС, 3Х3М3Ф. Для повышения прокаливаемости в сталь вводят до 1,5 % Мп (сталь 4Х3М2ВФГС с теплостойкостью до 650 °С).

Инструмент, работающий в особо тяжелых температурно-силовых условиях (высокая степень деформации, полугорячее выдавливание и т. п.), изготовляют из сталей, содержащих повышенное количество карбидообразующих элементов.

В ряде случаев высоколегированные штамповые стали используют только для вставок (стали 4Х5В2ФС, 4Х5МФС, 4Х4ВМФС, 4Х3ВМФ).

Значительную экономию сталей с повышением эксплуатационных свойств можно получить применяя двухслойные штампы с наплавкой фигуры ЭШП.

Ножи для горячей резки металла изготавливают из сталей 5ХНМ, 3Х2В8Ф, 3Х3М3Ф.

В тяжелых условиях работают пресс-формы для литья под давлением цветных сплавов. С одной стороны, они подвержены действию жидкого металла, а с другой — охлаждающей воды. Формы для литья под давлением медных

Таблица 9. Химический состав (ГОСТ 5970—73) и режимы

Марка стали	Химический состав				
	C	Mn	Si	Cr	W
5ХНМ	0,50—0,60	0,50—0,8	0,15—0,35	0,5—0,8	—
5ХНВ	0,50—0,60	0,50—0,8	0,15—0,35	0,5—0,8	0,4—0,7
5ХНВС	0,50—0,60	0,30—0,6	0,60—0,90	1,3—1,6	0,4—0,7
5ХГМ	0,50—0,60	1,20—1,6	0,25—0,65	0,6—0,9	—
4ХНМФС	0,35—0,42	0,15—0,4	0,70—1,00	1,3—1,6	0,3—0,5
5Х2НМФ	0,46—0,53	0,40—0,7	0,20—0,50	1,5—2,0	—
4ХМФС	0,37—0,45	0,50—0,8	0,50—0,80	1,5—1,8	—
4Х5МФС	0,32—0,40	0,15—0,4	0,80—1,20	4,5—5,5	—
3Х2В8Ф	0,30—0,40	0,15—0,4	0,15—0,40	2,2—2,7	7,5—8,5
4Х2В5МФ	0,30—0,40	0,15—0,4	0,15—0,35	2,0—3,0	3,5—4,2
5Х3В3МФС	0,45—0,52	0,30—0,6	0,50—0,80	2,5—3,2	3,0—3,6
4Х2В2ФС	0,42—0,05	0,30—0,6	0,30—1,60	2,0—2,2	1,8—2,4
4Х5В2ФС	0,35—0,45	0,15—0,4	0,80—1,20	4,5—5,5	1,6—2,0
4Х4ВМФС	0,37—0,44	0,20—0,5	0,60—1,00	3,2—4,0	0,8—1,2
4Х3ВМФ	0,40—0,48	0,30—0,6	0,20—0,40	2,8—3,5	0,6—1,0
3Х3М3Ф	0,27—0,34	0,30—0,6	0,20—0,40	2,8—3,3	—
4Х5МФС1	0,37—0,44	0,15—0,4	0,80—1,20	4,5—5,5	—
7Х3	0,65—0,75	0,15—0,4	0,15—0,35	3,2—3,8	—
8Х3	0,75—0,85	0,15—0,4	0,15—0,35	3,2—3,8	—

Примечание. Все стали закаляют в масле.

сплавов изготавливают из сталей 3Х2В8Ф, 3Х3М3Ф, 4Х4МВФС, а для литья легких алюминиевых сплавов — из сталей 4Х5В2ФС, 4Х5МФ1С, 4Х5МФС.

Температура отпуска для молотовых штампов зависит от размера штампа и способа его изготовления. Термическую обработку крупных штампов, рекомендуется проводить на кубике, а потом нарезать фигуру; при этом для возможности проведения механической обработки твердость должна быть не выше НВ 290—330. Мелкие штампы лучше обрабатывать на твердость НВ 360—420. В этом случае вначале следует изготовить фигуры штампа, а затем провести термическую обработку. Штампы средних размеров обрабатывают на НВ 330—360, нарезают фигуру штампа с некоторым допуском, затем следует термическая обработка и окончательная доводка фигуры штампа. После отпуска всего штампа проводят дополнительный отпуск хвостовика штампа при 650—700 °С.

Массивные штампы нагревают в печах с выдвижным подом, а мелкие — в камерных печах с размещением штампов на поддонах или соляных ваннах. Продолжительность

окончательной термической обработки штампов для горячей штамповки

сталл, %			Закалка		Отпуск, °C	
V	Mo	Ni	t, °C	HRC	HRC 50—45	HRC 45—40
—	0,15—0,3	1,4—1,8	830—860	56—60	420—500	500—550
—	—	1,4—1,8	840—860	56—60	420—480	480—550
—	—	0,8—1,2	860—880	56—60	480—540	540—560
—	0,15—0,3	—	820—850	56—60	420—500	500—540
0,35—0,5	0,7—0,9	1,2—1,6	940—960	52—55	460—520	520—540
0,30—0,5	0,8—1,1	1,2—1,6	960—980	56—60	480—540	540—560
0,30—0,5	0,9—1,2	—	920—930	55—59	500—550	550—600
0,30—0,5	1,2—1,5	—	1000—1020	50—55	550—590	590—620
0,20—0,5	—	—	1075—1125	48—52	590—620	620—640
0,30—0,6	0,40—0,6	—	1060—1080	50—54	600—640	600—640
1,50—1,8	0,80—1,1	Nb	1120—1140	53—56	610—650	650—680
		0,05—0,15				
0,60—0,9	0,80—1,1	—	1080—1100	55—60	600—640	640—680
0,60—0,9	—	—	1030—1050	52—56	570—600	600—620
0,60—0,9	1,20—1,5	—	1050—1070	55—60	600—640	640—670
0,60—0,9	0,40—0,6	—	1040—1060	52—56	580—620	620—650
0,40—0,6	2,5—3,0	—	1030—1050	47—53	560—580	580—600
0,80—1,1	1,2—1,5	—	1020—1040	50—56	570—600	600—630
—	—	—	850—880	54—60	460—490	490—530
—	—	—	850—880	55—61	520—560	560—600

выдержки в печи при нагреве под закалку составляет ориентировочно 50—70 с, а в соляных ваннах 15—20 с на 1 мм толщины; при отпуске время выдержки 2 ч плюс 1 мин на 1 мм толщины штампа.

На стойкость штампов влияет расположение волокна в заготовке; необходимо, чтобы направление максимальных усилий было перпендикулярно волокну; поэтому фигуру штампа лучше получать штамповкой; кроме того, соблюдение определенных условий эксплуатации, из которых наиболее существенны периодическая проверка настройки штампов по шаблонам, применение охлаждения и смазки рабочей поверхности штампа (например, охлаждение сжатым воздухом, водо-воздушной смесью, смазка подогретым маслом с графитом и т. п.).

Повысить стойкость штампов можно: 1) азотированием на глубину 0,2—0,3 мм при температуре 560—580 °C с выдержкой 6—8 ч на 0,1 мм слоя с диссоциацией аммиака 40—60 %. Для штампов, изготовленных из сталей 5ХНМ, 3Х2В8Ф, 4Х5В2ФС, Х12М повышает стойкость применение перед азотированием насыщения поверхности штампа сме-

сью 95 % Cr+5 % V при 1050 °С в течение 5 ч и закалка с нормальных температур в масле. Азотирование рекомендуется трехступенчатое (520 °С 6 ч+540 °С, 6 ч+520 °С, 6 ч); 2) применением сталей, выплавленных ЭСП; 3) электроискровым упрочнением твердыми сплавами (типа Т15К6 и Т30К4) с использованием импульсных разрядов длительностью 0,01 с при напряжении 125 В, силе тока 2,5—3,0 А и конденсаторах 100 мФ; 4) наплавкой фигуры штампов сормайтотом (30 % Cr, 8 % Ni, 4 % Si) или твердыми сплавами и мартенситно-стареющими сталями.

В последнее время для поверхностного упрочнения штампового и режущего инструмента используют лазерные установки. Закалка рабочих кромок вырубных штампов из сталей У8 и У10 на установке «Квант 16» способствует повышению их твердости и стойкости в эксплуатации в два раза, а пуансонов из стали У10 в 1,5 раза. Указывается, что облучение лазером рабочих частей вырубных штампов из стали Х12 после обычной термической обработки дополнительно повышает их стойкость в два-три раза. Твердость и теплостойкость режущего инструмента из сталей Р18, Р6М5 и других также повышается. Отмечается, что интервал плотности энергии импульсов лазерного излучения, которые способствуют повышению эксплуатационной стойкости, сравнительно узкий.

Особенно эффективно лазерное упрочнение для повышения износостойкости штампов, используемых на скоростных прессах-автоматах.

Литые штампы рекомендуется отливать из хромоникелевых сталей с несколько пониженным содержанием углерода (типа 40ХНМ, 45ХНВ, 45ХНМФ). Они должны обладать хорошей жидкотекучестью и малой склонностью к трещинообразованию. Особое внимание при отливке штампов должно быть уделено получению плотных отливок с мелкой кристаллической структурой. До обрезки прибыли литые штампы подвергают высокому отпуску при 650—670 °С с выдержкой 3—4 ч и медленному охлаждению в печи до 300 °С для снятия напряжений. После обрезки прибыли и зачистки поверхности их отжигают при 860 °С с медленным охлаждением в печи на твердость не выше НВ 240. Окончательная термическая обработка — закалка с 880—900 °С в масле и высокий отпуск. Температура отпуска, а следовательно и твердость штампов, как и в кованых, зависит от их размеров. Для мелких штампов она равна 450—500 (НВ 388—444), для средних — 500—550 (НВ 363—380), а крупных — 550—600 °С (НВ 321—363).

После проведения общего отпуска хвостовики штампов подвергают дополнительному отпуску при 650—700 °С.

Стойкость литых штампов повышается при изготовлении их из стали, выплавленной ЭШП. Значительная экономия металла достигается при изготовлении двухслойных штампов с использованием ЭШП (например кузнечные штампы, в которых 25—40 % из стали 45ХНМ и 75—60 % из стали 45).

Чугунные штампы по сравнению со стальными имеют ряд преимуществ: они дешевле, их легко обрабатывать резанием, они устойчивы к вибрациям, стойки в условиях сухого трения вследствие смазочных свойств графита чугуна. Штампы изготавливают из хромоникелевых и модифицированных серых чугунов; хорошие результаты показывает чугун с шаровидным графитом. Чугунные штампы используют при холодной глубокой вытяжке листового металла.

Штампы из графитизированной стали сочетают высокую твердость и прочность стали с хорошей обрабатываемостью, вибрационной стойкостью и смазочными свойствами графита. Для штампов используют высокоуглеродистую сталь с 1,4—1,45 % С, часть которого графитизируется при 900 °С в течение 20 ч. Процесс графитизации можно ускорить предварительной нормализацией с 950 °С. Окончательная термическая обработка заключается в закалке с 820—850 °С и отпуске, который для штампов, предназначенных для холодной деформации, проводят при 160—200 °С (твердость HRC 56—60), а для горячей деформации при 550—600 °С (твердость HB 300—320). При особых требованиях сталь легируют 0,2—0,4 % Мо. По данным фирмы «Timken», стойкость пуансонов холодной вытяжки для обойм подшипников повышается в 2—3 раза по сравнению с обоймами из стали ШХ15.

3. Термическая обработка валков

Валки прокатных станов холодной и горячей прокатки являются сменным инструментом; их термическая обработка проводится на заводах тяжелого машиностроения.

Основные требования, предъявляемые к материалу бочки валков холодной прокатки: высокая твердость (90 ед. Шора), износостойкость, контактная прочность при малой чувствительности к ударным нагрузкам и тепловому растрескиванию. Шейки валков должны обладать высокой конструктивной прочностью при твердости 40—45 ед. по Шору. Глубина активного слоя бочки (с твердостью вы-

ше 85 ед. Шора) должна быть не менее 3 % от радиуса вала.

Рабочие валки станов холодной прокатки изготавливают из стали с содержанием около 2 % Cr (9X2, 9X2СФ, 9X2МФ, 9X2В и др.).

Предварительная термическая обработка их — отжиг поковок при 780—800 °С (8—12 ч) и медленное охлаждение со скоростью 20 °С/ч. Такой режим обеспечивает получение структуры зернистого перлита. Твердость не должна превышать НВ 220. При значительном содержании в металле водорода (выше 3—4 см³ на 100 г металла) необходимо сразу послековки до отжига применять противфлоккентную обработку, как это делается для крупных поковок.

После отжига поковки проходят обдирку, сверление осевого отверстия и подвергаются улучшению с целью подготовки структуры металла к последующей закалке. Температура нагрева под закалку при улучшении принимается равной 870—890 °С (выше A_{c1} на 90—120 °С), чтобы возможно полнее растворить карбиды. После закалки в масле применяется высокий отпуск при 700—720 °С, способствующий равномерному выделению карбидов и ускорению их коагуляции.

После улучшения валки проходят токарную обработку с припуском 1,0—1,5 мм на сторону, затем их закаливают в воде с 800—820 °С. При этом в поверхностных слоях получается структура мартенсита с равномерным распределением ранее выделившихся карбидов. Для повышения прокаливаемости валков их дополнительно подвергают струйному охлаждению в специальном приспособлении, а для уменьшения напряжений в валках диаметром более 500 мм проводят охлаждение внутреннего канала. Шейки валков для предохранения от закалки изолируют. Схема сборки вала для закалки и струйное приспособление показаны на рис. 103. Длительность охлаждения валков должна быть достаточной, чтобы поверхность бочки приняла температуру 40—60 °С. Отпуск валков после закалки проводят при 130—140 °С с выдержкой 1 ч на 1 см диаметра бочки вала. После отпуска и шлифования валки подвергают дополнительному отпуску при температуре на 5—10 °С ниже температуры первого отпуска.

В последнее время в качестве окончательной термической обработки применяют поверхностную закалку бочки валков с непрерывно последовательным нагревом т. п. ч. или т. в. ч. со спрейерным охлаждением. Для уменьшения напряжений на ряде заводов сначала ведут прогрев т. п. ч.

всей поверхности валка за несколько проходов индуктора, после чего проводят спрейерное охлаждение нагретой поверхности.

В качестве рекомендации по сокращению длительности предварительной обработки указывается на возможность совмещения ее с ковкой.

После окончанияковки поковки охлаждают в масле и затем подвергают высокому отпуску. Кроме того, предлагается повысить температуру отпуска до 160°C с сокращением выдержки до 15—20 ч.

Для производства валков холодной прокатки двадцативалковых станов рекомендуют применять сталь Х9ВМФШ, которая обладает высокой теплостойкостью, износостойкостью, контактной прочностью, усталостной выносливостью и сквозной прокаливаемостью до диаметра 160 мм. Окончательной термической обработкой является закалка с температуры около 1000°C в масле с последующей выдержкой на воздух и низкий отпуск при $160\text{—}180^{\circ}\text{C}$ в течение 16—20 ч. Возможно применение заковки с повышенной температурой (1100°C) в масле и отпуском на вторичную твердость при температурах $560\text{—}580^{\circ}\text{C}$ с выдержкой 4—5 ч.

Опорные валки изготовляют из сталей 9ХФ и 75ХМ. Диаметр бочки валков тяжелонагруженных станов холодной прокатки составляет 1,0—2,0 м.

Послековки опорные валки подвергаются изотермическому отжигу. Целесообразно отжиг совмещать с охлаждением послековки. Для этого поверхность валка предварительно переохлаждают до $400\text{—}500^{\circ}\text{C}$, а затем проводят изотермическую выдержку при $680\text{—}700^{\circ}\text{C}$.

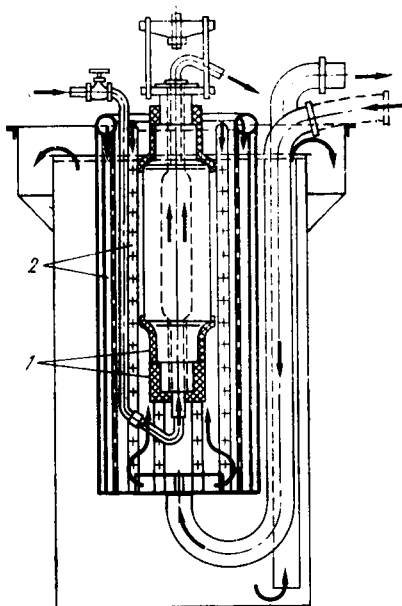


Рис. 103. Сборка 1 валка холодной прокатки под закалку, помещенная в бак со струйчатм приспособлением 2

Окончательная термическая обработка заключается в нормализации с 860—900 °С с высоким отпуском при 600—650 °С. Затем проводят закалку бочки с непрерывно последовательным нагревом т. п. ч. и отпуском на требуемую твердость (40—45 ед. Шора).

Валки станов горячей прокатки изготавливают из сталей типа 55, 55Х, 60ХГ, 75ХМ от 50ХН до 60ХН. Валки закаливают с 830—850 °С, затем подвергают высокому отпуску при 600—650 °С и наплавке рабочей поверхности. Для наплавки применяют проволоку из сталей 30ХГС, ПП-3Х2В8, ПП-25Х5ФМС и др.

На станах горячей прокатки успешно эксплуатируют литые валки из заэвтектидной стали 150ХНМ, а на крупносортовых станах из углеродистых сталей У10 и У12. Валки подвергают двойной нормализации с 1050 и 850 °С и отпуску при 550—600 °С.

С целью повышения стойкости прокатных валков и их восстановления применяют наплавку. Валки обжимных, сортопрокатных и листовых станов наплавляют порошковой проволокой или лентой с получением в поверхностном слое составов, соответствующих сталям 3Х2В8Ф, 5Х4В3Ф, 3Х3В2М2ФС и др. Новым направлением является применение для наплавки низкоуглеродистых безвольфрамовых мартенситных сталей типа 15Х5МФ, 20Х5МФС, 20Х7М2Ф, которые после наплавки хорошо обрабатываются резанием, а при последующем отпуске (560 °С, 12—15 ч) дают высокую износостойкость. Размеры валков восстанавливают наплавкой сталей типа 30ХГСА.

В случае горячего деформирования металла при нагреве валков выше 700 °С (например, валков пильгер-станов) вместо широко используемой стали 08Х21Н10Г6 успешно применяют экономнолегированные низкоуглеродистые аустенитные хромомарганцевые стали с добавкой азота и карбидообразующих элементов (например, сталь 10Х13Г12АФ или сталь с большим числом карбидообразующих элементов).

4. Термическая обработка калибров и измерительного инструмента

К калибрам и измерительному инструменту предъявляются особые требования: малая изнашиваемость в работе и неизменность размеров. Поэтому сталь для калибров должна обеспечить высокую поверхностную твердость (для гладких калибров HRC 58—64, для резьбовых HRC 55—60); малое и закономерное изменение размеров инструментов при термической обработке, которое подавалось бы предварительному учету; отсутствие старения при эксплуатации.

В стали для калибров высокой точности неметаллических включений допускается не более балла 2.

Высокую поверхностную твердость и малую деформацию можно получить применением химико-термической обработки (цементации, азотирования, хромирования) или малодеформирующихся при закалке сталей.

Принцип получения таких сталей сводится к сохранению в структуре закаленной стали наряду с мартенситом остаточного аустенита. Комбинируя количество мартенсита, имеющего наибольший удельный объем, с определенным количеством остаточного аустенита, обладающего наименьшим удельным объемом, можно получить удельный объем закаленной стали равный объему исходной отожженной стали, а следовательно, сохранить после закалки неизменными размеры инструмента.

Уменьшения деформации стали после термической обработки можно достичь закалкой т. в. ч. и химико-термической обработкой, поскольку структура в этих случаях изменяется лишь в небольшом по объему поверхностном слое.

Для малоответственного инструмента (шаблонов, скоб, гладких пробок) применяют цементацию с последующей закалкой и низким отпуском. Цементацию проводят в шахтных печах с применением в качестве карбюризатора природного газа, бензола или керосина в течение 5—7 ч при 930—940 °С; (глубина слоя 0,6—1,0 мм). Расход керосина составляет 60—80 капель в мин. Жидкостную цементацию проводят в расплаве солей (35 % NaCN или KCN и 65 % Na₂CO₃) в течение 1—2 ч при 880—900 °С (глубине слоя 0,4—0,6 мм). На ряде заводов для жидкостной цементации применяют расплав 90 % Na₂CO₃ и 10 % порошка мелко толченого карборунда (SiC). При 900—920 °С можно получить содержание углерода в поверхностном слое до 0,9 %.

Газовое цианирование проводят с применением 60—80 % природного газа и 40—20 % аммиака в присутствии алюминиевой стружки. Температура процесса 560 °С выдержка 1—2 ч (глубина слоя 0,04—0,08 мм).

Калибры подвергают электролитическому хромированию «в размер». Слой хрома обладает высокой твердостью и износостойкостью, малым коэффициентом трения и значительной коррозионной стойкостью во влажной атмосфере, что весьма существенно для калибров. Для достижения износостойкости достаточен слой хрома толщиной 2—3 мкм. С учетом последующего шлифования слой увеличивается до 0,1 мм. Лучшие результаты хромирования гладких калибров достигаются при составе электролита — 250 г Cr₂O₃ и 25 г H₂SO₄ на литр воды (плотность тока 45 А/дм², температура 55 °С). При таком режиме скорость наращивания хрома равна 1 мкм на диа-

метр за 1,5 мин, требуемая толщина слоя хрома около 3 мкм.

Для резьбовых пробок и колец состав электролита хромирования — 150 г Cr_2O_3 и 1,5 г H_2SO_4 на литр воды (плотность тока 50 А/дм², температура 60 °С). При указанном режиме заострение угла составит около 1 мин на 1 мкм осажденного хрома. Перед хромированием угол резьбы инструмента увеличивается на 5 мин. Лучше хромируются углеродистые стали (У10, У8) и низколегированные. Стойкость хромированного инструмента в 2—3 раза выше стойкости нехромированного.

В качестве малодеформирующихся сталей для калибров применяют стали типа ХВГ и типа Х12, Х12М, Х12Ф1, Х12ВМ (см. табл. 4). Стали ХВГ закаляют с 820—840 °С в масле и отпускают при 160—180 °С, 1 ч. Уменьшение деформации может быть достигнуто закалкой в горячей среде с температурой 230—250 °С, 10—15 мин и последующем охлаждении на воздухе. Для стабилизации структуры и размеров полезно после закалки применять обработку холодом при температурах —10 °С, а после шлифования старение при 110—120 °С, 10—16 ч.

При использовании для калибров высокохромистых сталей (Х12, Х12М, Х12Ф) применяют два метода термической обработки. Пониженную температуру закалки (950—1000 °С) на высокую твердость и низкий отпуск при 180—200 °С или повышенную температуру закалки и высокий отпуск. В последнем случае можно получить весьма точные размеры тепловой доводкой. Стали закаляют с 1050—1100 °С с тем, чтобы получить в структуре большое количество остаточного аустенита (50—60 %), что обуславливает уменьшение размеров калибра. Последующими многократными отпусками при температурах 500—520 °С с выдержкой 0,5—1,0 ч и охлаждением на воздухе размеры доводят до требуемых. Так в образце диаметром 4 мм длиной 60 мм из стали Х12М, закаленном с 1050 °С, отпущенном при 500 °С при 40 % остаточного аустенита изменения размеров не наблюдается.

5. Оборудование термических отделений и его расположение

Основным оборудованием термических отделений при инструментальных цехах являются камерные электрические печи типа СНО и СНЗ и пламенные печи типа ТНО различных размеров. На высокие температуры (1300 °С и выше)

электрические печи применяются с неметаллическими нагревателями (корундовыми или из дисилицида молибдена). Тяжелые штампы нагревают в печах типа ТДО и СДО с выдвижным подом.

Нагрев под закалку осуществляют в электродных соляных ваннах (СВС), а отпуск на низкие температуры проводят в электрических тигельных соляных (СВГ) и масляных (СВМ) ваннах. В случае отпуска до 600—700 °С применяют электрические вентиляторные шахтные печи (СШО). Газовую цементацию проводят в электрических шахтных ретортных муфельных (СШЦМ) или безмуфельных (СШЦ) печах. Имеются универсальные камерные механизированные агрегаты, которые соединены с печью герметизированным тамбуром с закалочным баком (СНЗМА и ТНЗМА) — это позволяет использовать их для газовой цементации, нитроцементации и нагрева в контролируемой атмосфере. Высокий отпуск хвостовиков штампов проводят в ваннах или на плитах. Для напайки резцов применяют установки т. в. ч., а для составного инструмента контактные сварочные машины.

Количество оборудования и его расположение могут быть самыми разнообразными в зависимости от вида обрабатываемого инструмента и производительности отделения. Печи для отжига и закалки и ванны располагают в один или два ряда вдоль стен цеха. Камерные печи обслуживают передвижной загрузочной тележкой. Перед печами помещаются закалочные баки и селитровые ванны для ступенчатой закалки. Отпускные шахтные печи устанавливают на продолжении ряда закалочных печей или в другом ряду, параллельно печам.

На рис. 104 приведены примеры наиболее характерных узлов группового расположения оборудования для термической обработки отдельных видов инструмента — по принципу замкнутого цикла.

Печи для термической обработки штампов (рис. 104, а) размещают вдоль стены цеха в один ряд. Крупные штампы нагревают в печах 1 с выдвижным подом и закалывают с помощью кран-балки в баках 2, расположенных между печами. Штампы средних размеров нагревают в обычных камерных печах 3; облегчение загрузки и разгрузки печей 3 достигается с помощью загрузочного стола 8, перемещающегося вдоль фронта печей. Закалку штампов проводят в баках 7, находящихся против закалочных печей. Очень мелкие штампы нагревают в соляной ванне 5. Эта же ванна и плита 4 служат для отпуска хвостовиков штампов.

Низкий отпуск штампов проводится в соляных или масляных ваннах 6.

Универсальные камерные механизированные агрегаты типа ТНЗМА располагают в один ряд с камерными отпускными печами. Их обслуживают механизированным за-

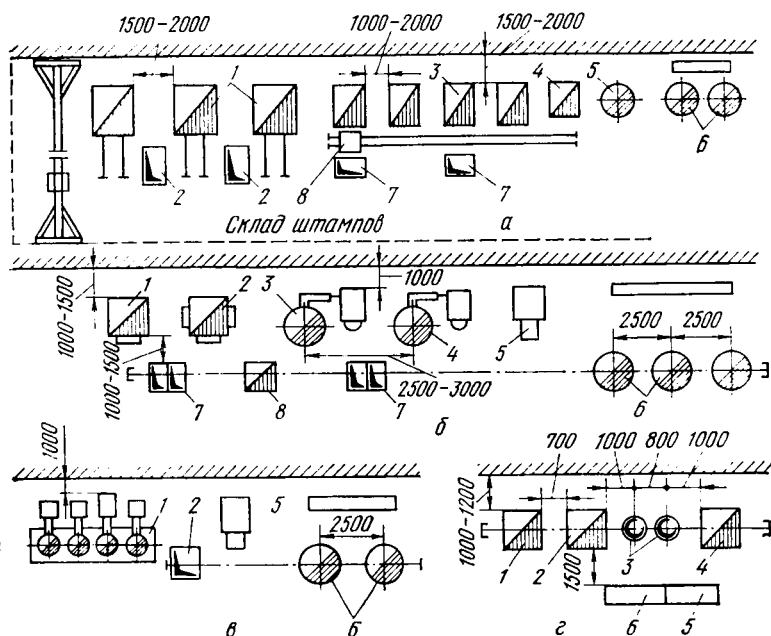


Рис. 104. Планы отдельных участков для термической обработки инструмента: а — штампов, б — быстрорежущей стали (первый вариант); в — быстрорежущей стали (второй вариант); г — протяжек

грузочным столом, перемещающимся вдоль печей. Участок для закалки и отпуска быстрорежущей стали показан на рис. 104, б. Закалку ведут с предварительным подогревом в печи 1 или электродной ванне 3 и окончательным нагревом до 1300°C соответственно в печи 2 с неметаллическими нагревателями или в электродной ванне 4. Для ступенчатой закалки предусмотрена селитровая ванна 8. Окончательное охлаждение осуществляют в сдвоенных баках 7. При необходимости могут быть использованы подогревательная печь 1 и соляная ванна 2 для закалки низколегированных сталей. Инструмент из закалочных баков доставляется тельфером или кран-балкой к камерной моечной машине 5 и далее к шахтным отпускным печам 6.

Отпускные печи можно размещать и против закалочных баков.

В некоторых отделениях для термической обработки быстрорежущих сталей применяют четырехтигельную электродную ванну 1 (рис. 104, в). В первой ванне инструмент подогревается до 600 °С, во второй — до 900 °С, третья ванна служит для окончательного нагрева под закалку до 1300 °С, а четвертая — для ступенчатой закалки. Остальное оборудование аналогично предыдущему. Соляные ванны применять для многократных отпусков не экономично, так как выдержка при отпуске составляет не менее 1 ч по 2 или 3 раза, а время нагрева под закалку при окончательном нагреве несколько минут.

Типовое расположение оборудования для термической обработки протяжек приведено на рис. 104, г. Протяжки из быстрорежущей стали подогревают в шахтной печи 1, окончательный нагрев осуществляется в шахтной печи 2, закаливают их в баках 3, а отпускают в шахтной печи 4. После отпуска протяжки проходят правку на приспособлении 5 и контроль на верстаке 6.

На ряде заводов для окончательного нагрева вместо шахтной печи используют электродную ванну. Однако при большой глубине ванны электроды для достижения равномерного нагрева следует располагать в несколько рядов по вертикали.

Примерная планировка универсального отделения для термической обработки режущего инструмента (резцов, сверл, фрез), калибров и протяжек, а также небольшого размера штампов и приспособлений приведена на рис. 105. Отделение размещается в пролете 18 м, примыкающем к инструментальному цеху.

Заготовительные операции (ковка, напайка, наварка) и предварительная термическая обработка выделены в специальный участок, который включает два ковочных молота 1 с нагревательными печами 2, щелевой печью 3 для наварки резцов с их последующей закалкой в баке 4, два контактных сварочных аппарата 5 с печами 6 для проведения изотермического отжига заготовок сразу после сварки и двух камерных печей 7 для отжига поковок. Камерные печи 7 в случае необходимости могут быть использованы для цементации в твердом карбюризаторе, в связи с чем имеется отдельная комната со специальным шкафом 8 для зарядки цементационных ящиков. Ящики к печам подают тельферы. На участке предусмотрена кабина 9 для дуговой напайки и наварки режущего инструмента и фи-

гуры штампов. Из заготовительного отделения инструмент после дробеочистки в аппаратах 10 направляется для обработки в механический цех.

Окончательная термическая обработка инструмента из быстрорежущей стали выделена в отдельный участок. Для нагрева под закалку предусмотрены две электродные ванны 11 и камерная высокотемпературная печь 13 с силитовыми стержнями или нагревателями из дисилицида молибдена. Рядом с закалочными ваннами и печами соответственно располагаются подогревательные ванны 12 и камерная печь 14. Против закалочных ванн и печей находятся сдвоенные закалочные баки 15 и селитровые ванны 16 для осуществления ступенчатой закалки. Над закалочными баками проходит электротельфер, который доставляет закаленный инструмент к моечной машине 17 и далее к трем отпускным шахтным печам 18.

Термическую обработку протяжек ведут в шахтных печах, нагрев для закалки в печи 19, охлаждение — в баке 20 и отпуск — в шахтной печи 21. Печи и баки обслуживаются электроталью.

Закалка и отпуск штампов осуществляются с нагревом их в трех камерных печах 22. Для отпуска хвостовиков штампов предусмотрены соляные ванны 23, которые также используют для нагрева под закалку инструмента из углеродистой и низколегированной стали. Низкий отпуск инструмента проводят в масляных ваннах 24. Для газовой цементации, нитроцементации, азотирования предусмотрены две шахтные печи 26. Все электрические печи и ванны имеют трансформаторы и щиты управления.

Качество инструмента контролируют на отдельном участке, расположенном рядом с отпускными печами. Точный инструмент контролируют в специальной комнате. На контрольном участке находится установка 25 для обработки инструмента холодом. После контроля инструмент через промежуточную кладовую направляется для доводки и заточки на механический участок инструментального цеха.

Для повышения стойкости инструмента имеется участок цианирования с двумя тигельными ваннами 26.

В термическом отделении предусматривается участок т. в. ч. для нагрева под закалку и наварку инструмента с ламповым генератором мощностью 100 кВт и небольшая хромировочная.

При массовом производстве инструмента прибегают к организации поточных линий. В этом случае для закалки режущего инструмента применяют ступенчатую закалку.

Глава VII

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Строительство новых, реконструкция действующих и техническое перевооружение предприятий осуществляются на основе разрабатываемых проектов. Проект—это комплекс технической документации, содержащей основные решения в виде чертежей, технико-экономических расчетов, пояснительных записок и других материалов, необходимых для осуществления строительства.

Проектирование предприятий и сооружений осуществляется на основе утвержденных в установленном порядке схем развития и размещения отраслей промышленности и схем развития и размещения производительных сил по экономическим районам и союзным республикам, разработанных на период не менее чем 15 лет (по пятилеткам). Через каждые 5 лет в эти схемы вносятся уточнения и они составляются на новое пятилетие.

Содержание, состав и порядок разработки и утверждения проектов и смет установлены инструкцией Госстроя СССР (СН 202—81). Инструкция обязательна для всех строительных и проектных организаций.

Под новым проектом понимается строительство, осуществляемое на новых площадках. Реконструкция—это полное или частичное переоборудование производства с заменой устаревшего оборудования механизацией и автоматизацией, обеспечивающими увеличение объема производства, расширение ассортимента или повышение качества продукции, на существующих площадях. Техническое перевооружение сводится к комплексу мероприятий по повышению технического уровня агрегатов, установок, улучшению организации производства, направленных на обеспечение прироста продукции, улучшения ее качества и других показателей предприятия, но без расширения площадей.

С целью ускорения переоборудования производства и повышения его эффективности следует основное внимание сосредоточить на реконструкции и техническом перевооружении заводов. В XII пятилетке предусмотрено на эти цели направить свыше 200 миллиардов рублей.

Проект, утвержденный в установленном порядке, является основным документом, по которому осуществляется строительство и финансирование. Организация проектирования в СССР основывается на постановлениях партии и правительства и указаниях Госстроя СССР по вопросам проектно-сметного дела и капитального строительства.

С целью ускорения развития промышленности и интенсификации производства следует больше внимания уделять реконструкции цехов с заменой устаревшего оборудования, с расширением механизации и автоматизации производства, внедрением поточных линий, роботов-манипуляторов, автоматизированных систем управления производством, в первую очередь в проектировании.

Первым этапом проектирования является схема развития отрасли (обосновывающая документация). В составе схемы разрабатываются материалы с необходимыми

расчетами, обосновывающие целесообразность проектирования, строительства, реконструкции или расширение предприятия. Определяется расчетная стоимость строительства (реконструкции, расширения) и другие основные технико-экономические показатели объектов. Предусматриваются мероприятия по комплексному использованию природных ресурсов и защите окружающей среды.

Вторым этапом служит рабочий проект (РП) и рабочая документация (РД), которые могут вестись в одну или две стадии. Для предприятий и сооружений, строительство которых может осуществляться по типовым и повторно применяемым проектам, а также для технических несложных объектов проектирование ведется в одну стадию. При строительстве предприятий с новым производством и крупных, сложных промышленных комплексов проектирование проводится в две стадии.

При продолжительности проектирования свыше двух лет разрабатывается первая очередь. Однако в состав проекта первой очереди включаются основные решения для схемы генплана и расчет стоимости на полное развитие с разбивкой по очередям.

1. Содержание проекта

Проект включает: а) общую пояснительную записку; б) технологические решения; в) строительные решения; г) организацию строительства; д) жилищно-гражданское строительство; е) сметную документацию; ж) паспорт проекта.

Общая пояснительная записка должна содержать: исходные данные для проектирования; краткую характеристику объекта; оценку оптимальности его размещения; данные о проектной мощности объекта, номенклатуре, качестве и техническом уровне продукции, сырьевой базе; решения по организации, специализации и кооперированию основного и вспомогательного производства; сведения о потребности в топливе, воде, тепловой и электрической энергии, трудовых ресурсах и о возможности обеспечения этой потребности; изложение и оценку прогрессивности и экономичности основных проектных решений; состав предприятия, очередность строительства, объем основных работ; результаты выполненных экономических расчетов и оценку определенных в проекте технико-экономических показателей объекта с их сравнением с показателями лучших отечественных и зарубежных аналогов; данные по экономике производства,

эффективности капитальных вложений и использованных в проекте достижений науки и техники; сведения о соблюдении требований норм, правил, инструкций и государственных стандартов, в том числе норм по взрыво- и пожаробезопасности.

Основные чертежи: план размещения предприятия и сооружения с указанием на нем существующих и проектируемых внешних коммуникаций и инженерных сетей; схема генерального плана, на которую должны быть нанесены существующие, проектируемые, реконструируемые и подлежащие сносу здания и сооружения, объекты благоустройства и озеленения; принципиальные решения по внутриплощадочным инженерным и транспортным коммуникациям; трассы основных электрических сетей.

Технологические решения содержат: производственную расчетную программу, краткую характеристику и обоснование решений по технологии производства, трудоемкости изготовления продукции, механизации и автоматизации технологических процессов и управления производством, сравнение их с передовыми техническими решениями отечественной и зарубежной практики.

Решения по автоматизации технологических процессов разрабатываются в соответствии с указаниями по проектированию схем автоматизации технологических процессов. Предложения по организации контроля за качеством продукции содержат состав и оценку прогрессивности выбранного оборудования, показатели его загрузки; обоснование необходимости приобретения технологического оборудования по импорту; характеристику цеховых и межцеховых коммуникаций.

Основные чертежи: принципиальные схемы технологических процессов и механизации производства; технологические компоновки по цехам с указанием размещения крупного уникального оборудования и транспортных средств; схемы грузопотоков; схемы функциональной и организационной структур; схема автоматизации технологических процессов; принципиальные схемы электроснабжения. При строительстве объектов по типовым проектам приводятся каталожные листы на эти проекты, а по повторно применяемым индивидуальным проектам — основные чертежи, входящие в состав проектов.

Строительные решения содержат краткое описание и обоснование основных архитектурно-строительных решений по зданиям и сооружениям с оценкой их прогрессивности. Основные чертежи: планы, разрезы и фасады зданий

и сооружений, строящихся по индивидуальным проектам со схематическим изображением основных несущих и ограждающих конструкций; для строящихся по типовым проектам — каталожные листы; схемы трасс внешних инженерных и транспортных коммуникаций.

Организация строительства. Состав, объем и содержание проектной документации предусматриваются инструкцией Госстроя СССР по разработке проектов организации строительства и производства работ.

Сметная документация включает ведомости стоимости строительства объектов, входящих в пусковой комплекс.

Паспорт проекта составляется по установленной форме.

В проекте применяют расчеты по укрупненным показателям (укрупненным сметным нормам, укрупненным расценкам) и данным объектов-аналогов. Рабочий проект имеет те же разделы, что и проект но они обосновываются рабочей документацией и данными каталогов, ценников и рабочих чертежей.

При разработке проектно-сметной документации, кроме законов СССР, указов Президиума Верховного Совета СССР, решений правительства необходимо руководствоваться следующими документами: Государственными стандартами; нормативными документами по проектированию и строительству, утвержденными Госстроем СССР или министерствами и ведомствами СССР, органами государственного надзора и общественными организациями по согласованию с Госстроем СССР; документами по основным направлениям в проектировании объектов соответствующих отраслей; нормами технологического проектирования; общесоюзными и территориальными каталогами типовых сборных железобетонных металлических конструкций и изделий для всех видов строительства; каталогами на все виды оборудования, приборы и др.

2. Подготовка производства

Подготовка может быть конструкторской и технологической. Для термиста основным является технологическая подготовка производства (ТПП), а в конструкторской подготовке его роль сводится к консультации отработки конструкции изделия. В ТПП участие термиста в основном заключается в разработке маршрутной технологии, группировке деталей, проектировании и внедрении в производство технологических процессов изготовления и обработки, учитывая типизацию и унификацию элементов, разработке контроля качества деталей, узлов и изделий. В ТПП входит также проектирование, изгото-

товление и отладка средств механизации и автоматизации производства, специальной оснастки, приспособлений, вспомогательного, режущего, штамповочного и измерительного инструментов, необходимых для внедрения спроектированных технологических процессов, научные и инженерно-технические обоснования и расчеты, связанные с выбором технологии, нестандартного оборудования, оснастки, инструмента; применение методов и средств ЭВМ для оптимизации и автоматизации процессов; разработка прогрессивных режимов обработки и норм времени на выполнение спроектированных технологических процессов; норм расхода материалов, инструментов и ресурсов для технологических целей; проектирование и внедрение передовых форм организации производства — конвейерных и поточных линий, комплексно-механизированных и автоматизированных участков, научной организации труда, автоматизированных систем управления; выполнение расчетов по экономическому обоснованию целесообразности принятых технологических решений, эффективности технологии и организации производства новых изделий.

Общий объем работ по ТПП зависит от конструктивно-технологических характеристик изделия, степени их отработки и характера производства (массовый, серийный). Важное значение имеет знакомство с действующими ГОСТами и ОСТами, наличие аналогов разрабатываемого изделия, подбор сведений об имеющихся технологических решениях по изготовлению и обработке аналогичных изделий, новых технологических процессах, видов обработки, нестандартного оборудования, оснастки, инструмента.

Технологические процессы, оборудование, приборы, конструкции, изделия, впервые примененные или разработанные в проекте, подлежат проверке на патентную чистоту с составлением патентного формуляра.

Выходными технологическими документами ТПП служат: перечень деталей и узлов изделий, карты группировки деталей, чертежи заготовок, маршрутные технологические карты. Конструкторские операционные технические карты с эскизами, технологические инструкции, карты контроля, карты сборки изделия. Списки нестандартного, покупного и импортного оборудования и графики его загрузки; перечень необходимого инструмента, специальной и измерительной аппаратуры; ведомость расхода материалов, инструмента и их нормы расхода; расчет производственных площадей; ведомость необходимой рабочей силы и обслуживающего персонала.

В технологической подготовке производства значительное участие принимают металловеды-термисты. Наиболее важной частью их участия является разработка технологических процессов. В первую очередь совместно с конструктором устанавливаются требования к изделиям на основе их службы. В соответствии с условиями работы выби-

рают марки сталей или сплавов, намечаются способы изготовления и упрочнения, выявляется необходимый уровень технологичности изделий и др. Совместно с технологами смежных производств термисты участвуют в разработке отдельных этапов процессов изготовления изделий и составлении схемы их прохождения по цехам, т. е. в расцеховке. Основные требования к деталям записываются в технических условиях и на чертеже детали.

Термисты, совместно с отделом главного металлурга, участвуют в технологическом контроле чертежей в отношении правильности выбора стали и возможности посредством термической обработки получить заданные свойства.

Следующий этап подготовки производства, в котором участвуют термисты, — это определение расположения термических отделений на заводе с учетом связи термической обработки со смежными производствами на основе технологических и организационных данных и грузопотоков завода.

Термические отделения располагают ближе к тем цехам, продукция которых составляет наибольший объем в их программе. Часто отделения термической обработки размещают непосредственно в основных производящих (прокатных, кузнечно-прессовых, литейных) или механосборочных цехах.

При расположении термических отделений следует учитывать господствующее направление ветров, чтобы дым, пыль, газы не заносились на площадки смежных цехов. Необходимо также предусмотреть возможность последующего расширения термических цехов и отделений.

3. Система автоматизированного проектирования (САПР)

Значительно сокращаются трудоемкость и сроки проектирования деталей и технологических процессов, повышается производительность труда проектировщиков в 4—5 раз и более при использовании системы автоматизированного проектирования (САПР).

Основной функцией САПР является осуществление автоматизированного проектирования объектов и их основных частей на основе применения современных математических методов и средств вычислительной техники с нахождением оптимальных решений при наименьшей затрате ресурсов. Научно-технический уровень САПР во многом определяется автоматизацией систем управления произ-

водственными процессами (АСУ ПП) и автоматизацией систем управления и организации производства (АСУП). Чем глубже разработаны научно-технические знания в данной конкретной отрасли производства и теория проектируемых объектов, тем успешнее можно применять автоматизацию процессов проектирования.

В соответствии с ГОСТ 23501.0—79 в каждой автоматизированной системе проектирования регламентируются следующие базовые обеспечения: техническое, программное, информационное, математическое, методическое и организационное.

К техническому обеспечению САПР относятся устройства вычислительной и организационной техники, средства передачи данных и другие устройства или их сочетание, целью которых является ввод, обработка и отражение информации. В САПР наибольшее распространение получили ЕСЭВМ и малые ЭВМ типа СМ и др. Основными характеристиками ЭВМ, используемых в САПР, являются объем оперативной памяти, быстродействие, число и скорость мультиплексных каналов. Последние дают возможность одновременного обслуживания нескольких пользователей. По классу используемых средств и ориентации выделяются четыре уровня САПР: мини-САПР, которые используют для автоматизации рабочих мест (АРМ); САПР среднего уровня для отраслевой ориентации, выполняемых в рамках одной проектной организации; большие САПР (общепромышленные) и сверхбольшие САПР (межотраслевые).

Для проектирования деталей и узлов невысокой сложности, изготовления деталей и технологии их обработки (включая термическую обработку), изготовления технологической оснастки и др. наиболее широко применяют мини-САПР с использованием мини-ЭВМ. Мини-САПР на малых ЭВМ значительно сокращают время проектирования, весьма компактны и дешевы, поэтому доступны любой проектной организации.

При сложных процессах, требующих большого объема памяти или быстродействия, их можно разбить на ряд простых с управлением малыми ЭВМ. При САПР должна быть обеспечена связность отдельных элементов проекта и всего объекта в целом на всех стадиях разработки. Базовые конфигурации высших уровней строят на основе базовых конфигураций низшего уровня.

Поскольку при проектировании требуется наблюдение за текущим состоянием проекта и формированием проект-

ной документации САПР включает средства машинной графики и отображения алфавитно-цифровой информации. К таким средствам относятся дисплеи (алфавитно-цифровые, графические) и графопостроители. Пользователь может воздействовать на процесс проектирования, изменяя или дополняя изображение на дисплее с помощью светового пера или функциональной клавиатуры. Для документирования проекта используют графопостроители рулонного и планшетного типа и печатающие устройства. Максимальная скорость графического построения 50—200 мм/с с размером рабочего поля до 840×1600 мм. Важной особенностью САПР являются высокие темпы развития, обновления и смены.

Программное обеспечение включает документы с текстами программ, программы на машинных носителях и документы по эксплуатации. Оно делится на общесистемное и специализированное. К функциям общесистемного обеспечения САПР относятся управление процессом вычисления, ввод, вывод и обработка информации; диалоговая взаимосвязь с пользователем в процессе проектирования; хранение, поиск, анализ, модификация данных, защита их целостности; решение общематематических задач; контроль и диагностика (ГОСТ 23501.4—79). Общесистемная информация размещается во внешней памяти. Специализированная часть предназначена для решения конкретных проектных задач. Состав специализированного программирования индивидуален и зависит от объекта проектирования, специфики и объема задач, решаемых конкретной САПР. Разработку прикладных программ проводят на основе математического обеспечения с использованием конкретных методов научных дисциплин, вычислительной математики, программирования — она является комплексом научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Разработка программных средств трудоемкий этап, поэтому важно использовать типизацию и унификацию проектных процедур, что даст сокращение сроков разработки САПР.

Совершенствование программных и технических средств САПР обеспечивается развитием операционных систем и специализированных микропроцессоров.

Информационное обеспечение является ядром САПР. Оно содержит описание стандартных проектных процедур, проектных решений, типовых элементов, комплектующих изделий, материалов и другие данные,

а также блоки данных на машинных носителях с записью указанных документов. Основные компоненты информационной подсистемы — это структура данных, структура памяти, система кодирования, обмен с пользователем, виды управления и характер обработки.

Задача информационной подсистемы состоит в сборе, хранении, поиске, а также пополнении и выдаче всей информации для процесса проектирования. Информационные данные при создании САПР должны быть соответствующим образом закодированы, структуризованы и размещены в запоминающем устройстве ЭВМ. База сведений образует банк данных (БД) с системой управления базой данных (СУБД); последняя представляет собой программные комплексы, обеспечивающие поиск и модификацию данных. В настоящее время в СССР и других странах создано большое количество СУБД, построенных на разных принципах (СЕТЬ, ОКА, БАНК, ИНЕС и др.).

Информационная система пополняется данными, получаемыми пакетами проектирующих программ, из которых извлекается информация для последующих этапов проектирования. В пакетную обработку входит описание проектируемого объекта на входном языке, передача описания на перфорирующее устройство и далее выдачи перфокарт на оперативное обслуживание.

В качестве языка, связывающего человека с ЭВМ и служащего для описания проектной информации, алгоритмов (программ) и их обработка на вычислительной машине, чаще применяют ФОРТРАН, ПЛ/1 и Бейсик. Язык проектирования и терминология составляют лингвистическое обеспечение САПР. Термины и определения, относящиеся к САПР, закрепляются в ГОСТах, нормалах, руководящих материалах.

Важной характеристикой САПР является степень ее информации с окружающей средой.

В связи со значительно увеличивающимся объемом информации проектант на ее поиск затрачивает до 50—60 % времени, поэтому надлежащая постановка информационного обеспечения имеет важное значение.

Информационное обеспечение быстро развивается и вероятно появление интеллектуальных систем, которые позволят пользователю общаться с машиной на естественном языке.

Математическое обеспечение САПР представляет собою математические методы, модели и алгоритмы, на основе которых осуществляется процесс автома-

тизированного проектирования. Если информационное обеспечение САПР определяет содержание, направление движения информации и ее объем, то математическое обеспечение выявляет закономерности переработки информации в ходе выполнения проекта.

Основными методами математического обеспечения являются моделирование и оптимизация проектных решений с нахождением алгоритмов для требуемых критериев качества.

Объектами моделирования являются изделия и процессы конструирования, производства, установления технологии, эксплуатации и технологического оснащения. Математическая модель является формализованным описанием структуры изделия и его параметров, или технологических процессов, или технологического оснащения (ГОСТ 23501.602—83). В общем случае математическая модель представляет собой ряд систем уравнений, связывающих физические параметры, характеризующие состояние объекта. При использовании математических уравнений стремятся получить аналитическое выражение связи выходных и входных параметров объекта. Обычно при составлении математических моделей в уравнениях фигурируют не все фазовые переменные физической системы, а только часть из них, достаточная для однозначной идентификации состояния объекта (базисные координаты). Через базисные координаты вычисляют и остальные переменные. После формирования математической модели объекта и решения системы уравнений, входящих в математическую модель, вычисляют выходные параметры объекта.

Формализация построения моделей позволяет реализовать принцип непрерывности автоматизированного проектирования.

С целью быстрого решения задач оптимизации на ЭВМ разрабатывается значительное количество пакетов прикладных программ (ППП). В СССР разработка ППП централизована. Кроме того, имеется большое количество ППП в отдельных отраслях и проектных институтах. Автоматизированная разработка технической задачи является творческим процессом проектирования и поэтому требует квалифицированных проектировщиков, чтобы сочетать их знание и умение с возможностями, предоставляемыми САПР.

Методическое обеспечение — документы, в которых отражены состав, правила отбора и эксплуата-

ции средств автоматизации проектирования (ГОСТ 23501.118—83).

Организационное обеспечение включает положения, инструкции, приказы, штатное расписание, квалификационные требования и другие документы, регламентирующие организационную структуру подразделений и их взаимодействие с комплексом средств автоматизации проектирования.

Создание САПР — это многоступенчатый процесс, включающий по ГОСТ 23501.3 — 79 следующие стадии:

- предпроектные исследования, заключающиеся в оценке возможности создания САПР, формирование исходных данных для разработки технического задания, в согласовании и утверждении (ГОСТ 23501.7—80);

- техническое задание, включающее разработку, согласование и утверждение технического задания (ГОСТ 23501—79);

- техническое предложение, сводящееся к выбору и обоснованию рационального варианта САПР, разработке комплекта документации, согласованию и утверждению технического предложения (ГОСТ 23501.3—79);

- эскизный проект, включающий разработку принципиальных решений по созданию САПР и документации (ГОСТ 23501.5—80);

- технический проект, сводящийся к разработке окончательных решений по созданию САПР и документации (ГОСТ 23501.6—80);

- рабочий проект, в котором разрабатывается рабочая документация по САПР, проводится согласование и утверждение рабочего проекта (ГОСТ 23501.11—81);

- изготовление (получение), отладка и испытание (ГОСТ 23501.14.81);

- ввод в действие (ГОСТ 23501.15—81).

При создании САПР на базе типовых подсистем стадии предпроектных исследований, технических предложений и эскизного проекта не являются обязательными. Они не проводятся, а иногда, при наличии типового проекта, исключается и технический проект.

Примерная схема автоматизированного проектирования следующая: (рис. 106). Сначала формируется техническое задание на разработку изделия или системы обработки. Далее, осуществляется поиск среди существующих изделий или систем обработки таких, которые удовлетворяют требованиям на разработку, используя банк данных САПР. Если в САПР нет изделий с требуемыми характеристиками,

то проводится поиск изделий-прототипов с характеристиками, близкими к требуемым, учитывая допустимые отклонения, назначаемые конструктором. При отсутствии таких

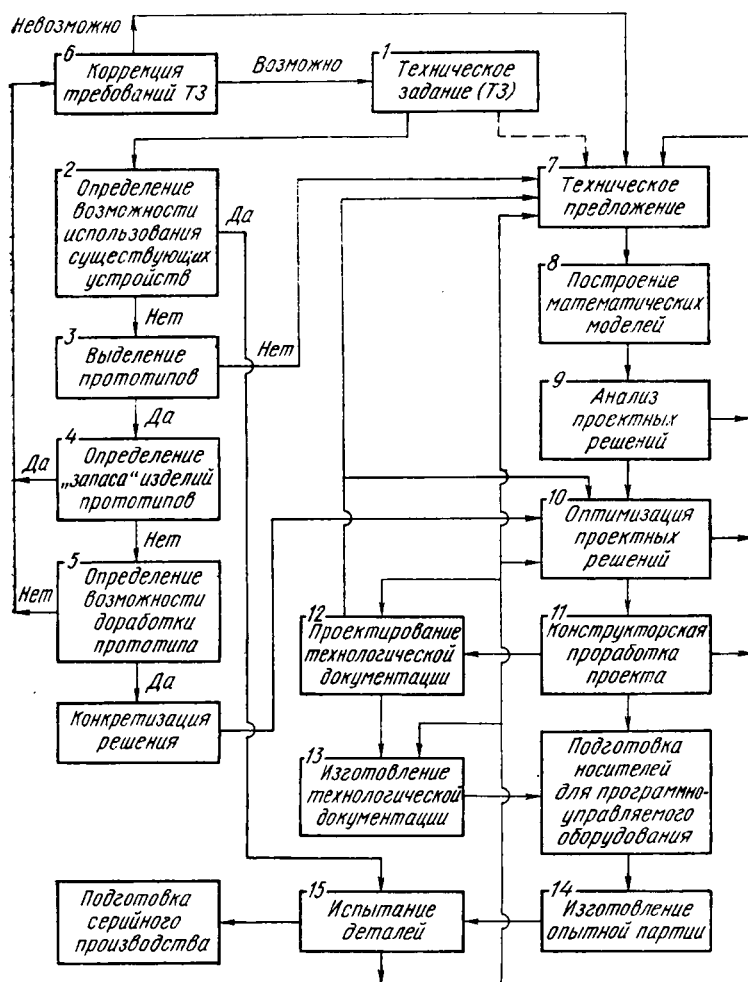


Рис. 106. Примерная укрупненная схема процесса автоматизированного проектирования

данных определяется возможность доработки изделий или системы (оптимальный выбор параметров, изменение материалов, методов изготовления и обработки и др.).

Если исчерпаны все возможности по использованию существующих изделий или систем обработки, то осуществляется проектирование принципиально нового изделия или его обработки. При этом строится физическая модель, отражающая требуемые процессы и явления. Модель может быть задана в виде схемы на экране дисплея или получена с помощью ЭВМ в диалоговом режиме с пользователем. Проводится построение или выбор математического аппарата по анализу проектных решений и осуществляется инженерный анализ принятых проектных данных по разработке новых изделий или систем. Далее, следует оптимизация полученных проектных решений по сформированным функциям качества. При удовлетворении требованиям, предъявляемым техническим заданием на той или иной стадии проектирования проводится проработка отобранных решений, окончательный выбор вариантов реализации изделий или системы обработки, выпускается конструкторская документация, затем осуществляется технологическая подготовка производства (проектируются техпроцессы, выбирается основное и вспомогательное технологическое оборудование, технологическая оснастка и т. п.), изготавливается технологическая и проектно-сметная документация. Готовятся носители для программно-управляемого оборудования. Далее, формируют предложения для промышленного изготовления изделий или систем.

При положительном решении той или иной стадии проектирования следует испытание изделий. Завершается процесс автоматизированного проектирования подготовкой серийного производства.

Для процессов термической обработки технологический САПР несколько упрощается. Первым этапом, если это необходимо, проводится предварительное исследование операций термической обработки или работы оборудования и формируется техническое задание на проектирование. Затем используется банк данных по материалам и технологическим процессам термической обработки и банк данных по термическому оборудованию. Проводится кодирование, разработка алгоритмов с анализом и оптимизацией проектных решений и выдача документации, в том числе технологических карт. Для термиста, при проектировании процессов и установок, связанных с тепло- и массо-переносом, важную роль играют уравнения теплопроводности, связывающие изменение температуры во времени и пространстве, а также уравнения диффузии, отражающие изменение концентрации частиц во времени и пространстве.

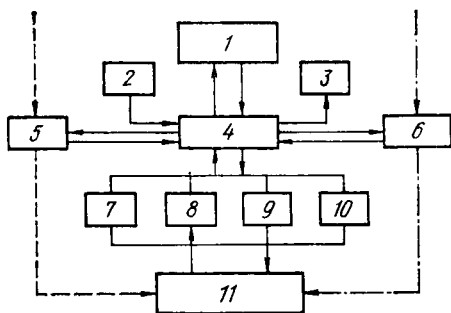
Данные, зависимости выражаются дифференциальными уравнениями с теми или иными граничными условиями.

Для нахождения оптимальных проектных решений и алгоритмов используют методы программирования (линейного, нелинейного, динамического и др.) с разработкой вариантов. Для оценки оптимальных решений применяют регрессионно-корреляционный анализ, с помощью которого может быть найден экстремум исследуемой функции. В термической обработке такими задачами могут быть: разработка вариантов с целью нахождения наиболее целесообразных процессов обработки — термической (Т.О.), химико-термической (ХТО) и термомеханической (ТМО); поиск оптимального режима процесса нагрева и охлаждения изделий, расчет элементов теплового баланса, нахождение данных для управления глубиной слоя и структурой при химико-термической обработке, конструкторские расчеты по оборудованию и т. п.

В качестве примера ранее (рис. 1; 14; 15) приведены были алгоритмы процессов нагрева изделий, цементации и азотирования.

Имея математическую модель отражающую реальный процесс, можно задавая определенные технологические режимы, прогнозировать структуру, фазовый состав и глубину слоя. И, наоборот, при заданных характеристиках слоя, можно определить законы изменения технологических параметров для получения этих характеристик.

Рис. 107. Схема автоматизированного технологического комплекса для ТО и ХТО с ЭВМ в контуре управления



Общая схема автоматизированного технологического комплекса для ТО и ХТО с ЭВМ в контуре управления приведена на рис. 107. Основными блоками комплекса являются печь 11, оснащенная соответствующим технологическим оборудованием, и управляющий вычислительный комплекс ЭВМ, МС (поз. 1), которые имеют устройство ввода 2 и вы-

вода 3 информации. Обмен сигналами между технологическим оборудованием осуществляется через интерфейс 4, включающий преобразование сигналов в форму, воспринимаемую ЭВМ и исполнительными механизмами, регулирующими состав атмосферы 7, последовательность технологических операций 8, температуру 10. Кроме технологической информации, ЭВМ получает сигналы от датчиков аварийной ситуации 9, обеспечивающих безопасность процесса.

Через интерфейс идет управление газоприготовительной системы 6 и печными нагревателями 5.

Все автоматизированные комплексы ТО и ХТО имеют приведенную структуру, а различаются они только техническими и математическими средствами, определяющими их функциональные возможности.

Кроме печей, технические средства включают механическое оборудование, газоприготовительные системы, приборы контроля и управления (датчики, регуляторы, исполнительные механизмы).

Для автоматизированного проектирования основного оборудования — термических печей разрабатываются математические модели. Математическая модель колпаковой газовой одностопной печи для отжига рулонной стали описывает процессы теплообмена в системе колпак — продукты сгорания — муфель — защитный газ — рулоны. Тугомотанные рулоны рассматриваются как тела с анизотропией теплофизических свойств, а уравнение нестационарной теплопроводности решается при краевых условиях III рода.

Фирмой «Tissen» (ФРГ) спроектировано и построено отделение с автоматизацией колпаковых печей листопрокатного цеха холодной прокатки, имеющего 108 стенов и 44 колпака. Внедрена система управления от центральной ЭВМ, а на группу 18—24 стенов установлены микропроцессоры. Система может запоминать до 100 различных заданий на отжиг и 15 таблиц параметров. Кроме слежения, регулирования и регистрации хода отжига, управления циркулирующей средой, система осуществляет организацию производственного процесса, включая движение колпаков и статистический анализ. Отделение со всеми колпаковыми печами представляется на экране цветного дисплея, на котором каждому стенду соответствует своя клетка.

Примером модели работы термических печей непрерывного действия может служить математическая модель башенной печи для светлого отжига жести, в основу которой положен расчет теплотехничес-

ких параметров, обеспечивающих оптимальные тепловые режимы зон, управляемых с помощью ЭВМ. Нагрев ленты рассчитывается на основе системы уравнений для эффективных тепловых потоков поверхностей, участвующих в лучистом теплообмене. Расходы топлива для нагрева и воздуха или газа для охлаждения полосы находят из уравнений мгновенных тепловых балансов и уравнений теплообмена.

При высоких скоростях и меняющихся размерах полосы регулирование по температуре зон может привести к нарушению температурного режима вследствие инертности контура регулирования температуры. В этом случае разработана система управления режимом отдельных камер печи по массе полосы.

4. Рабочее проектирование термических цехов

При проектировании термических цехов разрабатывают чертежи нестандартного термического оборудования для нагрева (печи, ванны, высокочастотные, лазерные, газопламенные и другие установки), для охлаждения (закалочные баки и машины, спрейерные устройства, охладительные камеры, установки обработки холодом и др.); конструкции автоматизированных нестандартных агрегатов с обслуживающими механизмами, роботами и автоматизацией их работы; схемы автоматического управления технологическими процессами; установки приготовления контролируемых атмосфер, составленные из стандартных узлов; компоновки маслоохладительных установок; конструкции устройства для неразрушающего контроля качества и свойств изделий после термической обработки; планировки оборудования термического цеха с указанием инженерных коммуникаций и подъемно-транспортных средств; чертежи приспособлений используемых при термической обработке и др.

Проводится детализовка рабочих чертежей нестандартного оборудования с составлением спецификаций деталей и метизов. Чертежи оформляют в соответствии с ГОСТ и правилами ЕСКД.

В пояснительной записке рабочего проекта по термическому цеху, кроме разделов «общая часть», «технологические решения», указанных ранее в «проекте», приводятся конкретные данные по вопросам расчета годовой производственной программы термического цеха, выбора основного оборудования и топлива, выбора дополнительного и вспомогательного оборудования, определения фондов времени работы оборудования.

В технико-экономических расчетах приводится определение себестоимости термической обработки, указываются затраты на оборудование и расчет капитальных вложений, данные по труду и заработной плате, энергетике и материальном снабжении. Определяется смета цеховых расходов, калькуляция себестоимости термической обработки деталей или тонны выпускаемой продукции. Кроме того, имеются особенности в строительном оформлении термических цехов.

Расчет годовой производственной программы цеха (отделения)

Производственная программа служит основой для проектирования цеха (отделения). Первоначально, исходя из годовой программы и количества одинаковых или однотипных деталей определяется тип производства (массовое, серийное, единичное).

Знание типа производства необходимо для выбора технологических процессов и оборудования. При индивидуальном производстве приходится ориентироваться на камерные печи и универсальные технологические процессы. При массовом производстве для каждой детали или группы однотипных деталей назначается свой технологический процесс, графики термической обработки, применяются проходные автоматизированные печи, нагревательные установки, поточные линии и агрегаты.

Исходными данными для расчета производственной программы служат заданный объем производства в натуральном выражении; номенклатура деталей, сгруппированная по типам деталей и процессам обработки; масса детали и количество в комплекте.

Определяется программа выпуска ($P_{\text{вып}}$) и программа запуска с учетом брака ($P_{\text{зап}}$) по каждой детали или группе в тоннах и штуках. Часто годовая программа задается в выпуске машин (например, 100 000 автомобилей или 50 000 комбайнов).

Расчет годовой производственной программы рекомендуется представить в виде таблицы (табл. 10) с указанием по каждому наименованию выпуска и запуска в штуках и тоннах. При проектировании термических отделений и участков в прокатных цехах производственная программа рассчитывается по маркам сталей и профилям проката, подлежащим термической обработке. Для оперативности контроля за производством рассчитывают месячные, недельные и сменносуточные графики запуска и выпуска де-

Таблица 10. Годовая производственная программа

№ пп.	Наименование деталей	Габаритные размеры, мм	Масса, кг		Годовая программа				Технические требования к деталям
			одной де- тали	на изде- лие	выпуска		запуска		
					шт.	т	шт.	т ¹	
1	Шестерня								
2	Вал								
3									
4									
Всего:						.			

талей. Это позволяет обеспечивать производство в соответствии с заданным ритмом; а рабочим анализировать текущее выполнение социалистических обязательств.

При большой спецификации обрабатываемых деталей целесообразно использовать групповой метод с определением годовой программы, применяя ЭВМ с одновременным распределением программы по операциям технологического процесса (табл. 11).

Выбор топлива и основного оборудования

Выбор основного вида топлива или электроэнергии для печей проводят на основании принятого технологического процесса термической обработки и наличия вида топлива и энергии на заводе. В условиях завода намечаются виды топлива, энергии, которые можно использовать для выполнения заданного процесса термической обработки (получения требуемой температуры нагрева, точности ее регулирования, необходимой атмосферы печи и т. п.). По возможным к применению видам топлива или электроэнергии определяется стоимость нагрева в зависимости от цены на топливо и энергии, их предполагаемого расхода с учетом к. п. д. и условий эксплуатации.

По стоимости энергии наиболее дешевым видом является природный газ. При стоимости природного газа (с теплотой сгорания 34—36 мДж/м³) 3,0 коп. за 1 м³, мазута (с теплотой сгорания 40—42 мДж/кг) 4,0 коп. за 1 кг и стоимости электроэнергии 1,8 коп. за 1 кВт (3,6 мДж), 10 мДж тепла будут стоить: на природном газе 0,85 коп., на мазуте 0,97 коп, и электроэнергии 5,00 коп. Учитывая, что к. п. д. электрических печей в 2—2,5 раза выше, чем

Таблица 11. Годовая производственная программа с распределением

Наименование группы деталей	Марки сталей	Масса деталей от . . . до . . . кг	Производственная программа, т/год	Технические условия					
				твёрдость, НВ	временное сопротивление, МПа	предел текучести, МПа	Ударная вязкость, МДж/м ²	глубина упроченного слоя, мм	дополнительные данные

пламенных печей. стоимость тепла в природном газе будет в 2,5—3 раза меньше.

Однако если применять электрические печи и электронагревательные аппараты с большим к. п. д. и высокой производительностью, то электропечи смогут конкурировать с пламенными печами на природном газе. В некоторых процессах термической обработки электроэнергия является или единственно возможным видом энергии или предпочтительным (непосредственный электронагрев и индукционный, нагрев в электродных соляных ваннах; термическая обработка в низкотемпературных печах, особенно размещаемых в механосборочных цехах; термическая обработка на заводах, не имеющих источников газоснабжения или имеющих дефицит природного газа, и на заводах в районах дешевой электрической энергии.

При выборе основного оборудования (конструкций печей и нагревательных аппаратов) первоначально обсуждаются типы конструкции печей или нагревательных устройств, которые можно применить для осуществления принятых технологических процессов, учитывая характер и объем производства (массовое, единичное).

Следует учитывать имеющиеся типы конструкций нагревательных установок и электрических печей, разработанные ВНИИЭТО (Всесоюзным научно-исследовательским институтом электротермического оборудования) и пламенных печей ВНИПИ «Теплопроект» (Всесоюзным научно-исследовательским проектно-технологическим институтом) и Стальпроектом, а в черной металлургии типоряды, разработанные Гипромезом. Типажими предусмотрено использование стандартизованных и унифицированных узлов и деталей. В настоящее время в серийном порядке специализированные заводы изготовляют установки, печи и агре-

по операциям технологического процесса

Распределение программы по операциям технологического процесса, т/год										Примечание	
отжиг	нормализация	химико-термическая обработка	закалка с нагревом			отпуск		дополнительные операции			
			объемным в печах	концевым в ваннах	поверхностным	высокий	низкий	мойка	очистка от окалины		правка

гаты лишь с электронагревом. Пламенные печи и другое оборудование пока изготовляют средствами заводов потребителей.

В конструкциях печей и нагревательных установок, применяемых для термической обработки заданных деталей, описываются их преимущества и недостатки, при этом указываются также к. п. д., производительность, механизация и автоматизация процессов загрузки, движения деталей по печи, качество нагрева, простота конструкции и эксплуатации, потребность в рабочей силе для обслуживания, затраты на ремонт, первоначальная стоимость печи или установки, возможность применения контролируемых атмосфер и т. п. Проводится сопоставление технико-экономических данных работы печей, учитывая объем годового задания для выбора оптимального варианта.

В значительной степени выбор оптимального варианта оборудования зависит от годовой программы и себестоимости термической обработки. Примером могут служить выбор типа печи для цементации.

Для газовой цементации в единичном или серийном производстве заводы применяют муфельные шахтные печи типа СШЦ-6,12/9, а в массовом поточном производстве безмуфельные толкательные печи одно- или многорядные. Покажем целесообразность выбора того или иного типа печи в зависимости от объема производства при выпуске: 5000, 3000, 2000 и 1000 т/год из следующих данных:

Тип печи	Шахтная печь (вариант 1)	Толкательная-без- муфельная (вариант 2)
Производительность печи:		
кг/ч	40	400
т/год	250	2500

Примерная стоимость единицы оборудования, руб	4000	60000
Переменные затраты, руб/т	26	13

Годовой фонд времени работы оборудования принят 6224 ч. Условно-постоянные расходы 25 % от стоимости оборудования. Глубина цементации 0,8 мм. Результаты расчетов при различных годовых программах сведены в табл. 12.

При массовом и серийном производстве, обеспечивающем 60—100 % загрузки печей, более эффективным является применение толкательных безмуфельных печей газовой цементации, несмотря на более высокие капитальные затраты.

После выбора типа конструкции печи дается ее подробное описание и определяются основные размеры (ширина, длина), выполняется чертеж печи и приводится техническая характеристика печи.

Таблица 12. Расчет себестоимости, приведенных затрат и средней загрузки цементационных печей

Номер вари- анта	Количество печей	Капитальные затраты, тыс. руб.	Текущие годовые расходы, тыс. руб.			Приведенные годовые затраты, тыс. руб.	Загрузка, %
			постоян- ные	перемен- ные	итого		
Годовая программа 5000 т							
1	20	80	20	130	150	162,0	100
2	2	120	30	65	95	113,0	100
Годовая программа 3000 т							
1	12	48	12	72	84	91,2	100
2	2	120	30	39	69	87,0	60
Годовая программа 2000 т							
1	8	32	8	52	60	64,8	100
2	1	60	15	26	41	50,0	80
Годовая программа 1000 т							
1	4	16	4	26	30	32,4	100
2	1	60	15	12	27	37,0	40

Длина и ширина пода печи определяются размерами обрабатываемых деталей, принятой укладкой их на поду печи и требуемой производительностью. Для закалочных и нормализационных печей с температурой 800°C и выше, в которых основная доля тепла передается лучеиспусканием, детали лучше располагать в один ряд: цилиндрические — без зазоров, а прямоугольного сечения — с зазорами 0,3—0,5 от толщины изделия. Такое размещение обеспечивает наибольшую производительность и активную поверхность, воспринимающую тепло.

В камерных печах для отжига, в печах для цементации, азотирования время нагрева одиночной детали не определяет цикла нагрева и производительности печи, поэтому в таких печах стремятся к возможно большей загрузке и размещению деталей в несколько рядов, применяя прокладки, скобы, корзины, обеспечивая циркуляцию газов. Скорости нагрева в камерных печах в зависимости от садки ориентировочно: для печей с садкой 3—5 т—150—200°C/ч; с садкой 10—30 т—100—120°C/ч и с садкой 50 т и выше 50—75°C/ч. Средняя нагрузка на 1 м² площади пода в камерных печах при отжиге отливок составляет ~1,0—1,5 т, а при поковках и сортоном прокате ~2—3 т. В толкательных печах газовой цементации средняя нагрузка 400—500 кг/м² поддона.

В печах с низкой температурой (ниже 600°C) доля передачи тепла лучеиспусканием резко падает. Поэтому надо стремиться к возможно более полному использованию объема печи — загружать детали в несколько рядов, оставляя зазоры для циркуляции газов. С целью повышения теплопередачи конвекцией следует усилить циркуляцию газов с помощью вентиляторов.

Основными критериями работы печей являются удельная производительность (кг/м²·ч), к. п. д. и расход топлива. Для определения удельной производительности печи следует сделать эскиз наиболее характерных укладок деталей и определить среднюю загрузку пода. Практические данные по удельной производительности печей для некоторых процессов термической обработки приведены в табл. 13, а к. п. д. печей и ориентировочные расходы топлива даны в приложении 3.

После описания конструкции печи приводится ее краткая техническая характеристика, которая указывается на чертеже печи.

Таблица 13. Ориентировочные данные по удельной производительности печей для некоторых операций термической обработки (кг/м²·ч)

Печь	Отжиг		Закалка и нормализация	Отпуск	Цементация	
	12 ч	6 ч			газовая	твердый карбюратор

Камерные

С горизонтальным подом . . .	50—70	80—100	120—150	100—120	—	10—12
С выдвижным подом	40—60	70—90	100—120	80—100	—	10—15
Ямная со съемным сводом . . .	50—70	—	100—120	80—100	—	—
Колпаковая . . .	100—120	—	—	—	—	—
Вертикальная (на 1 м ³ объема печи)	—	—	50—60	40—50	120—150	—

Поточные

Толкательная (движение на поддонах) . . .	—	60—80	150—180	140—180	40—50	20—30
Конвейерная . . .	—	—	180—200	160—200	—	—
Роликовая . . .	—	—	180—200	150—180	—	—
Карусельная . . .	—	—	180—220	160—200	—	20—30

П р и м е ч а н и е. 1. Удельная производительность печи скоростного нагрева (перепад температуры от печи к изделию 100—150 °С) при закалке или нормализации составляет 300—400 кг/(м²·ч). 2. Удельная производительность толкательной печи при движении деталей на поддонах при газовом цианировании составляет 80—100 кг/(м²·ч).

Техническая характеристика печей и нагревательных установок

Пламенные печи

Название и назначение печи
 Атмосфера печи
 Нагреваемые изделия
 Температура нагрева металла, °С
 Время нагрева и выдержки, ч
 Размеры пода, м×м
 Площадь пода, м²
 Производительность печи, кг/ч
 Вид топлива
 Теплота сгорания топлива, МДж/м³
 Часовой расход топлива, м³/ч
 Часовой расход воздуха для горения, м³/ч
 Производительность горелки, м³/ч

Температура подогрева воздуха, °C
 К. п. д. печи, %
 Число регулируемых температурных зон
 Удельная производительность печи, кг/ч·м²
 Удельный расход топлива, %
 Расход защитного газа или карбюризатора, м³/ч
 Число горелок (форсунок), шт
 Давление газа (мазута), МПа
 Давление воздуха, МПа
 Способ загрузки и разгрузки печи

Электрические печи

Название и назначение печи
 Атмосфера печи
 Нагреваемые изделия
 Температура нагрева металла, °C
 Время нагрева, ч
 Общее время пребывания в печи, ч
 Размеры пода, м×м
 Площадь пода, м²
 Производительность печи, кг/ч
 Напряжение, В
 Установленная мощность, кВт
 Число регулируемых зон
 Распределение мощности по зонам печи, кВт:
 I зона
 II зона
 III зона
 К. п. д. печи, %
 Удельная производительность печи, кг/(ч·м²)
 Средний удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т
 Расход защитного газа или карбюризатора, м³/ч
 Способ загрузки и разгрузки печи

Нагревательные установки

Название и назначение установки
 Используемый метод нагрева
 Нагреваемые изделия
 Атмосфера
 Температура нагрева, °C
 Время нагрева и время общего цикла, °C
 Производительность установки, шт/ч
 Мощность установки, кВт
 Напряжение, В
 Частота тока, Гц
 Скорость передвижения деталей или индуктора
 Удельный расход энергии кВт·ч/т
 Расход газа в (газопламенных установках)
 К. п. д. установки

Выбор дополнительного и вспомогательного оборудования

Дополнительное оборудование предназначено для осуществления дополнительных операций производственно-

го процесса (контроля качества изделий, правки, очистки изделий от окалины, очистки от масла и т. д.).

Вспомогательное оборудование предназначено для осуществления вспомогательных операций (подъемно-транспортное и теплоэнергетическое оборудование, маслоохладительные и холодильные установки, вентиляторы, установки для приготовления контролируемых атмосфер, карбюризаторов и т. п.). По каждому виду дополнительного и вспомогательного оборудования дано краткое описание конструкции, а для нестандартного оборудования приводятся чертежи. Указывается принятая и подсчитанная часовая производительность и мероприятия, обеспечивающие повышение производительности. Описываются наиболее интересные приспособления; значительное внимание должно быть уделено автоматизации и механизации оборудования. Дополнительное и вспомогательное оборудование должно обеспечить выполнение выбранного технологического процесса, быть надежным и безопасным в работе, полностью обеспечивающим нормальный ритм работы цеха (отделения) и выполнение заданной программы.

При выборе основного, дополнительного и вспомогательного оборудования необходимо руководствоваться имеющимися типажам и каталогами.

Фонд времени работы оборудования рассчитывают на основании выбранных режимов и графиков работы отделений и агрегатов цеха (прерывного или непрерывного, в одну, две или три смены с пяти- или шестидневной рабочей неделей); определяют номинальный Φ_n и эффективный $\Phi_{\text{э}}$ фонды времени работы оборудования:

$$\Phi_n = (K - B - П) ДС_m \quad (28)$$

где K — число календарных дней — 365; B — число выходных дней — 52; $П$ — число праздничных нерабочих дней — 8; $Д$ — средняя длительность смены — 7 ч; $С_m$ — число смен — 2 или 3.

$$\Phi_{\text{э}} = \Phi_n K_{\text{п.об}}, \quad (29)$$

где $K_{\text{п.об}}$ — коэффициент, учитывающий плановые потери времени на ремонт оборудования.

Числовые значения фондов времени работы оборудования в зависимости от условий его работы в термических цехах составляют:

при непрерывной работе:

$$\Phi_n = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ ч}; \quad \Phi_{\text{э}} = 8760 \cdot 0,88 \approx 7710 \text{ ч.}$$

при работе в три смены для механизированных печей и оборудования:

$$\Phi_n = (365 - 2 \cdot 52 - 8) \frac{41}{5} 3 = 6224 \text{ ч};$$

$$\Phi_a = 6224 \cdot 0,9 = 5600 \text{ ч.}$$

для немеханизированных печей с коротким циклом работы:

$$\Phi_a = 6224 \cdot 0,94 = 5850 \text{ ч.}$$

при работе в две смены:

$$\Phi_n = (365 - 2 \cdot 52 - 8) \frac{41}{5} 2 = 4155 \text{ ч}; \quad \Phi_a = 4155 \cdot 0,95 = 3947 \text{ ч.}$$

Определение числа оборудования

Число основного оборудования (печи, ванны, нагревательные установки) лучше определять по часовой производительности, используя данные табл. 14.

При определении часовой производительности печей, необходимо исходить из укладки характерных деталей на поддоны печи и времени их пребывания в печи.

Пример. В закалочной печи помещается 200 деталей общей массой 600 кг, время нагрева, выдержки, загрузки и разгрузки составляет 3 ч, тогда производительность печи составит $600 : 3 = 200 \text{ кг/ч}$.

В цементационной толкательной печи на 24 поддона при общем времени нахождения в ней деталей 8 ч из печи выдается 3 поддона в час. Если на поддонах размером $0,4 \times 0,6 = 0,24 \text{ м}^2$ помещается 100 кг деталей, то производительность печи составит $100 \times 3 = 300 \text{ кг/ч}$.

В случае приближенных расчетов можно исходить из удельной производительности печи (см. табл. 13).

Так, конвейерная закалочная печь имеет полезную площадь 5 м^2 ; в этом случае ее производительность будет $180 \times 5 = 900 \text{ кг/ч}$, где $180 \text{ кг/(ч} \cdot \text{м}^2)$ — удельная производительность печи.

Для нагревательных установок, если не указывается их часовая производительность, ее определяют исходя из времени операции.

Так, при нагреве т. в. ч. пальца массой 2 кг, время операции состоит из нагрева (10 с), охлаждения в индукторе (20 с), загрузки (12 с); выгрузки (8 с) — всего 50 с. Производительность установки будет $2 \times 3600 / 50 = 144 \text{ кг/ч}$.

Число дополнительного и вспомогательного оборудования рассчитывают по его часовой производительности и заданной годовой программе; расчет целесообразно вести используя данные табл. 15.

Т а б л и ц а 14. Расчет числа основного оборудования (печи или нагревательные устройства)

Оборудование	Площадь пода, м² (местность печи)	Операция	Деталь	Годовая программа, т	Масса одновременно нагреваемых деталей, кг	Продолжительность операций, ч	Производительность, кг/ч	Потребное время работы оборудования, ч	Годовой фонд времени работы оборудования, ч	число оборудования, ч	Коэффициент загрузки, %	
											по расчету	принято

Пример заполнения

Камерная газовая печь с выдвижным полом ТДО-16.30.12,5/11	4,8	Отжиг	Вал	4000	11000	24	460	8700	—	—	—	—
			Шестерня	2000	8600	24	360	5550	—	—	—	—
			Поковка	2500	9600	24	400	6260	—	—	—	—
Итого	—	—	—	8500	—	—	—	20510	7710	2,66	3	0,89
Толкательный безумфелый агрегат для газовой цементации ЗИЛ-21-П1	21	Цементация с непосредственной закалкой	Шестерня	3500	100·21 = 2100	8	260	13460	7710	1,73	2	0,88
Высококачественная установка ПВ-100-2500	—	Поверхностная закалка	Поршневой палец	75	2	50с	144	5200	5600	0,93	1	0,93

Т а б л и ц а 15. Расчет числа дополнительного и вспомогательного оборудования

Оборудование	Часовая произво- дительность, кг	Годовая про- грамма, кг	Потребное время работы, ч	Годовой фонд времени	Число обору- дования, шт.		Коэффициент загрузки, %
					по расче- ту	принято	

Составление технологических карт и автоматизация их проектирования

После назначения операции термической обработки и выбо-
ра оборудования составляют технологические карты терми-
ческой обработки деталей. Пример формы технологической
карты приведен в табл. 16.

Резкое сокращение трудоемкости и сроков технологиче-
ской подготовки производства дает применение автоматизи-
рованного проектирования операций термической обработки
(САПТП). В качестве примера можно рекомендовать ввод
в ЭВМ следующих исходных данных:

1. Порядковый номер строки в таблице исходных данных
2. Обозначение детали по конструкторскому документу
3. Обозначение изделия
4. Число деталей на одно изделие
5. Дата введения разрабатываемой технологии
6. Цех, проводящий термическую обработку
7. Цехи-смежники (поставщик и потребитель детали)
8. Материал детали
9. Временное сопротивление после термической обработки
10. Значения твердости после объемной обработки
11. Метод измерения твердости (НВ, HRC и т. д.)
12. Максимальное сечение детали, мм
13. Вид максимального сечения (пруток, лист, труба и т. д.)
14. Минимальное сечение детали, мм
15. Масса детали, кг
- 16—18. Габаритные размеры детали, мм
19. Технические условия на поставку полуфабриката (ГОСТ, ОСТ, ТУ)
20. Требования к химико-термической обработке:
вид (Ц — цементация, А — азотирование и т. д.);
глубина слоя, твердость поверхности, метод измерения твер-
дости
21. Указания по контролю: группа контроля или условные обозна-
чения документа, регламентирующего контроль
22. Регистрация термической обработки (необходимость клеймения,
отметки в паспорте детали и т. п.)

Т а б л и ц а 16. Примерная форма технологической карты

Завод	Карта № технологического процесса термической обработки		Изделие	Наименование Детали		Количество деталей на изделие	№ чертежа					
Цех												
Отделение			Марка стали	ГОСТ	Масса, кг	Черн Чист						
Маршрут изготовления детали:			Эскиз детали									
								Расчетное сечение, мм				
								Род заготовки				
порядковый номер	основная операция	цех	Технические требования к детали									
			Твердость HRC		Глубина слоя, мм		Другие требования					
			Механические свойства, не менее:									
			σ_B , МПа	σ_T , МПа	Φ , %	δ , %	KCV, МДж/м ² , при температуре, °C					
						20	—40 —60 после старения					
Загрузка			Площадь пода или приспособления, м ²	Режим процесса			Примечание					
				на приспособление, шт.	в агрегате	продолжительность, ч						
Порядковый номер	Операция	Оборудование	шт.	т	нагрева	выдержки	общая					

23. Особые признаки детали — геометрия, особенности технологического маршрута

Графы 1—7 включают учетную информацию; 8—20 — переносятся непосредственно с чертежа; 21 и 22 учитывают требования контроля; графа 23 кодирует существенные особенности технологической обработки детали (сведения о технологическом маршруте, наличие резьбы, внутренних полостей).

Ниже приводится разработка алгоритмов в термической обработке на основании анализа пяти последовательных вариантов (рис. 108):

1. Выбор среды для высокотемпературного нагрева (воздух, контролируемая атмосфера, вакуум, соль и т. п.);

2. Назначение параметров технологического процесса, определяемых маркой сплава и предъявляемыми к детали свойствами после термической обработки (перечень операций, температура закали, отпуска, контроль и т. п.);

3. Выбор оборудования, обеспечивающего необходимую среду, температуру и подходящего по габаритам для деталей;

4. Выбор оснастки с учетом укладки деталей, обеспечивающей большую емкость, равномерность нагрева, минимальную поводку и т. п.

5. Назначение параметров технологического процесса, зависящих от оборудования или оснастки (объем садки, время нагрева и т. д.).

В алгоритме сначала по исходным данным уточняется последовательность вариантов, затем исключаются запрещенные и потом из допустимых выбирается лучший вариант.

Моделирование на ЭВМ позволяет проанализировать много решений при минимальных затратах времени и средств.

Разработанные на машинах-носителях с помощью САПР технологические карты позволяют применять автоматизированные системы управления производством (АСУП) и технологическими процессами (АСУТП) термической обработки.

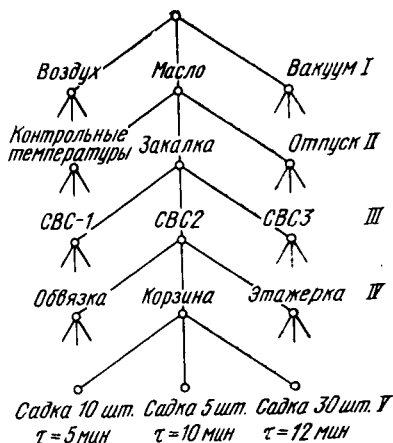


Рис. 108. Схема разработки алгоритма в пяти последовательных этапах (М. А. Штремель и др.)

Организация цехового контроля качества продукции

В проекте должна быть отражена организация цехового контроля качества продукции с указанием методов контроля в соответствии с требованиями стандартов и технических условий: сдаточный и промежуточный контроль; объем контроля; контроль оборудования; возможность применения методов неразрушающего контроля; методов дефектоскопии; схема автоматизации оборудования для контроля качества деталей.

При проектировании термических цехов для ответственной продукции металлургических заводов профилактически применяют поплавоочный контроль.

Автоматизация контроля технологических процессов

Для обеспечения требуемого температурного режима в печах и нагревательных установках автоматическое регулирование температуры необходимо в каждой зоне. В данном разделе надо указать, какой принимается датчик (термоэлектрический термометр, термометр сопротивления, фотоэлемент, оптический или радиационный пирометр и т. п.); название и тип принятых регуляторов, исполнительных механизмов, регулирующих органов. Привести и описать общую схему регулирования, принятую для печи. В случае использования газовой цементации или защитных атмосфер указывается принцип регулирования состава газовой среды, применяемые для автоматического контроля и регулирования приборы, следует дать общие схемы установок и автоматизации движения деталей в печи.

Планировка цеха, выбор транспортных средств и организация работы в цехе

Приводится обоснование расположения термического цеха (отделения) на заводе в общем грузопотоке обрабатываемых деталей. Следует указать, откуда и каким транспортом подают изделия в цех (отделение), куда отправляют изделия после термической обработки с учетом маршрутной технологии изготовления деталей.

Конструкция здания и организация работы в цехе. Все элементы здания термического цеха по признаку пожароопасности относятся к категории Г. Их выполняют из негорючих материалов, отвечающих I и II степени огнеопасности.

Для термических цехов машиностроительных заводов следует ориентироваться на унифицированные сборные же-

лезобетонные конструкции. Основной шаг колонн для них принимают равным 6, реже 12 м, а строительные пролеты кратным шести, т. е. 12, 18, 24 и 30 м. Высота пролета цеха до ферм зависит от высоты применяемого оборудования и условий работы (установки мостовых кранов, закладки в вертикальном положении, количества тепловых вредных выделений). Для малых камерных печей она равна 7,5—8,4, для печей с выдвижным подом 10,8—14,4, для агрегатов непрерывного действия 8,4—10,8, для многорядных агрегатов 10,8—12,6 м.

При закладке длинных изделий высота до крюка крана определяется высотой печи над уровнем пола и длиной садки изделий, включая подвеску, а до затяжки ферм добавляется еще 2,5—3,0 м, учитывая размещение мостового крана. Если печь выступает над полом цеха на 10 м, то подвеска с изделиями составит 11 м, а общая высота цеха 24—25 м.

План здания (рис. 109) изображается в виде сечения горизонтальной плоскостью, проходящей по оконным и дверным проемам. На плане изображается все оборудование, которое попадает в сечение. Крановое оборудование и подвесные конвейеры изображают штриховыми линиями. Объ-

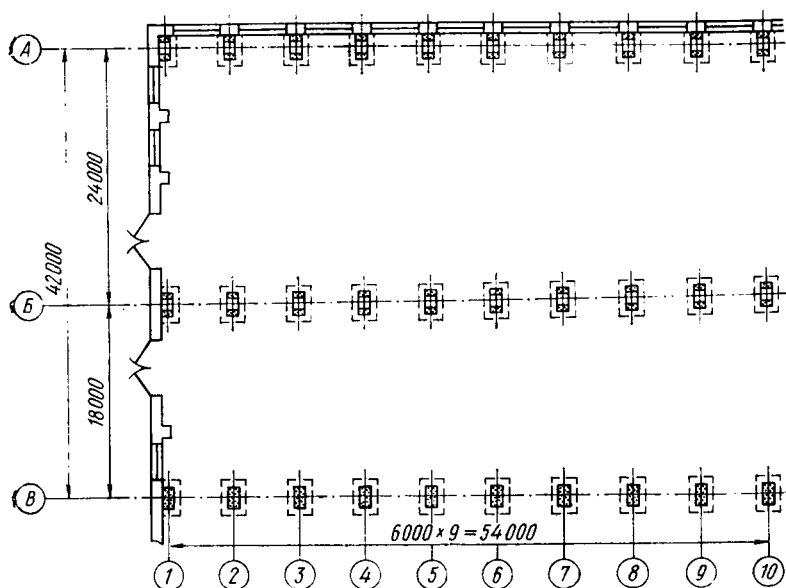


Рис. 109. Обозначения пролетов и шагов колонн на планах цехов

зательно наносятся штриховыми линиями борова для отвода продуктов сгорания, дымовые трубы и условными линиями — коммуникации газо-воздухо-масло- и паропроводов. Планы выполняют в масштабах 1 : 50, 1 : 100, 1 : 200, 1 : 500 (ГОСТ 2302—83).

Определение потребной площади цеха (отделения, участка) лучше проводить прибегая к расположению выбранного оборудования при нанесенной на плане сетке колонн. Планировку удобно проводить, используя макеты (габаритки) оборудования в том же масштабе, что план цеха (отделения) перемещая их с учетом грузопотока деталей; так подбирают оптимальный вариант размещения оборудования. При этом минимальное расстояние между оборудованием и стенами или колоннами принимают равным 2,0—3,0 м. Между печами и оборудованием 1,0—3,0 м в зависимости от размера печей и оборудования. Транспортные проезды для электро- и автокар 2,0—2,5 м, для автомобильного движения 3,5—4,0 м, железнодорожного транспорта широкой колеи 6 м. Ширина прохода для рабочих 1,2—1,5 м, пожарных проездов не менее 3,5 м. В цехе (отделении) должно быть предусмотрено не менее двух выходов.

Оборудование на плане цеха располагают с учетом обеспечения поточности производства. Правильность планировки и организации работы в цехе (отделении) проверяется по грузопотоку деталей. Часто грузопоток деталей осуществляют по замкнутому контуру, что устраняет холостой пробег для возврата приспособлений. Рекомендуются не допускать пересечения путей движения обрабатываемых деталей, следует учитывать откуда поступают изделия и куда они должны быть направлены после термической обработки.

На плане цеха (отделения) делают привязку оборудования к ближайшим осям колонн в двух взаимно перпендикулярных направлениях, размеры проставляют в мм.

Обязательно описывают принятую в проекте механизацию межоперационного движения деталей. Часто при обработке детали в термическом цехе приходится совершать до 20 и выше погрузочных и транспортных операций. Поэтому выбору транспортных средств и механизации подъемно-транспортных операций уделяется много внимания. Транспорт должен обеспечить согласованность погрузки и перемещения деталей с технологическим процессом, поточность производства, минимальную перегрузку деталей, механизацию трудоемких процессов с полным использованием мощности подъемно-транспортных механизмов. В термических

цехах для выполнения подъемно-транспортных операций используют мостовые краны, кран-балки, консольные краны, монорельсовые дорожки, конвейеры (роликовые, цепные, пластинчатые, шагающие, рейнерные и др.), а также транспортные тележки, электро- и автокары, загрузочные машины. В последнее время применяют подвесные конвейеры с автоматическим адресованием деталей по рабочим местам. Конвейеры с адресованием деталей позволяют уменьшить площади промежуточных складов, а также избежать простоев оборудования.

Мостовые краны используют для транспортировки громоздких и тяжелых садов, а также для выполнения монтажных работ. Пролет мостовых кранов берется равным строительному без 1 м для кранов грузоподъемностью до 20 м и без 1,5 м для кранов большей грузоподъемности.

Определяют также необходимое число складских площадей, по нормам хранения с учетом грузонапряженности. Для крупных деталей при хранении их на полу высотой до 1 м она составит 1,5—2 т/м², для средних и мелких при использовании стеллажей и высоте хранения до 2 м — 0,7—1,0 т/м². Нормы хранения деталей при мелкосерийном производстве 6—7 дней, при массовом производстве 3—4 дня.

Складские места на плане цеха (отделения) изображают штриховыми линиями, в спецификацию их не включают.

В отдельные изолированные помещения выделяется оборудование, связанное с образованием пыли, вредных газов, паров кислот и др. На ряде заводов оборудование и установки, не требующие постоянного наблюдения (трансформаторы, вентиляторы и др.) размещаются на антресолях (на высоте 3—3,5 м).

Оборудование, сооружения, установки должны не только соответствовать условиям производства, но и удовлетворять требованиям производственной эстетики и не раздражать глаз.

Наружную поверхность печей окрашивают алюминиевой краской, высокочастотные установки — в зеленый цвет, транспортные устройства — в серый цвет и т. п.; кнопки пуска и остановки механизмов — в красный.

Кроме общей организации работы в цехе (отделении) следует дать описание организации наиболее характерных рабочих мест; постоянные рабочие места на плане цеха изображают кружком диаметром 5 мм, заштрихованным наполовину.

Ориентировочные нормы выпуска продукции с 1 м² общей площади цеха: поковки, отливки, полуфабрикаты 5—8;

чистовые детали после ХТО 2—3,5, чистовые детали без ХТО 3—5, инструмент, приборы, топливная аппаратура 0,8—1,2 т/м².

*Охрана труда, техника безопасности,
противопожарная профилактика
и охрана окружающей среды*

Необходимо рассмотреть выделяемые в проектируемом цехе (отделении, на участке), тепло, газы от печей и установок с контролируемыми атмосферами, пары кислот при травлении, пыль при очистке изделий от окалины и т. п. Применение взрывоопасных атмосфер (при газовой цементации), ядохимикатов (при жидком цианировании). Использование рентгеновских и гамма лучей для просвечивания деталей, использование изотопов и т. п.

Описывают меры по охране здоровья, принимаемые в проекте (приточно-вытяжная вентиляция, воздушные души, удаление вредностей в месте их возникновения, герметизация печей и установок, нейтрализация вредных продуктов и отходов производства, изоляция источников рентгеновских и гамма-излучений и т. п.); меры предусмотренные по электробезопасности (заземление, устройство ограждений, снижение напряжения, экранирование, блокировки, автоматизация отключения нагревателей при загрузке и выгрузке печей, аварийное отключение и т. п.), меры безопасности при работе с индукционными токами и др.; меры пожарной безопасности — применение огнестойких конструкций зданий, наличие пожарной сигнализации, предохранение от утечки взрывоопасных газов, хранение и использование горючих жидкостей (масел); применяемые средства огнетушения. Освещение и вентиляция цеха (отделения, участка). Рассматривают меры по сохранению от загрязнений воздушного и водного бассейнов.

Технико-экономические расчеты

В данном разделе приводятся следующие технико-экономические расчеты: капитальных вложений, по труду и заработной плате, себестоимости продукции, экономической эффективности проекта и технико-экономических показателей цеха (отделения).

Расчет капитальных вложений. На все основное и вспомогательное оборудование составляют ведомость (табл. 17). За основу расчета первоначальной стоимости оборудования принимают оптовую цену из прейскурантов на оборудование. Оптовая цена нестандартного оборудования $C_{н.о}$ может быть определена по удельным показателям стоимости ана-

Таблица 17. Ведомость расчета капитальных затрат

Наименование	Число единиц, шт.	Прейскурантная цена, тыс. руб.		Затраты на монтаж	Транспортно-заготовительные расходы	Первоначальная стоимость	Амортизационные отчисления	
		на единицу	на все оборудование				%	сумма
<i>Производственное оборудование</i>								
Термические печи . . .								
Нагревательные аппараты								
Установки контролируемых атмосфер								
Закалочные баки								
Закалочные машины . . .								
Дробеструйные установки								
Моечные машины								
Маслоохладительные установки								
Прессы (правильные) . . .								
Краны								
Конвейеры								
Итого								
<i>Силовое оборудование</i>								
Электромоторы								
Генераторы								
Итого								
<i>Контрольно-измерительные приборы</i>								
Прессы Бринелля								
Прессы Роквелла								
Коэрцитиметры								
Контрольные щиты								
Итого								
<i>Транспортные средства</i>								
Электрокары								
Тележки								
Итого								

Наименование	Число единиц, шт.	Прейскурантная цена, тыс. руб.		Затраты на монтаж	Транспортно-заготовительные расходы	Первоначальная стоимость	Амортизационные отчисления	
		на единицу	на все оборудование				%	сумма
<i>Инструмент и оснастка</i>								
Штампы								
Поддоны								
.								
Итого								

логичного оборудования на единицу массы или по производительности:

$$C_{н.о} = \frac{C_o}{X_o} X_{н.о}, \quad (30)$$

где C_o — оптовая цена аналогичного оборудования, руб., X_o , $X_{н.о}$ — масса или производительность аналогичного нестандартного оборудования в соответствующих единицах.

К преysкурaнтной цене прибавляют затраты на монтаж и транспортно-заготовительные расходы. При отсутствии в преysкурaнте указаний по расчету затрат на монтаж для производственного оборудования их принимают в размере от 4 до 8, а для подъемно-транспортного 10 % от преysкурaнтной цены. Транспортно-заготовительные расходы для оборудования большой массы можно принимать в размере 5, а для небольшой массы 8 %. В ведомость следует включить неучтенное оборудование с первоначальной стоимостью его в размере 10—20 % от суммы учтенного оборудования. Приводят также сумму амортизационных отчислений.

В соответствии с расчетом потребных зданий и сооружений по их объемам и укрупненным нормативам определяют стоимость производственных зданий, бытовых и подсобных помещений и сооружений. При отсутствии данных капитальные затраты можно принять в размере: на силовое оборудование 8—10 % от производственного, на измерительные приборы и устройства 2—3 %, на передаточные устройства 6—7 %, на транспортные средства 3—4 %, на инструмент

Таблица 18. Сводная таблица капитальных вложений

Группа основных фондов	Капиталь- ные вло- жения, руб.	Амортизационные отчисления	
		%	сумма, руб.
Здания			
Сооружения			
Передаточные устройства			
Оборудование:			
производственное			
силовое			
КИП			
Транспортные средства			
Инструмент и оснастка			
Итого			
Нормируемые оборотные средства			
Всего производственных фондов			

и дорогостоящую оснастку 2—3 %, на производственно-хозяйственный инвентарь 3—5 %.

Данные расчетов представляют по форме табл. 18.

Сумму оборотных средств в машиностроении рассчитывают после расчета себестоимости. Оборотные средства определяют для производственных запасов и в незавершенном производстве. Норму запаса по материалам можно принять 15—30 сут.

Для расчета объема незавершенного производства в себестоимость включается стоимость обрабатываемых деталей (по данным базового цеха). Длительность производственного цикла принимается по данным базового цеха или при проектировании цеха 3—5 дней, при проектировании отделения 2—3 дня.

В черной металлургии сумма оборотных средств может быть определена в размере 10—15 % годовой себестоимости продукции.

Расчеты по труду и заработной плате. При проектировании цеха (отделения) необходимо учесть основные требования организации труда (кооперацию и разделение труда, организацию рабочего места, создание благоприятных условий труда и т. п.). Сначала определяют численность основных и вспомогательных рабочих, ИТР, служащих и МОП. Следует оптимально распределить обязанности между основными и вспомогательными рабочими, указать

Т а б л и ц а 19. Расчет численности рабочих

Наименование агрегатов (рабочих мест)	Число агрегатов	Коэффициент загрузки агрегатов	Профессия рабочих	Разряд	Норма обслуживания рабочего места	Сменность	Число рабочих

формы технического обслуживания рабочих мест, подобрать составы комплексных бригад, учесть возможность многоагрегатного обслуживания и т. п., обеспечив полную загрузку рабочих.

Численность основных рабочих в термических цехах рекомендуется определять по трудоемкости или по рабочим местам, исходя из норм обслуживания агрегатов по форме, представленной в табл. 19.

При определении численности рабочих в термических цехах, учитывая загрузку агрегатов или поточных линий, проще выявить резервы времени, считаясь с поточностью и автоматизацией производства, так как в этом случае число производственных рабочих будет непосредственно связано с обслуживанием агрегатов (поточной линии). В то же время следует учитывать загрузку рабочего, исходя из времени выполняемых им операций (норма обслуживания). Однако, если подсчитанное число рабочих составляло 1,2, а требуется обслужить 2 рабочие точки агрегата (поточной линии), то необходимо поставить 2 рабочих, догружая производственных рабочих вспомогательными операциями, проводимыми вблизи агрегата (например, мелкими текущими ремонтами печи, поддонов и т. п.).

Наименование профессии и разряд рабочим устанавливают в соответствии с тарифно-квалификационным справочником. Примерные квалификационные разряды рабочих в термических цехах приведены в табл. 20.

При расчете числа рабочих принимают:

Номинальный фонд времени:

при непрерывном графике работы $\Phi_n = (365 - \frac{365}{4}) 8 \approx 2190$ ч, где $365/4$ — число выходных дней; 8 — число часов в смене;

при прерывном графике работы $\Phi_n = (365 - 2 \cdot 52 - 8) 41/5 = 2075$ ч, где $2 \cdot 52$ — число выходных дней; 8 — число праздников; 41 — число рабочих часов в неделе; 5 — число рабочих дней в неделе.

Таблица 20. Примерный перечень квалификаций и разрядов рабочих

Профессия рабочего	Квалификационные разряды рабочих в цехах для термической обработки		
	поковок, отливок	чистовых деталей	инструмента и точных изделий

Основные рабочие

Цементовщик	—	2—5	3—5
Цианировщик	—	2—5	3—5
Калильщик на печах и ваннах	2—4	3—5	3—5
Калильщик на установках т. в. ч., электролитах и др. скоростных нагревах	—	3—5	3—5
Отжигальщик (отжиг, нормализация)	2—3	—	—
Отпускальщик	2—3	3—4	3—4
Нагревальщик	2—3	3—4	3—4
Дробеструйщик	2—3	2—3	2—3
Травильщик	2—3	—	—
Правильщик	2—3	3—4	3—5
Заточник	1—2	—	—
Наладчик автоматических линий	—	4—6	4—6
Крановщик (загрузчик оборудования)	—	4—6	4—6

Вспомогательные рабочие

Слесарь-механик	2—5	2—5	—
Электромонтер, слесарь-электрик	2—4	2—4	—
Слесарь по КИП и автоматике	3—5	3—5	—
Слесарь-сантехник	2—4	2—4	—
Печник	3, 4	3, 4	—
Станочник	—	2—4	—
Крановщик, электрокарщик	3, 4	3, 4	—
Стропальщик	1, 2	1, 2	—
Лаборант экспресс-лаборатории	2—4	2—4	2—4
Кладовщик	2—4	2—4	—
Разнорабочий	1, 2	1, 2	1, 2

Примечание. Тарифные разряды даны применительно к шестиразрядной сетке.

Эффективный фонд времени $\Phi_{\text{э}} = \Phi_{\text{н}} - \text{О} - \text{Б} - \text{Г} - \text{Пр}$, где О — отпуск; Б — потери рабочего времени по болезни; Г — выполнение государственных обязанностей; Пр — прочие уважительные неявки.

Сумма Б+Г+Пр колеблется в пределах 3—5 % $\Phi_{\text{н}}$, в среднем равна 0,04 $\Phi_{\text{н}}$.

Числовые значения эффективного годового фонда вре-

мени, ч, при отпуске 15, 18 и 24 дня и непрерывном и прерывном графиках работы даны ниже:

	24 дня	18 дней	15 дней
Непрерывный . . .	1940	1980	2000
Прерывный . . .	1830	1870	1885

Численность вспомогательных рабочих по термическим цехам составляет примерно 50—70 % от численности основных рабочих, а в цехах с высокой степенью механизации и автоматизации до 80—100 %.

Численность дежурных слесарей, электриков рассчитывают по нормам обслуживания.

Для определения численности ИТР и служащих учитывается принятая схема управления цехом (отделением).

Организация управления цехом зависит от объема выпуска продукции, типа производства, режима работы, степени специализации цеха, численности рабочих.

На рис. 110 приведены наиболее распространенные схемы управления крупным и небольшим термическими цехами. Как правило, при численности рабочих до 100—125 чел цеха, не создают.

Во главе термического цеха стоит начальник цеха, непосредственно подчиненный директору. Начальник цеха отвечает за результаты производственно-технической и хозяйственной деятельности цеха и с помощью цехового аппарата управления планирует и организует работу коллектива цеха.

Заместитель начальника цеха по производству решает вопросы текущего производства — запуск и выпуск деталей, распределение деталей по печам и другому оборудованию, руководит деятельностью производственных участков цеха. Заместитель начальника по подготовке производства реализует политику научно-технического прогресса. Он отвечает за технологию, внедрение новых и совершенствование действующих технологических процессов, модернизацию оборудования, механизацию и автоматизацию работ.

Функциональное управление осуществляется планово-диспетчерским бюро (ПДБ), планово-экономическим бюро (ПЭБ), технологическим бюро (ТБ), бюро организации труда (БОТ). В термических цехах часто вместо ПЭБ выделяется экономист в БОТ.

ПДБ термического цеха распределяет производственные задания по участкам и отдельным рабочим местам, занимается обеспечением оснасткой и инструментом, контролирует и регулирует ход выполнения заданий. ПЭБ разраба-

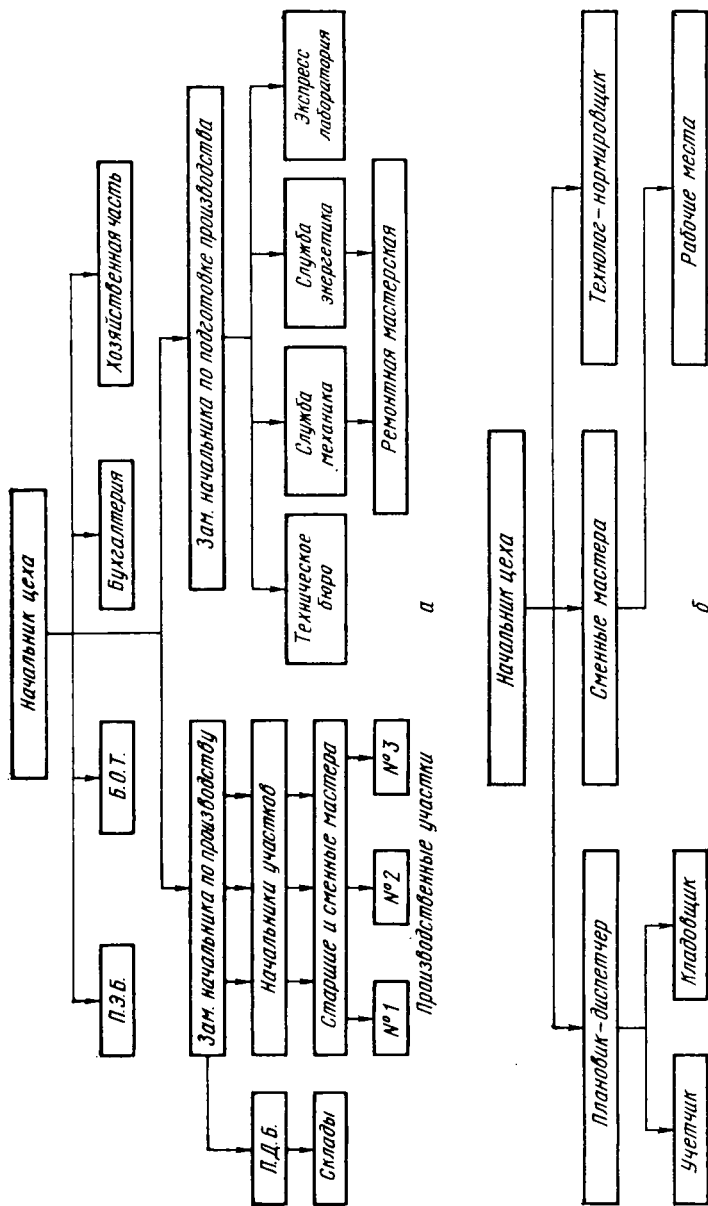


Рис. 110. Схемы управления крупным (а) и небольшим (б) термическим цехом

тывает хозрасчетные задания участкам и бригадам, ведет учет выработки, калькулирует себестоимость продукции, анализирует работу цеха и участков по производству и себестоимости. ТБ проводит работу по внедрению и совершенствованию технологических процессов термической обработки, уточняет режимы работы термических печей, агрегатов, установок; рассчитывает нормы времени. БОТ занимается организацией труда и заработной платы в цехе, вопросами материального стимулирования, планированием штата и заработной платы, анализом использования трудовых ресурсов и фонда заработной платы.

Механик цеха отвечает за состояние печей и агрегатов в цехе, организует ремонт оборудования и осуществляет текущий надзор за его эксплуатацией. В его подчинении находится ремонтная мастерская.

Энергетик цеха следит за состоянием электрооборудования печей, установок т. в. ч. и другого энергетического оборудования, организует ремонт энергетического электрооборудования.

Начальники участков распределяют работу между бригадами, ведут контроль за выполнением заданий производственной программы, осуществляют внедрение новых технологических процессов и оборудования, следят за трудовой дисциплиной, представляют к поощрению отдельных работников.

Мастера являются непосредственными руководителями производства на своем участке. Они организуют выполнение плановых заданий по производительности и качеству продукции, следят за производственной, технологической и трудовой дисциплиной, проводят мероприятия по экономии топлива, материалов и сокращению брака. Отвечает за соблюдение правил техники безопасности и охраны труда. Мастера могут представлять рабочих к премированию и наложению взыскания за нарушение дисциплины.

Начальник участка должен иметь в подчинении не менее двух старших мастеров, а старший мастер не менее двух мастеров.

Когда термический цех или отделение входит в состав механо-сборочного производства, кузнечно-прессового корпуса, инструментального цеха или других, то начальник термического цеха (отделения) подчиняется начальнику основного производства.

Исходя из выбранной схемы управления и категории цеха составляется штатное расписание ИТР и служащих с указанием численности работников и их окладов.

Штатное расписание и расчет фонда заработной платы ИТР, служащих, МОП следует представить по форме:

Категория, должность	Численность	Месячный оклад	Доплата за ра- боты во вредных условиях	Годовой фонд зарботной платы

Доплаты за работу во вредных условиях выплачиваются в машиностроении, а в металлургической промышленности она включается в оклад.

Численность ИТР термических цехов ориентировочно составляет 10—12 %, в цехах автоматизированного и высоко-механизированного производства 16—19 %, служащих — 2—3 %; МОП — 2—3 % от списочного числа рабочих.

При проектировании отделений с целью более полного определения показателей производительности труда и затрат заработной платы следует рассчитывать весь штат вспомогательных рабочих и МОП в соответствии с потребностями отделений в контрольных и транспортных операциях.

Для мастеров, работающих постоянно во вредных условиях, предусматривается доплата в размере 10 % оклада. Премия рабочим, ИТР и служащим выплачивается из фонда материального поощрения.

Показатель производительности труда определяется выпуском продукции цеха в натуральном выражении (т) или в денежном делении на численность работников промышленно-производственного персонала.

Расчет фонда заработной платы рабочих

В проекте необходимо обосновать системы оплаты труда, показатели премирования по категориям работающих и размеры премий, тарифные сетки и оклады.

В основную зарплату рабочих входит оплата по тарифу, приработок сдельщиков, премия, доплаты за работу в ночное время, в праздничные дни и за часы переработки графика.

Дополнительная зарплата рассчитывается соответственно времени отпусков и выполнения государственных и общественных обязанностей. Расчет фонда заработной платы рабочих удобнее представить по форме, указанной в табл. 21.

В термических цехах применяют две основные формы заработной платы рабочих: повременную и сдельную.

Процессы термической обработки в большинстве случаев

Таблица 21. Фонд заработной платы рабочих

Рабочие по участкам и профессиям	Число списочных рабочих, человек	Средняя часовая тарифная ставка (коп.)	ч. з.	Основная заработная плата, руб.					Итого	Дополнительная заработная плата, руб.	Всего фонд зарплаты, руб.	
				Оплата по тарифу	Приработок сдельщика	Премия	Доплаты					
							за работу в ночное время	за работу в праздничные дни				за переработку графика
Основные												
Вспомогательные												
Всего												

являются строго регламентированными по времени и не могут произвольно меняться. В случае сокращения времени операции может получаться брак изделий, поэтому для основных рабочих применяют повременную оплату труда или повременно-премиальную. Премия начисляется как процентная надбавка к тарифному или сдельному заработку за высокое качество выпускаемой продукции, хорошее обслуживание агрегатов на своем участке и др.

При обслуживании агрегатов или группы оборудования, связанной общим технологическим процессом, применяется комплексный бригадный метод. В этом случае заработная плата начисляется бригаде в целом, а распределение ее между членами бригады осуществляется пропорционально разрядам рабочих и отработанному времени с учетом коэффициента трудового участия (КТУ).

В отдельных случаях в термических цехах применяют сдельную форму оплаты (например, при закалке с нагревом т. в. ч. при работе на прессах, контроле), когда можно повысить выработку за счет экономии времени на вспомогательных операциях (загрузке, выгрузке изделий).

Необходимо установить строгую зависимость заработной платы от производительности и качества труда. Важную роль в повышении производительности труда служит человеческий фактор — это деловой стиль работы с максимальной отдачей результатов труда. В этом отношении большую роль играют вопросы социалистических обязательств и контроль за их выполнением.

Наименование профессий и разряды рабочим устанавли-
вают в соответствии с тарифно-квалификационным справоч-
ником. В машиностроении принята шестиразрядная сет-
ка, а в металлургической промышленности — восьми-
разрядная. Разрядные коэффициенты приняты следую-
щими:

Разряды	1	2	3	4	5	6	7	8
Разрядный коэффициент	1	1,09	1,20	1,35	1,55	1,80	2,05	2,30

Часовая ставка кроме разряда зависит от условий труда. К тяжелым и вредным условиям работы в термических це-
хах относятся: термисты на ваннах, печах, установках
т. в. ч.; калильщики; травильщики, гидropескоструйщики,
дробеструйщики, правильщики на прессах и машинах (при
деталях массой 30 кг и выше), мойщики щелочными раство-
рами, подсобные (транспортные) рабочие, слесари-ремонт-
ники оборудования на горячих работах, машинисты холо-
дильных установок. Часовая ставка может быть принята
67 коп.

Оплата труда цеховых ИТР зависит от группы цеха
(4 группы), сложности выпускаемой продукции (3 группы),
от численности рабочих, от типа производства и уровня ме-
ханизации и автоматизации производства. Однако главным
в оплате ИТР является эффективность, качество труда и его
отдача производству.

Примерные нормативы численности и месячные оклады
ИТР, служащих и МОП термических цехов приведены
в табл. 22.

За сверхплановое, качественное и досрочное выполнение
заданий устанавливают надбавки и более высокие оклады
за счет экономии фонда заработной платы.

Все расчеты по труду и зарплате целесообразно предста-
вить по форме, указанной в табл. 23.

Энергетика и материальное снабжение. Потребное коли-
чество основного топлива, электроэнергии, пара, сжатого
воздуха для производственных нужд, контролируемой атмо-
сферы, ацетилен и пр. определяют по имеющим-
ся нормам расхода или по расчету. Данные сводят в
табл. 24.

Коэффициент использования мощности представляет со-
бою средний коэффициент расхода газа, электроэнергии,
пара, воды от установленной мощности. Для термических
печей расход топлива (газа) может быть ориентировочно
определен по средней часовой производительности и к. п. д.
печи. Так, при средней часовой производительности печи
200 кг/ч и к. п. д., равном 30 %, расход природного газа

Таблица 22. Примерные нормативы численности работающих и их оклады

Должность и профессия	Количество ИТР, служащих и МОП при числе рабочих в цехе до					Примерные оклады, руб.
	50	100	200	300	400	
<i>ИТР</i>						
Начальник цеха	—	1	1	1	1	280—320
Зам. начальника цеха	—	—	1	1	1	260—300
Начальник отделения (участка)	—	—	1	2	3	230—270
Механик и энергетик цеха	—	1	2	2	2	220—260
Старший мастер	1	1	1	2	3	230—270
Мастер участка (сменный)	3	3	4	6	9	200—240
Мастер по ремонту	—	—	1	2	3	220—260
Работники технологического бю- ро (ТВ)	1	4	7	10	12	200—240
Работники планово-диспетчерского бюро (ПДБ)	1	1	2	3	4	190—230
Работники планово-экономического бюро (ПЭБ)	—	—	1	2	3	190—230
Работники бюро организации труда (БОТ)	—	1	1	2	3	190—230
Итого:	6	12	22	34	45	
<i>Служащие</i>						
Старший бухгалтер	—	—	1	1	1	190—230
Бухгалтер-счетовод	—	1	2	3	4	150—180
Табельщик	—	1	1	2	3	110—130
Секретарь-машинистка	—	—	—	1	1	110—140
Заведующий складом	—	—	1	1	1	150—190
Заведующий хозяйством	—	—	—	1	1	150—190
Итого	—	2	5	9	11	
<i>МОП</i>						
Сатураторщик	—	—	1	1	2	100—110
Уборщик производственных пло- щадей	—	1	2	3	3	100—110
Гардеробщик	—	1	2	3	3	100—110
Кубовщик, банщик	—	1	1	2	3	100—110
Курьер	—	—	—	—	1	100—110
Итого	—	3	6	9	12	

Т а б л и ц а 23. Численность и фонд заработной платы трудящихся цеха

Категория трудящихся	Численность (списочная)	Фонд заработной платы, тыс. руб.	Сумма премий из фонда материального поощрения, тыс. руб.	Всего выплат, тыс. руб.	Средне-годовая оплата, руб.
Основные рабочие					
Вспомогательные рабочие					
ИТР					
Служащие					
МОП					
Итого:					

при нагреве на 900°C , $Q_p^p = 35 \text{ МДж/м}^3 = 35000 \text{ кДж/м}^3$ составит $\frac{200 \cdot 0,67 \cdot 900}{0,3 \cdot 35000} = 11,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, где 0,67 — теплоемкость металла, кДж/(кг·К).

Расход материалов технологического назначения целесообразно представить по форме, приведенной в табл. 25.

Определение себестоимости продукции. Для определения себестоимости продукции термической обработки составляется калькуляция на годовой выпуск и на единицу. Предварительно определяют сметы расходов на содержание и эксплуатацию оборудования (табл. 26) и общецеховых расходов (табл. 27).

Общие нормы амортизационных отчислений приближенно можно брать в пределах: для производственных зданий 2,4—2,6 %, для термических печей 15—20 %, для кранов 7—8 %, для другого транспортного оборудования (конвейеров, авто- и электропогрузчиков) 15—25 %, для производственного инвентаря 12,5 % от стоимости, для ценного инструмента и приспособлений 20 %.

Калькуляцию себестоимости термической обработки продукции целесообразно составлять по табл. 28.

Расход материалов на технологические нужды определяют на основании расчетов с учетом возможной реализации отходов.

Транспортно-заготовительные расходы на все материалы доставляемые со стороны, учитываются в размере 3—5 % от прейскурантной цены и могут быть приведены в расчете отдельной строкой.

Таблица 25. Расход материалов технологического назначения

Назначение и наименование материала	Единица измерения	Расход на 1 т	Годовое количество	Цена единицы, руб.	Годовая стоимость
Закалочные среды:					
масло машинное					
NaOH					
Отпуск:					
масло					
селитра					
Травление:					
серная кислота					
сода					
Дробеструйная обработка (чугунная дробь					
Всего					

Таблица 26. Смета расходов на содержание и эксплуатацию оборудования

Наименование статей	Сумма, тыс. руб.	Порядок расчета
Расход вспомогательных материалов		Из технологических расчетов
Расход энергии на вспомогательные операции		То же
Заработная плата (основная и дополнительная) рабочих по ремонту и содержанию оборудования		Из расчета
Отчисления в соцстрах от заработной платы рабочих по ремонту и содержанию оборудования		14 % от суммы заработной платы
Прочие затраты на текущий ремонт и содержание оборудования		По данным аналогичных заводов, 15—20 % от первоначальной стоимости оборудования
Амортизация оборудования, транспортных средств и инструмента		Из расчета
Износ малоценного и быстроизнашиваемого оборудования		По данным расчетов или 40—50 руб. на одного производственного рабочего в год
Перевозки цеховых грузов		По данным заводов или 0,3—0,5 руб. на 1 т продукции
Итого		

Т а б л и ц а 27. Смета общецеховых расходов

Наименование статей	Сумма	Порядок расчета
Заработная плата основная и дополнительная:		Из расчета
ИТР		
служащих		
МОП		
вспомогательных рабочих		
Отчисления в соцстрах от зарплаты вышеуказанных работников		14 % от суммы заработной платы
Амортизация зданий, сооружений, оборудования и инвентаря		Из расчета
Расходы на содержание помещений:		
отопление		По данным аналогичных заводов или 5—7 руб. на 1 м ² площади помещений
освещение		При 2-сменной работе 3,5 руб., при 3-сменной работе 6 руб. на 1 м ² площади
прочие расходы		1—2 руб. на 1 м ² площади
Текущий ремонт зданий, сооружений, передаточных устройств и инвентаря		По данным заводов или 0,5—1,5 % от первоначальной стоимости
Износ малоценного и быстроизнашивающегося инвентаря		По данным заводов или 5—10 руб. на 1 рабочего в год
Расходы по охране труда и технике безопасности		По данным заводов или 4—5 % от всего фонда зарплаты рабочих
Расходы по рационализации и изобретательству		По данным заводов или 0,5—1 % от фонда заработной платы
Расходы по опытам и исследованиям		По данным заводов или 0,1—0,5 руб. на 1 т продукции
Неучтенные потери		В размере 5—10 % от суммы всех затрат
Всего		

При составлении калькуляций на каждый вид деталей зарплата рабочих относится пропорционально трудоемкости. Сумму дополнительной заработной платы рассчитывают в процентах к сумме основной зарплаты.

Т а б л и ц а 28. Калькуляция себестоимости продукции

Наименование статей	Цена, руб.	Единица изме- рения	На годовой выпуск		На единицу	
			количе- ство	сумма, тыс. руб.	количе- ство	сумма, руб.
Основные материалы, за вычетом от- ходов						
Топливо технологическое						
Энергия технологическая						
Материалы на технологические нуж- ды						
Основная зарплата производственных рабочих						
Дополнительная заработная плата производственных рабочих						
Отчисления в фонд социального стра- хования от зарплат производствен- ных рабочих						
Затраты на спецоснастку						
Расходы по содержанию оборудова- ния						
Общехозяйственные расходы						
Цеховая себестоимость						
Общезаводские расходы						
Заводская себестоимость						
Внепроизводственные расходы						
Полная себестоимость						

Примечание. Часто калькулируется себестоимость только термической обработки, в этом случае отпадают статьи «Основные материалы» и «Внепроизводственные расходы».

Расходы на спецоснастку определяют прямым расчетом или по данным аналогичных цехов, или по укрупненным нормативам.

Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования (PCO) распределяются, исходя из суммы на 1 коэффициенто-машинный час или пропорционально основной заработной плате производственных рабочих (без доплат).

Общехозяйственные и общезаводские расходы включают в калькуляцию пропорционально сумме PCO и основной заработной плате производственных рабочих (без доплат) или только основной зарплате производствен-

ных рабочих без доплат (по машиностроению в среднем 80—100 %).

Сумма внепроизводственных расходов принимают в размере 1—2 % от заводской себестоимости.

Основные технико-экономические показатели проекта и экономическая эффективность

При проектировании новых цехов рассчитывается выпуск продукции в оптовых ценах, общая и расчетная рентабельность, срок окупаемости, съем продукции с 1 м² общей площади цеха, фондоотдача. Оптовые цены можно принять исходя из прейскурантов и ценников.

Основные технико-экономические показатели по проекту представляют по форме, указанной ниже:

Выпуск продукции в натуральном выражении, т, шт.

Выпуск товарной продукции в оптовых ценах, тыс. руб.

Количество единиц основного оборудования, шт.

Производственная площадь, м²

Съем продукции с 1 м² производственной площади, т/м²

Численность трудящихся, человек, в том числе

рабочих

ИТР

служащих

МОП

Среднемесячная зарплата рабочих, руб./чел.:

ИТР

служащих

МОП

Выпуск продукции в тоннах на одного трудящегося, т/чел

Выпуск продукции в рублях на одного трудящегося, руб/чел

Удельный расход энергии, кВт·ч/т

Удельный расход топлива, м³/т

Капиталовложения, руб.

Себестоимость термической обработки, руб/т

Затраты на 1 руб. товарной продукции, руб/руб.

Фондоотдача, руб/руб

Годовой экономический эффект от реконструкции, %

Срок окупаемости, годы.

Затраты на 1 руб. товарной продукции определяют как отношение полной себестоимости товарной продукции к стоимости товарной продукции.

В проектах реконструкции необходимо найденные показатели сопоставить с данными до реконструкции цеха. По проектам новых цехов следует полученные показатели сравнить с данными передовых цехов, выпускающих аналогичную продукцию и сделать заключение об организационно-техническом уровне запроектированного цеха. Для действующих цехов необходимо определить экономическую эффективность реконструкции.

О целесообразности реконструкции можно судить по расчету годового экономического эффекта ($\mathcal{E}_r$):

$$\mathcal{E}_r = (C_1 - C_2) P + (C_n - C_2) \Delta P + E_n (K_{уд} - K_{рек}), \quad (31)$$

где C_1 , C_2 , C_n — себестоимость единицы продукции до реконструкции, после нее и при новом строительстве, руб.; $E_n = 0,12-0,15$ — нормативный коэффициент экономической эффективности капиталовложений; P — годовой выпуск продукции до реконструкции, т; ΔP — прирост годового выпуска продукции, т; $K_{уд}$ — удельные капиталовложения при новом строительстве, руб.; $K_{рек}$ — капиталовложения, связанные с реконструкцией, руб.

5. Строительные решения при проектировании термических цехов

Конструкции производственных помещений

Для размещения термических цехов (отделений), имеющих значительные выделения тепла и газов, применяют одноэтажные здания прямоугольной формы.

Для термических цехов машиностроительных заводов следует ориентироваться на унифицированные сборные железобетонные конструкции, так как они значительно дешевле, требуют меньшего расхода металла, нескораемы, меньше подвержены коррозии. Применение металла в элементах каркаса допускается, если строительный пролет превышает 30 м или высота цеха более 15 м или грузоподъемность крана более 50 т.

На металлургических заводах и в кузнечно-прессовых цехах с мощным оборудованием для размещения оборудования термической обработки приходится выбирать пролеты, шаг колонн и конструкцию здания, считаясь с конструкциями основных металлургических и прессовых цехов.

На рис. 111 показаны элементы зданий с наружной стеной, с колоннами из сборного железобетона (рис. 111, а, б) и металла (рис. 111, в). Колонны 4 имеют консоли, на которых размещаются подкрановые балки 3. При железобетонных колоннах подкрановые балки 3, фермы 1, перекрывающие пролеты здания, фундаментные балки 6 и оконные перемычки 2 делают также из железобетона. Подкрановые балки применяют Т-образного сечения с шириной полки 0,57 и высотой 0,8 м при кранах грузоподъемностью 5—10 т, а при кранах 15—20 т и выше — 1,0 м.

Перекрывающие пролет железобетонные фермы делают сборными двухскатными предварительно напряженными.

Для перекрытия пролета $L=36$ м и выше; конструкция делается по типу металлических ферм. Высота ферм $=\frac{1}{8} L$, уклон верхней стороны фермы $\frac{1}{12} L$. Сечение железобетонных колонн можно брать $0,6 \times 0,4$ м при кране грузоподъемностью до 10 т и $1,0 \times 0,4$ м при 30-т кранах.

Размер подошвы фундамента $a \times b$ определяется крановой нагрузкой, массой конструкции и характером грунта.

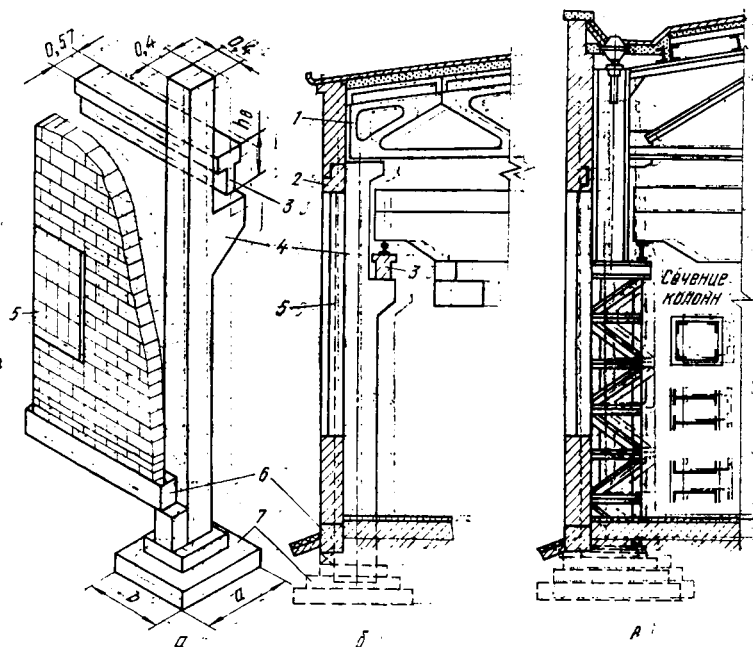


Рис. 111. Элементы промышленных зданий

Заглубление подошвы фундамента 7 должно быть ниже промерзания грунта, а при плотных грунтах и малом промерзании почвы — 1,75 м от уровня чистого пола.

Стальные колонны и подкрановые балки (рис. 111, в) выполняют из различного проката (швеллеров, двутавров, уголков), соединяемых планками или уголками с помощью сварки. Фермы, перекрывающие пролет, также выполняют металлическими. Наружные стены здания термических цехов делают из блоков легковесного бетона марки не ниже 75, толщиной 400 и 500 мм, реже кирпичными, толщиной в 1,5—2 кирпича (380—510 мм). Модульная ширина блоков принимается в 0,6—1,2 м, а длина — кратная 0,5 м, т. е. 1,0;

1,5; 2,0 и 3,0 м. Наружные стены ставят за колоннами и выполняют самонесущими, вес стены передается через продольную железобетонную балку 6 (рис. 111, а) на фундаменты колонн 7. Между колоннами под фундаментную балку подводится засыпка шлака или водонепроницаемого грунта.

Окна 5 для термических цехов следует делать с одинарным остеклением со стальными переплетами с рамами шириной 1,5 и 2 м, высотой кратной 1,2 м, что позволяет получать оконные проемы шириною 3; 4 и 6 м (ГОСТ 7511—55).

Двери промышленных зданий делают высотой 2,3 м и шириною 1,4 м. Размеры цеховых ворот 3×3 или 4×4 , а для прохода железнодорожных составов при широкой колее $4,7 \times 5,6$ м; в воротах устраивают двери для прохода людей.

Для утепления ворот применяют воздушные завесы.

Полы в промышленных зданиях термических цехов делают из клинкера, каменной брусчатки или цемента. Сначала укладывается подстилающий слой бетона со щебнем по утрамбованному грунту, а для клинкера и брусчатки из слоя песка, толщиной 100—200 мм.

В травильных отделениях и мокрых зонах пол следует делать водонепроницаемым (из клинкера или керамических плиток с уклоном не менее 0,005 для стока воды).

Для улучшения освещенности зданий и возможности естественной аэрации фермы снабжают фонарями. Чаще применяют продольные фонари с вертикальным остеклением. Данные фонари проще по конструкции и обеспечивают более равномерное освещение; они лучше по условиям противовоздушной обороны. Ширина продольных фонарей 6 м при пролетах 12 и 18 м и 12 м для пролетов 24 м и выше. Высота остекления ($\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{8}$) L.

При ширине фонаря 12 м и значительных тепловыделениях применяется М-образный фонарь с внутренним отводом воды, что облегчает движение воздуха к вытяжным отверстиям. Фрамуги в фонарях должны открываться механизированным путем с управлением снизу. При наличии в термическом цехе больших выделений тепла, дыма следует применять дополнительно к световым фонарям ветровые панели. Стойки фонарей с основной фермой скрепляют в узлах верхнего пояса.

На перекрывающие пролет фермы и фонари укладывают крупнопанельные железобетонные плиты размерами $6,0 \times 1,5$ и $6,0 \times 3,0$ м с усиливающими поперечными ребрами.

Плиты перекрывают утеплителями, в качестве которых

используют плиты толщиной 80—120 мм из теплоизоляционных материалов (пенобетон, фибриолит, минеральная вата и т. п.). На теплоизоляционные плиты по битумной мастике укладывается кровля или рулонный ковер.

Для удаления с кровли воды и снега применяют наружный сток (рис. 111, б) или внутренний отвод через водосточные воронки (рис. 111, в).

Иногда в термических цехах для размещения вспомогательных служб и трубопроводов устраивают подвальные помещения. В связи с высокой стоимостью строительства больших подвалов, целесообразно для установки вертикальных печей, закалочных баков, сливных резервуаров и т. п. делать лишь местные заглубления, а для трубопроводов устраивать туннели или каналы, перекрываемые сверху плитами. Газопроводы прокладывать в земле и каналах запрещается. Наиболее проста и дешева открытая проводка над землей, когда трубопроводы крепят на металлических или железобетонных колоннах или на кронштейнах, которые крепят к стенам цеха. Газопроводы можно размещать по стенам только в случае огнестойких или полугонестойких конструкций. Трубопроводы в цехе крепят на высоте не менее 3 м, а вне цеха на высоте 5—6 м.

Примерная стоимость одноэтажных промышленных зданий термических цехов от 16 до 20 руб. за 1 м³ объема здания.

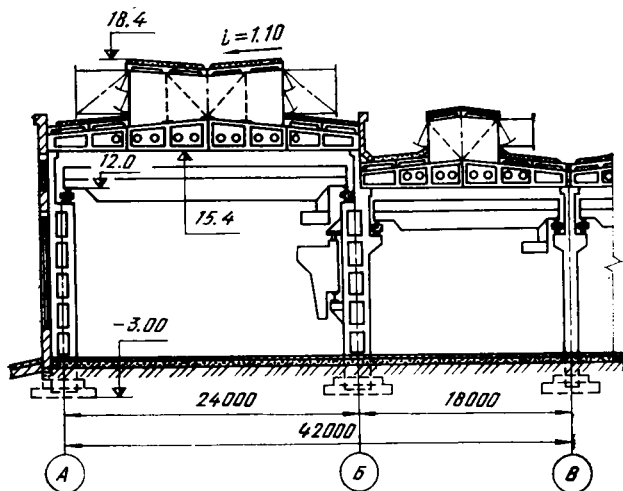


Рис. 112. Поперечный разрез цеха с железобетонным каркасом

В качестве примера поперечного разреза термического цеха на рис. 112 приведено здание с железобетонным каркасом.

Для санитарно-гигиенического и культурного обслуживания рабочих и размещения конторских помещений строят бытовые помещения. Их располагают в пристройках к производственным зданиям и выполняют в 2—3 этажа. Состав и объем необходимых бытовых помещений диктуется характером технологических процессов и определяется в соответствии с санитарными нормами проектирования промышленных предприятий (НСП 101—51). Предпочтительней размещение бытовых помещений в торце производственного здания. Такое расположение обеспечивает движение рабочих к местам работы с направлением технологических и транспортных потоков. Примерная стоимость бытовых помещений от 18 до 20 руб. за 1 м³ объема здания.

6. Особенности дипломного проектирования

Студенческий дипломный проект представляет собой сокращенный проект, ряд решений которого выполняется с использованием укрупненных показателей. Дипломный проект разрабатывается на основе реальных материалов завода, на котором студент проходил преддипломную практику, и решает конкретные производственные задачи. Однако студент должен показать теоретические знания в области своей и родственных специальностей в выборе сплава, технологического процесса термической обработки, оборудования, экономики и организации производства.

Основной задачей в проектировании является повышение эффективности и ускорение общественного производства — рост производительности труда, максимальное использование имеющихся производственных фондов, увеличение выпуска продукции при наименьших затратах и неуклонное повышение качества продукции.

Особенностью расчета годовой программы в дипломном проекте часто является расхождение между спецификацией обрабатываемых в цехе деталей и числом деталей, принимаемым в дипломном проекте. В ряде институтов заданием по дипломному проекту предусматривается разработка технологического процесса пяти-шести деталей, как представителей типичных групп, обрабатываемых в цехе (шестерен, валов, стального литья, метизов и т. п.). Однако годовая программа рассчитывается по общей массе деталей

взятых групп (например, в группе шестерен на комбайн «Колос» — 100 кг при выпуске 50000 комбайнов годовая программа составит $0,1 \times 50000 = 5000$ т в год). В этом случае при прохождении преддипломной практики следует взять данные об общей массе тех или иных групп деталей на изделие (группа шестерен, валов, метизов, поковок, стального литья и т. п.). Однако применение ЭВМ позволяет справиться со всей спецификацией термически обрабатываемых в цехе (отделении) деталей одновременно, рассортировывая их по маркам стали, технологическим процессам термической обработки, массе и другим показателям, как это было приведено в табл. 11.

В выполнении дипломного проекта большую роль играет преддипломная производственная практика, которая является существенной частью технологической подготовки дипломного проекта. При реальном проектировании частично стираются грани различия между самим проектированием и преддипломной практикой, так как часть дипломного проекта может быть выполнена на практике. Практика должна быть организована в термических цехах передовых заводов машиностроительной и металлургической промышленности. На преддипломной практике студенты изучают и анализируют применяемые стали и технологические процессы термической обработки, в соответствии с предъявляемыми к изделиям требованиями, работу оборудования, качество продукции, организацию производства (схему управления цехом, штаты, систему оплаты труда и др.) и экономику (расход и стоимость топлива, электроэнергии, основных и вспомогательных материалов, технико-экономические показатели работы цеха).

Особое внимание уделяется механизации и автоматизации трудоемких процессов, созданию высокопроизводительных процессов с заменой периодических непрерывными процессами. Поэтому необходимо рассмотреть план технических и рационализаторских мероприятий цеха, в том числе по охране труда и окружающей среды. В результате анализа желательно внести в дипломный проект свои предложения по применению сплавов, совершенствованию технологических процессов и оборудования, планировки цеха и др. По возможности дать свои рационализаторские предложения.

На преддипломной практике должен быть вчерне составлен технологический процесс термической обработки, намечены сплавы, выбрано и размещено оборудование (предлагаемая планировка).

Выбор сплава или технологического процесса термиче-

ской обработки, или оборудования должен быть сделан на основе технико-экономического сравнения ряда вариантов. Поэтому на преддипломной практике следует продумать какие варианты будут сравниваться в дипломном проекте.

Во время преддипломной практики студенты приобретают также навыки в управлении и организации работы цеха, осваивают производственные обязанности мастера или технолога цеха и проводят идейно-воспитательную работу в коллективе, выполняя задание по общественно-политической практике (ОПП). Особое внимание должно быть уделено при выполнении ОПП пропаганде среди рабочих политики КПСС, а на производстве — анализу технико-экономических вопросов с нахождением эффективных решений.

При выборе тем дипломных проектов рекомендуется учитывать реальные нужды производства, но без ущерба для учебных целей. Хорошо успевающим студентам, проявившим способности к научно-исследовательской работе, разрешается, вместо дипломного проекта, проведение экспериментальной научно-исследовательской работы, выполняемой в лабораториях кафедры или других институтах и предприятиях.

С целью интенсификации существующего производства и его ускорения следует основное внимание уделять реконструкции действующих цехов и заводов, их перевооружению с повышением технического уровня и производительности агрегатов, установок, улучшению организации производства, замене малоэффективного оборудования — высокопроизводительным, применению прогрессивной технологии обработки изделий.

Параллельно с основной темой проекта студенту выдается задание по специальной части. Объектами специальной части проекта могут быть: обоснование выбора сплавов новых марок и разработка новых технологических процессов термической обработки; вопросы интенсификации процессов термической обработки; разработка оригинальных конструкций термических печей, ванн, нагревательных аппаратов, закалочных устройств и машин; автоматизация и механизация работы печей, основных и вспомогательных процессов термической обработки, температурного контроля, атмосферы печи; контроль качества продукции с применением неразрушающих методов и др.

Следует шире применять реальное проектирование. Под реальным дипломным проектом понимается проект, часть рекомендаций кото-

рого может быть принята для реализации. Реальный проект должен решать принципиальные вопросы, не сводиться к детализовке и изготовлению рабочих чертежей, реальность проекта устанавливается ГЭК. Реальными дипломными проектами могут быть проекты, выполненные по договорам или заданиям предприятий на уровне технических проектов; проекты, имеющие исследовательскую часть, выполненную по заданию предприятий или кафедры и принятую к реализации или оформленную в виде научной статьи; проекты, в которых разработаны: новые узлы печей, агрегатов, улучшенные технологические процессы, новые типы сплавов, методы неразрушающего контроля, новые приспособления, рекомендованные к внедрению ГЭКом, или по которым даны заявки в Комитет по делам открытий и изобретений при Совете Министров СССР, или принятые на заводе в качестве рационализаторского предложения; исследовательские дипломные работы, выполняемые как часть госбюджетных или хозяйственных работ, проводимых на кафедре.

При выборе технологического процесса следует наметить наиболее приемлемые по технологическим соображениям варианты они сравниваются по экономической эффективности с целью выбора оптимального. Сравнение вариантов технологического процесса может быть проведено при выборе сплава, режимов термической обработки и основного оборудования (печей и нагревательных установок). Расчет экономической эффективности технологических вариантов складывается из 3 частей: 1) определения суммы капитальных вложений; 2) подсчета технологической себестоимости, исчисленной по различным статьям для сравниваемых вариантов; 3) выбора варианта и определения годового экономического эффекта от применения выбранного технологического процесса или оборудования.

Предварительно необходимо привести исходные данные, включающие все основные показатели термического цеха, в котором студент проходил производственную практику, а также по справочникам, монографиям, журнальным статьям, результатам исследований.

	Базовый вариант	Вариант I	Вариант II
Годовой выпуск, т (шт.)			
Средняя масса детали, кг			
Марка сплава			
Длительность цикла, ч:			
цементации			
закалки			

отпуска	.
Вид оборудования и часовая произво-	.
дительность, т	.
Действительный фонд времени работы	.
оборудования, ч	.
Прейскурантная цена оборудования,	.
тыс. руб	.
Норма амортизации	.
Норма обслуживания	.
Разряд рабочих	.
Часовой расход топлива и электро-	.
энергии:	.
природного газа	.
контролируемой атмосферы	.
электроэнергии	.
Расход технологических материалов	.
Стойкость технологической оснастки:	.
поддонов	.
радиационных труб	.
Повышение срока службы изделий	.
против базового варианта, %	.
Возможное уменьшение массы изде-	.
лий, вследствие повышения прочности	.
против базового варианта, %	.

Экономический эффект от внедрения в производство новых материалов достигается в результате применения менее дорогих экономнолегированных сталей и сплавов; использования наиболее прочных материалов, что позволяет снизить металлоемкость изделий, уменьшив расход металла на единицу годной продукции; уменьшения себестоимости обработки изделий; снижения брака; применения сплавов с более длительным сроком службы при эксплуатации.

Для выбора варианта рассчитывают технологическую себестоимость термической обработки, включая только затраты, которые изменяются в результате внедрения новых технологических процессов и оборудования.

В ряде случаев при внедрении новых материалов и упрочняющей обработки получается улучшение качества изделий, что реализуется в повышении долговечности их работы. При этом экономический эффект определяется в сфере производства и эксплуатации того предприятия, в котором эти детали находят применение. Эффект в сфере эксплуатации возникает вследствие повышения сроков службы изделия, меньшего количества запасных деталей, меньших простоев при замене деталей и т. п. В этом случае расчет годового экономического эффекта производится согласно «Методике определения экономической эффек-

тивности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений».

Расчетные данные целесообразно представлять по форме, указанной ниже:

	Базовый вариант	Вариант I	Вариант II
Количество единиц оборудования по видам, шт.			
Стоимость оборудования по видам, тыс. руб.			
Стоимость материала технологического назначения, тыс. руб.			
Стоимость технологического топлива и энергии, тыс. руб.:			
природного газа			
электроэнергии			
контролируемой атмосферы			
Сумма основной зарплаты производственных рабочих, тыс. руб.			
Дополнительная зарплата производственных рабочих, тыс. руб.			
Отчисления в соц. страх, тыс. руб.			
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования, тыс. руб.:			
амортизация оборудования			
содержание оборудования			
расход на ремонты			
Расходы на технологическую оснастку, тыс. руб.:			
поддоны			
радиационные трубы			
приспособления			
Цеховые расходы, тыс. руб.			
Технологическая себестоимость термической обработки:			
годового выпуска, тыс. руб.			
на единицу продукции, руб.			
Приведенные затраты, руб.			
Годовой экономический эффект, тыс. руб.			

На основе расчета выбирается наиболее экономичный вариант технологического процесса или оборудования.

Выбор варианта технического решения проводят с учетом качества продукции и изменения текущих и капитальных затрат у потребителя. При одинаковом качестве продукции в сравниваемых вариантах, экономичный вариант выбирается по минимуму приведенных затрат

$$Z_{\text{пр}} = C + E_n K \rightarrow \min, \quad (32)$$

где C — себестоимость годового объема производства, руб.;

K — капитальные затраты, руб.; E_n — нормативный коэффициент эффективности, который составляет 0,15.

Годовой экономический эффект определяется как разность годовых приведенных затрат по вариантам.

7. Содержание исследовательской дипломной работы

Дипломная работа, так же как и дипломный проект, состоит из пояснительной записки и графической части.

Примерное содержание пояснительной записки: реферат; введение; содержание работы (основная часть); обзор литературы и результаты патентного поиска по исследуемому вопросу; материалы и используемые методики исследования; результаты экспериментальной работы и их анализ; заключение; список использованной литературы; приложение.

Кроме указанных разделов студенческая дипломная работа должна содержать экономическую часть и мероприятия по охране труда и противопожарной профилактике.

Реферат содержит сведения об объеме, количестве иллюстраций, таблиц, использованных литературных источников, перечень ключевых слов. Последний включает 5÷÷15 слов в именительном падеже, которые характеризуют содержание пояснительной записки. Текст реферата в краткой форме должен отражать объект и цель исследования, методику исследования и литературу, новизну полученных результатов, области применения, эффективность, рекомендации по внедрению результатов. Объем текста реферата 1—2 страницы.

Введение обосновывает актуальность и новизну темы, дает оценку современного состояния вопроса в области которого проводится работа, необходимость постановки дополнительных исследований и исходные данные для проведения работы.

Содержание работы является основной частью записки. Она включает:

1. Обзор литературы и патентный поиск по изучаемой проблеме в разрезе поставленной темы. Анализ и обобщение современного состояния вопроса с указанием положений, которые мало изучены или не имеют единого мнения. В итоге литературного и патентного обзора намечаются цели и пути собственных исследований.

2. Обоснование методики исследования, исходя из современного состояния и требуемой точности эксперимента.

3. Характеристику исследуемого материала — химиче-

ский состав, способ получения, условия отливки, раскисления, прокатки,ковки и т. п.

4. Описание используемой аппаратуры, приборов и схем установок для выполнения работы.

Желательно применение ряда методик (например, изучение механических свойств, металлографический и электронномикроскопический анализ, рентгеновский и металлографический методы, магнитометрический дилатометрический, термо-э. д. с., внутреннее трение и др. Приводятся количественные оценки изучаемых факторов согласно данным ГОСТов и применяемым шкалам. Описываются методы измерения температуры.

Если применяемые методы широко известны или приводятся в ГОСТах, то делается ссылка на источник без подробных описаний в тексте. Результаты экспериментальной работы описывают подробно с иллюстрацией таблицами, графиками, схемами, макро- и микрофотографиями. Приводится полученный экспериментальный материал, дается анализ, оценка достоверности полученных результатов (характеристик, параметров), их сравнение с аналогичными результатами отечественных и зарубежных работ или литературными данными.

При проведении экспериментальных работ желательно применение планирования эксперимента. Это значительно уменьшает число опытов, позволяет найти оптимальные составы сплавов и условия их обработки. При планировании эксперимента необходимо провести поиски функциональной или корреляционной связи. Рекомендуются использование многофакторной схемы эксперимента.

Следует применять математические методы с целью выявления вида зависимости исследуемого параметра от факторов на него влияющих. В случае функциональной связи желательно найти уравнение, описывающее эту зависимость. При корреляционной связи следует воспользоваться методами математической статистики с целью расчета средних значений и их доверительных интервалов, получения линейного или более высокого порядка. Уравнения регрессии для оценки значимости коэффициентов в уравнении регрессии, корреляционных отношений и т. п. Для ускорения расчета следует использовать ЭВМ.

При проведении исследования студентом ведется рабочая тетрадь, в которую он заносит все данные экспериментов. Рабочая тетрадь является первичным документом в проведении работы.

Заключение должно содержать краткие выводы по

результатам выполненной работы. Необходимо указать научную или народнохозяйственную значимость полученных результатов, дать предложения по их использованию, оценку технико-экономической эффективности. Критерием эффективности работы могут быть научная теоретическая значимость, заключающаяся в нахождении новых закономерностей, применения новых процессов; технико-экономическая — повышение эксплуатационной стойкости, повышение механических и других свойств, позволяющие уменьшить массу деталей, получить экономию дефицитных легирующих элементов, сокращение времени процессов термической обработки, материальных затрат, рабочей силы и др.; социальная — облегчение условий труда, повышение безопасности работы, охрана здоровья трудящихся и окружающей среды.

Если экономический эффект по работе подсчитать затруднительно или невозможно, то в экономической части работы приводится расчет по определению стоимости проведения данной дипломной работы. Одновременно описывается организация работы с составлением сетевого графика ее выполнения.

В разделы охрана труда и противопожарная профилактика входит описание мероприятий по охране труда, технике безопасности и противопожарной профилактике применительно к условиям лаборатории или цеха, в которых проводится исследовательская дипломная работа.

Список литературы помещается в конце пояснительной записки и должен содержать только литературные источники, на которые имеются ссылки в тексте записки. Помещать в списке литературы источники, на которые нет ссылок в тексте, не разрешается. Характер ссылок был указан ранее.

В приложение включают цифровые таблицы результатов экспериментов, если в тексте записки они представлены в виде графиков. Также приводятся всякого рода инструкции, акты испытаний, авторские свидетельства по выполняемой работе, описание алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ, разработанных в процессе выполнения исследований. Приложения нумеруют порядковыми номерами, помещаемыми в верхней правой стороне страницы.

Графическую часть работы, оформление рисунков и таблиц выполняют с соблюдением правил, указанных ранее при описании требований к дипломному проекту.

Фотографии наклеивают на отдельные листы бумаги

и снабжают номером рисунка и раздела и подписями, помещенными под рисунком. Для микро- и макрофотографий указывают увеличение.

При защите работы в ГЭК основные результаты работы иллюстрируют графиками, схемами, таблицами, выполняемыми в карандаше или тушью и микрофотографиями, наклеенными на листы чертежной бумаги формата 24, размером 590×841 мм. В толщине линий и обозначениях необходимо придерживаться ГОСТов и ЕСКД.

Большую помощь в постановке исследования, методике и анализе экспериментов может оказать монография проф. М. А. Штремеля.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Плотность и коэффициент теплопроводности металлов и сплавов

Металл или сплав	ρ , кг/м ³ при 20° С	λ , Вт/(м·К), при температуре, °С					
		20	200	400	600	800	1000
Железо	7880	72	65	53	41	30	28
Сталь 20	7860	68	58	46	37	28	28
Сталь 50	7850	66	56	45	35	26	26
У10	7830	46	41	35	31	26	23

Низколегированные стали

50Г, 40Х, 40ХС	7830	49	41	37	33	27	24
Х, ШХ15, 9ХС	7800	43	40	35	30	27	23
30ХГС, 20ХН3А	7840	40	36	33	29	27	23
30ХН3М	7830	38	35	35	30	23	23

Высоколегированные стали

P18, P6M6	8690	24	27	28	27	26	28
3X13, 3X2B8	8200	23	23	23	23	23	27
2X18H9	7920	15	17	20	22	26	24
X18H25C2	7800	12	12	14	16	21	23
Г13	7700	12	14	16	19	21	23
Чугун серый	7100	49	44	41	40	—	—
Алюминий	2700	200	230	324	410	—	—
Дуралюмин	2750	160	194	260	350	—	—
Силумин	2650	162	175	320	330	—	—
Медь	8940	390	380	365	357	—	—
Латунь Л90	8730	102	133	166	195	—	—
Латунь Л66	8670	100	113	128	151	—	—
Бронза Бр0Ф6,5—0,4	8800	45	56	65	70	—	—
Бронза БрОС 8—12	9100	46	52	63	72	—	—
Никель	8900	66	57	56	53	—	—
Нихром	8400	13	15	18	22	23	25
Монель-металл	8800	22	28	34	—	—	—
Нейзильбер	8700	24	40	49	—	—	—
Магний	1740	140	137	131	—	—	—
Электрон	1800	116	133	140	—	—	—
Цинк	7140	113	102	93	—	—	—

Приложение 2. Средние значения теплоемкости c , кДж (кг·К) для металлов и сплавов от 0 °С до различных температур

Сплав	Температура, °С							
	20	200	400	600	800	900	1000	1200
Железо	0,452	0,486	0,520	0,570	0,650	0,655	0,650	0,645
Углеродистые и низколегированные стали	0,420	0,495	0,535	0,580	0,686	0,686	0,680	0,680
Высоколегированные стали:								
P18	—	0,423	0,450	0,490	0,532	0,555	0,555	0,565
2X13	0,470	0,490	0,527	0,590	0,608	0,657	0,657	0,657
X18H9	0,490	0,515	0,535	0,560	0,582	0,588	0,595	0,607
Г13	0,495	0,531	0,565	0,595	0,607	0,620	0,620	0,631
Трансформаторная	—	0,507	0,536	0,615	0,653	0,660	0,660	0,662
Чугун серый	0,545	—	—	—	—	—	—	—
Алюминий	0,922	0,950	0,955	1,170	—	—	—	—
Медь	0,380	0,388	0,415	0,427	0,448	0,448	0,465	—
Никель	0,435	0,470	0,495	0,506	0,510	0,515	0,520	—
Магний	1,022	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Теплоемкость при 20 °С для БрОФ 6,5—0,4 0,400, для БрА10 0,435, для Л68 0,399, для монель-металла 0,540, для константана 0,410, для никелина 0,443, для нейзильбера 0,364 для дуралюмина 1,260, для электрона 1,000 кДж/(кг·К).

Приложение 3. Ориентировочные расходы топлива и к. п. д. термических печей

Тип печи для нагрева	Рабочая температура, °С	Пламенные печи			Электрические печи		
		кДж кг	в услов- ном, %	к. п. д.	кВтч т	в услов- ном, %	к. п. д.
Отпуск							
Камерная	550	1600	5,7	18	140	1,7	60
Конвейерная	550	1260	4,5	25	110	1,5	75
Закалка, нормализация							
Камерная	850	3150	11,0	18	320	4,0	50
Толкательная с непосредствен- ным толканием	850	2100	7,0	28	220	2,7	70
Толкательная с поддонами	850	3570	12,0	16	350	4,3	45
Конвейерная	850	2350	8,0	24	245	3,0	65
Роликовая	850	2100	7,0	27	220	2,7	70
Карусельная	850	1900	6,5	30	210	2,5	75
Соляная ванна	800	3350	11,0	15,0	250	3,0	60

Продолжение приложения 3

Тип печи для нагрева	Рабочая температура, °C	Пламенные печи			Электрические печи		
		кДж кг	в услов- ном, %%	к. п. д.	кВтч т	в услов- ном, %%	к. п. д.

Отжиг

Камерная	900	3570	12,0	16	450	5,5	40
Камерная с выдвижным подом	900	2850	10,0	20	360	4,5	50
Туннельная	900	2400	8,0	25	300	3,5	60
Роликовая для листов	850	1600	6,0	33	—	—	—
Элеваторная с подъемной тележкой	900	—	—	—	300	3,5	60

Отжиг ковкого чугуна

Камерная	870	12 500	43,0	5,0	—	—	—
Туннельная	870	4200	15,0	15,0	760	9,5	21
Элеваторная с подъемной тележкой	870	—	—	—	680	8,5	24
Туннельная с рекуперацией	870	—	—	—	500	6,0	35

Цементация (газовая)

Толкательная	930	2900	10,0	22	400	5,5	40
Шахтная	930	—	—	—	600	7,5	30
Печь для нагрева при патентовании проволоки	1000	3570	12,0	20	—	—	—

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Глава I

Расчет нагревательных и термических печей. Справочник/Под ред. *Тымчака В. М. и Гусовского В. Л.* М.: Металлургия, 1983. — 480 с.
Тайц Н. Ю. Технология нагрева стали. М.: Металлургиздат, 1962, — 567 с.

Тепловые расчеты нагрева металла на ЭВМ/Под ред. Несенчука А. П. Минск: Высшая школа, 1977. — 304 с.

Термическая обработка в машиностроении. Справочник/Под ред. *Лахтина Ю. М., Рахштадта А. Г. М.*: Машиностроение, 1982. — 496 с.

Глава II

Атлас дефектов стали. Пер. с нем. М.: Металлургия, 1979. 188 с.

Включения и газы в сталях и сплавах/*Явойский В. И., Близнюков С. А., Вишкарёв А. Ф.* и др. М.: Металлургия, 1979. — 272 с.

Голиков И. Н., Масляников С. Б. Дендритная ликвация в сталях и сплавах. М.: Металлургия, 1977. — 224 с.

Дефекты стали. Справочник/Под ред. *Новокщеновой С. М., Виноград М. И. М.*: Металлургия, 1984. — 199 с.

Карпов Л. Д., Гребнев Б. Д. Стандарты управляют качеством. М.: Знание, 1983. — 64 с.

Контроль качества термической обработки стальных полуфабрикатов и деталей. Справочник/Под ред. *Кальнера В. Д. М.*: Машиностроение, 1984. — 384 с.

Купряков Е. М. Стандартизация и качество промышленной продукции. М.: Высшая школа, 1985. — 288 с.

Либерман Я. Л., Кувшинский В. В. Контрольно-сортировочные автоматы. М.: Машиностроение, 1983. — 96 с.

Металловедение и термическая обработка стали. Справочник, т. I. Методы испытаний и исследований/Под ред. *Бернштейна М. Л., Рахштадта А. Г. М.*: Металлургия, 1983. — 352 с.

Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник./*Беда П. И., Выборцов Б. И., Глазков Ю. А./М.*: Машиностроение, 1976. — 456 с.

Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник/Под ред. *Клюева В. В. М.*: Машиностроение, 1976. 1 книга — 391 с., 2 книга — 326 с.

Склюев П. В. Водород и флокены в крупных поковках. М.: Машгиз, 1963. — 188 с.

Глава III

Автоматизация методических печей/*Буглак И. Б., Вольфман И. Б., Ефроймович С. Ю. М.*: Металлургия, 1981. — 195 с.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Справочник/Под ред. *Гриценко А. З. и Грищука В. П., Денисенко В. М.* и др. Киев: Техника, 1983. — 361 с.

Алексеев П. И. Технологическое проектирование гибких автоматизированных производств. Машиностроение, 1984, — 20 с.

Бердяковский М. А., Кручинкин Н. С., Подольн В. А. Микропроцессоры. М.: Радио и связь, 1981. — 72 с.

Бурдаков С. Ф., Дьяченко В. А., Тимофеев А. Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. Учебное пособие для студентов вузов. М.: Высшая школа, 1986. — 264 с.

Вершинин О. Е. Применение микропроцессоров для автоматизации технологических процессов. Л.: Энергоатомиздат, 1986. — 208 с.

Васильев А. В., Энно И. К. Автоматизация пламенных печей в машиностроении. М.: Металлургия, 1970. — 232 с.

Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах/Под ред. *Петрова А. В.* М.: Высшая школа, 1984. — 320 с.

Дорофеев К. П. Основы автоматизации производства и вычислительная техника в термических цехах. Л.: Машиностроение, 1978. — 320 с.

Зиссос Д. Проектирование систем на микропроцессорах/Пер. с англ. Киев: Техника, 1982. — 176 с.

Козырев Ю. Г. Промышленные роботы. Справочник. — М.: Машиностроение, 1983. — 376 с.

Королев Л. Н. Развитие ЭВМ и их математическое обеспечение. — М.: Знание, 1984. — 64 с.

Основы автоматизации управления производственными процессами/*Кальфа В., Овчинников В. В., Рякино М.* и др. М.: Сов. радио, 1980. — 360 с.

Парангисвили И. В. Микропроцессоры и микроЭВМ. М.: Энергия, 1979. — 230 с.

Проектирование систем контроля автоматического регулирования металлургических процессов. Учебное пособие для вузов/*Глинков Г. М., Маковский В. А., Лотман С. Л.* 2-е изд. М.: Металлургия, 1986. — 352 с.

Промышленная робототехника/*Бабич А. В., Баранов А. Г., Калабин И. В.* М.: Машиностроение, 1982. — 455 с.

Промышленные роботы: Каталог. М.: НИИмаш, 1981. — 88 с.

Справочник по цифровой вычислительной технике/программное обеспечение/*Малиновский Б. Н., Липаев В. В.* Киев: Техника, 1981. — 207 с.

Строганов Р. П. Управляющие машины и их применение. Учебное пособие для студентов. М.: Высшая школа, 1986. — 240 с.

Устройство промышленных роботов/*Юревич Е. И., Аветиков Б. Г., Корытко О. Б.* Л.: Машиностроение, 1980. — 333 с.

Фритч В. Применение микропроцессоров в системах управления/Пер. с нем. М.: Мир, 1984. — 464 с.

Шабайкович В. А. Ориентирующие устройства с программным управлением. Киев: Техника, 1981. — 183 с.

Электронные вычислительные машины: В 8-ми кн.: Учебное пособие для вузов/Под ред. *Савельева А. Я.* — М.: Высшая школа. 1987.

Глава IV

Бернштейн М. Л., Займовский В. А., Капуткина Л. М. Термомеханическая обработка стали. М.: Металлургия, 1983. — 480 с.

Гусева С. С., Гуренко В. Д., Заварковский Ю. Д. Непрерывная термическая обработка автолистовой стали. М.: Металлургия, 1979. — 224 с.

Колачев Б. А., Габидулин Р. И., Пигузов Ю. В. Технология термической обработки цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1980. — 280 с.

Металловедение и термическая обработка стали. Справочник, т. III. Термическая обработка металлопродукции./Под ред. *Бернштейна М. Л., Рахштадта А. Г.* М.: Металлургия, 1983. — 216 с.

Проблемы совмещения горячей деформации и термической обработки стали/*Баранов А. А., Минаев А. А., Геллер А. Г.* М.: Металлургия, 1985. — 128 с.

Производство и термическая обработка железнодорожных рельсов/Под ред. *Лемпицкого В. В.* и *Казнарковского Д. С.* М.: Металлургия, 1972. — 272 с.

Производство железнодорожных колес/*Бибик Г. А., Иоффе А. М., Праздников А. В.* и др. М.: Металлургия, 1982. — 232 с.

Райцес В. Б. Термическая обработка на металлургических заводах. М.: Металлургия, 1971. — 248 с.

Соколов К. Н. Механизация и автоматизация в термических цехах. М. — Свердловск: Машгиз, 1962. — 295 с.

Термическое упрочнение проката/Под ред. *Стародубова К. Ф.* М.: Металлургия, 1970. — 367 с.

Термически упрочняемые рельсы/Под ред. *Золотарского А. Ф.* и *М. Транспорт*, 1976. — 264 с.

Технология термической обработки стали. Учебник для вузов. *Башнин Ю. А., Ушаков Б. К., Секей А. Г.* М.: Металлургия, 1986. — 424 с.

Узлов И. Г., Савенков В. Я., Поляков С. М. Термическая обработка проката. Киев: Техника, 1981. — 159 с.

Глава V

Бабаскин Ю. З. Структура и свойства литой стали. Киев: Наукова Думка, 1980. — 290 с.

Баскаков А. П., Заваров А. С., Грачев С. В. Термическая обработка в кипящем слое. М.: Металлургия, 1981. — 84 с.

Козловский Н. С. Химико-термическая обработка шестерен. М.: Машиностроение, 1970. — 232 с.

Лазерные и электроэрозионное упрочнение материалов/*Коваленко В. С., Верхотуров А. Д., Головкин Л. Ф.* М.: Наука, 1986. — 276 с.

Рахштадт А. Г. Пружинные стали и сплавы. М.: Металлургия, 1982. — 496 с.

Скляев П. В. Термическая обработка крупных поковок. М.: Машиностроение, 1976. — 60 с.

Соколов К. Н. Механизация и автоматизация в термических цехах. М. — Свердловск: Машгиз, 1962. — 295 с.

Термическая обработка в машиностроении. Справочник/Под ред. *Лактина Ю. М., Рахштадта А. Г.* М.: Машиностроение, 1982. — 496 с.

Термическая обработка крупных поковок/*Башнин Ю. А., Паисов И. В., Цурюков В. Н., Коровина В. И.* М.: Металлургия, 1973. — 176 с.

Технология термической обработки стали. Учебник для вузов. *Башнин Ю. А., Ушаков Б. К., Секей А. Г.* М.: Металлургия, 1986. — 424 с.

Технология термической обработки стали/Под ред. *Бернштейна М. Л.*, пер. с нем. М.: Металлургия, 1981. — 608 с.

Глава VI

Артингер Н. Инструментальные стали. Справочник. Пер. с венг. М.: Машиностроение, 1982. — 312 с.

Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983. — 527 с.

Гуляев А. П., Малинина К. А., Саверина С. М. Инструментальные стали. Справочник. М.: Машиностроение, 1975. — 264 с.

Позняк Л. А., Скрипченко Ю. М., Тишаев С. И. Штамповые стали. М.: Металлургия, 1980. — 224 с.

Технология термической обработки стали. Учебник для вузов. *Башнин Ю. А., Ушаков Б. К., Секей А. Г.* М.: Металлургия, 1986. — 424 с.

Тылкин М. А. Справочник термиста ремонтной службы. М.: Металлургия, 1981. — 648 с.

Глава VII

Автоматизация проектирования

Алгоритмы оптимизации проектных решений/Под ред. Половинкина А. И. М.: Энергия, 1976. — 184 с.

Батищев Д. И. Поисковые методы оптимального проектирования. М.: Сов. радио, 1975. — 216 с.

Гавриш А. П., Ефремов А. И. Автоматизация технологической подготовки машиностроительного производства. Киев: Техника, 1982. — 214 с.

Клюев А. С., Глазов Б. Б., Дубровский А. Х. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. М.: Энергия, 1980. — 512 с.

Коха Н. Д., Якобс Г. Ю. Проектирование технологических процессов и переработка информации. Пер. с нем. М.: Машиностроение, 1981. — 312 с.

Основы автоматизации управления производством./Макаров И. М., Евтихеев Н. Н., Дмитриева Н. Д. М.: Высшая школа, 1985. — 504 с.

Петренко А. И., Семенов О. И. Основы проектирования систем автоматизированного производства. Киев: Вища школа, 1984. — 296 с.

Применение ЭВМ в технологической подготовке серийного производства/Под ред. Митрофанова С. П. М.: Машиностроение, 1981. — 286 с.

Семенов О. И. Введение в системы автоматизации проектирования. Минск: Наука и техника, 1979. — 84 с.

ЭВМ в проектировании и производстве/Под ред. Орловского Г. В. Л.: Машиностроение, 1983. — 296 с.

Стали и сплавы

Богачев И. Н., Егولاев В. Ф. Структура и свойства железомарганцевых сплавов. М.: Металлургия, 1973. — 296 с.

Бодяко М. Н., Астапчик С. А., Ярошевич Г. Б. Мартенситностареющие стали. Минск. Наука и Техника, 1976. — 246 с.

Браун М. П. Микролегированные стали. Киев. Наукова Думка, 1982. 303 с.

Гладштейн Л. И., Литвиненко Д. А. Высокосортная строительная сталь. М.: Металлургия, 1972. — 240 с.

Гольдштейн М. И., Грачев С. В., Векслер Г. М. Специальные стали и сплавы. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1985. — 408 с.

Гудремон Э. Специальные стали, т. I и II. Пер. с нем. М.: Металлургия, 1959 и 1962. — 1638 с.

Гуляев А. П. Металловедение. Учебник для вузов. 6 изд. М.: Металлургия, 1986. — 544 с.

Журавлев В. Н., Николаева О. И. Машиностроительные стали. Справочник. М.: Машиностроение. 1981. — 391 с.

Захаров М. В., Захаров А. М. Жаропрочные сплавы. М.: Металлургия, 1972. — 384 с.

Кипарисов С. С., Либензон Г. А. Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1980. — 495 с.

Колачев Б. А., Лианов В. А., Елагин В. И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1981. — 416 с.

Лахтин Ю. М., Арзамасов Б. Н. Химико-термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1985. — 256 с.

Ляхович Л. С. Специальные стали. Минск: Высшая школа, 1985. — 208 с.

Масляников С. Б. Жаропрочные стали и сплавы. Справочник. М.: Металлургия, 1983. 191 с.

Меськин В. С. Основы легирования стали. М.: Металлургия, 1964. — 684 с.

Минкевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. М.: Машиностроение, 1965. — 491 с.

Пикеринг Ф. Б. Физическое металловедение и разработка сталей. Пер. с англ./Ред. Щербединский Г. В. М.: Металлургия, 1981. — 182 с.

Попов А. А., Попова Л. Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. Справочник термиста. М.: Металлургия, 1965. — 495 с.

Проблемы разработки конструкционных сплавов. Пер. с англ./Под ред. Джаффи Р. И., Вилкокса Б. А., М.: Металлургия, 1980. — 336 с.

Раузин Я. Р. Термическая обработка хромистой стали. М.: Машиностроение, 1978. — 277 с.

Спектор А. Г., Зельбет Б. М., Киселева С. А. Структура и свойства подшипниковых сталей. М.: Металлургия, 1980. — 264 с.

Тылкин М. А., Большаков В. И., Одесский П. В. Структура и свойства строительной стали. М.: Металлургия, 1983. — 288 с.

Ульянин Е. А. Коррозионностойкие стали и сплавы. Справочник. М.: Металлургия, 1980. — 208 с.

Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник/Под ред. Ляховича Л. С. М.: Металлургия, 1981. — 424 с.

Химишин Ф. Ф. Нержавеющие стали. М.: Металлургия, 1976. — 798 с.

Печи и оборудование

Байбородин Ю. В. Основы лазерной техники. Киев: Вища школа, 1981. — 408 с.

Вишняков Д. Я., Ростовцев Г. Н., Неустроев А. А. Оборудование, механизация и автоматизация в термических цехах. М.: Металлургия, 1964. — 467 с.

Донской А. В., Клубник В. С. Электроплазменные процессы и установки в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1979. — 221 с.

Кацевич Л. С. Теория теплопередачи и тепловые расчеты электрических печей. М.: Энергия, 1977. — 304 с.

Коваленко В. С. Прогрессивные методы лазерной обработки материалов. Киев: Вища школа, 1985. — 88 с.

Мастрюков Б. С. Теория, конструкции и расчеты металлургических печей, т. 2. М.: Металлургия, 1978. — 270 с.

Металлургическая теплотехника. Учебник для вузов/Кривандин В. А., Мастрюков Б. С., Арутюнов В. А. и др. М.: Металлургия, 1986. 426 с.

Расчет нагревательных и термических печей. Справочник/Под ред. Тымчака В. М., Гусовского В. Л. М.: Металлургия, 1983. — 480 с.

Рыкалин Н. Н., Зуев И. В., Узлов А. А. Основы электронно-лучевой обработки. М.: Машиностроение, 1978. — 233 с.

Соколов К. Н. Оборудование термических цехов. Киев—Донецк: Вища Школа, 1984. — 328 с.

Теплотехнические расчеты металлургических печей/Под ред. Телегина А. С. М.: Металлургия, 1982. — 360 с.

Упрочнение деталей лучом лазера./Под ред. Коваленко В. С. Киев: Техника, 1981. — 288 с.

Установки индукционного нагрева/Под ред. Слухоцкого А. Е. Л.: Энергоиздат, 1981. — 328 с.

Электротермическое оборудование. Справочник./Под ред. Альтгаузена А. П. М.: Энергия, 1980. — 416 с.

Экономика и организация производства

Организация и планирование машиностроительного производства./ Под ред. *Разумова И. М.* М.: Машиностроение, 1982. — 592 с.

Организация, планирование и управление деятельностью промышленных предприятий/*Каменицер С. Е., Русинов Ф. М., Мельник М. В.* и др. М.: Высшая школа, 1984. — 335 с.

Прейскуранты оптовых цен.

Солодихин А. Г., Калинин В. П. Экономика, организация и планирование производства в термических цехах. М.: Машиностроение, 1978. — 263 с.

Экономика машиностроительной промышленности/Под ред. *Разумова И. М.* и др. М.: Высшая школа, 1982. — 440 с.

По охране труда

Бринза В. Н. Охрана труда в черной металлургии. М.: Металлургия, 1982. — 334 с.

Зинковский М. М. Техника безопасности и производственная санитария. Справочник. М.: Металлургия, 1973. — 256 с.

Князевский Б. А. Охрана труда. М.: Высшая школа, 1982. — 310 с.

Охрана труда в машиностроении/Под ред. *Юдина Е. Я., Шарикова Л. П.* М.: Машиностроение, 1983. — 431 с.

Методика дипломного проектирования

Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Справочник/Под ред. *Грищенко А. З., Грищук В. П.* и др. Киев: Техника, 1983. — 351 с.

Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах/ Под ред. *Петрова А. В.* М.: Высшая школа, 1984. — 320 с.

Кичкин И. И., Скорняков Э. П. Патентные исследования при курсовом и дипломном проектировании в высших учебных заведениях. М.: Высшая школа, 1979. — 112 с.

Николаев Я. Ю. Методика экономических обоснований дипломных проектов для спец. 0407. Куйбышев, 1975. — 139 с.

Новик Ф. С., Арсов Я. Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования эксперимента. М.: Машиностроение, 1980. — 303 с.

Основы проектирования термических цехов/*Долженков И. Е., Стародубов К. Ф., Спасова А. А.* Киев: Вища школа, 1986. — 215 с.

Рохваргер А. Е., Шевяков Л. Ю. Математическое планирование научно-технических исследований. М.: Наука, 1975. — 440 с.

Сербер Д. Ж. Линейный регрессивный анализ. Пер. с англ. М.: Мир, 1980. — 456 с.

Хилл Перси. Наука и искусство проектирования. Методы проектирования, научное обоснование решений, Пер. с англ./Под ред. *Венды В. Ф. М.* М.: Мир, 1973. 263 с.

Штремель М. А. Инженер в лаборатории. М.: Металлургия, 1983. 128 с.

Экономика и организация производства в дипломных проектах по технологическим специальностям/Под ред. *Геворкяна А. М. М.* М.: Высшая школа, 1982. — 136 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Азотирование 206, 208
 - ионное 208
- Алгоритм 66
 - блок-схема для процесса цементации 71, 72
 - — — расчета полной модели азотирования 73
 - логическая схема 66
- Аморфное состояние 41, 42
- Анализ металлографический 50
- Время нагрева 11, 17
 - охлаждения 11
 - — формулы 11, 14—16
- Гибкие производственные системы (ГПС) 80
- Гомогенизация 88—922
 - слитков 89, 90
- Детали металлические (требования, деление на группы) 10
- Дефекты металлургического происхождения:
 - водородная хрупкость 45
 - дендритная неоднородность 43
 - зольная 43
 - излом камневидный 46
 - нафталинистый 45
 - шиферный 46
 - неметаллические включения 44
 - флокены 44
- Дефекты при термической обработке 48, 49
- Дипломный проект, определение 359
 - — реальный 361, 362
 - — студенческий 359
- Дипломная работа 365
- Заводы:
 - инструментальные 83
 - специализированные 83
 - универсальные 83
 - классификация 83
 - машиностроительные 83
 - металлургические 83
- Закалка:
 - бак для закалки толстых листов и плит в вертикальном положении 118
 - в воде 36, 37
 - — с добавлением жидкого стекла 38
 - водо-воздушной среде 39
 - масле 37
 - среде с добавкой органических полимеров 38, 39
 - — — ПАВ 38
 - жидкость закалочная 35, 37
 - изотермическая 40
 - индукционная поверхностная — объемная 213
 - концов рельсов 178
 - на воздухе 39
 - напряжения 35
 - неполная 49
 - подстуживание 41

- поверхностная 208, 209
- нагрев низкотемпературной плазмой 212
- рельсов объемная в масле 173
- с нагревом т. в. ч. 165, 177
- скорость охлаждения 35
- — зависимость от охлаждающей среды 36
- с самоотпуском 40
- стальных изделий на мартенсит 32
- Закалочная машина** 173, 175
- Карта технологическая (примерная форма)** 330
- Колеса железнодорожные** 180
- Конвекция** 30
- Константы физические** 13
- Контроль качества:**
 - крупных поковок 191—193
 - методы 50—52
 - обработка осей железнодорожных вагонов 184
 - рельсов 179
 - продукции, текущий 50
 - пружин 257
 - сортового проката и профилей 108, 109
 - труб после термической и термомеханической обработки 154, 155
 - цементованных сталей 206
- Коэффициент излучения** 29
- теплоотдачи 12, 13, 30
- теплопроводности металлов и сплавов 369
- Лазерная обработка** 210
- Лазеры** 210, 211
- Лента:**
 - изготовление узкой пружинной ленты методом плющения проволоки 167
 - технология термической обработки 166
- Манипулятор-робот, автоматический** 75
- — основные признаки 76
- — схема унифицированных модулей промышленных роботов 77
- для обслуживания карусельной закалочной печи 78
- МАРС 78, 79
- Микропроцессор** 67
- характеристики 68, 69
- Микросхема** 67
- Нагрев:**
 - блок-схема алгоритма расчета нагрева металла 21
 - влияние критических точек 28
 - разных факторов 26
 - графики для расчета нагрева цилиндра 22
 - — пластины 23
 - — различных сечений цилиндра и пластины 24, 25
 - массивных тел 15
 - способы 31, 32
 - тонких тел 15, 27
- Напряжения при закалке** 35
- Нитроцементация** 206
- шестерен т. в. ч. на поточной линии, обслуживаемой роботом 234
- Оборудование для термической обработки, схема расположения на ма-**

шиностроительном заводе 85
Отжиг диффузионный 88 .
— изотермический 104
— на зернистый перлит 104
— рекристаллизационный труб 153

Отпуск 41

Охлаждающая среда 34—41

Охлаждение:

блок-схема алгоритма расчета 21
в быстром движущемся потоке воды 39
влияние критических точек 28
в расплавах 39
графики для определения 22—25
кривые 33
периоды 32, 33
скорость 34
способы 32, 33

Печи:

автоматизация контроля технологических процессов 332
автоматическое регулирование давления в рабочем пространстве 55
— — параметров закалочной печи на газовом топливе 53
— — температуры 53
— — — электрических печей сопротивления, 55, 56
агрегат для нагрева и закалки автомобильных полуосей 230
башенная для непрерывного отжига ленты в расплавленном металлическом натрии 138, 139
— — обезуглероживающего отжига трансформаторной стали 136
— — отжига медной ленты 137—140
безмуфельные с тупиковыми радиационными трубами 224, 225
вертикальные башенного типа для непрерывного отжига ленты 134, 135
горизонтальная протяжная для непрерывной закалки ленты из коррозионностойкой стали 126
для нормализации или закалки ленты 127
— термической обработки заготовок на машиностроительных заводах 200
— — — крупных отливок 199, 200
каменные с контролируемой атмосферой 225, 226
копачковые 130, 131
конвейерная для изотермического отжига рельсов после прокатки 170, протяжные горизонтальные и вертикальные при непрерывном движении ленты 125
— непрерывного действия для отжига тонкой ленты 133
проходная коридорная для нормализации коленчатых валов с нагревом в вертикальном положении на подвесках 231
расчет числа дополнительного и вспомогательного оборудования 329
— — основного оборудования 328
роликовые 119, 120
— для закалки горячекатаных листов из коррозионностойкой стали 121
— — нагрева рельсов под закалку 173, 176
садка 29, 30, 192
с выдвинутым подом для нагрева под закалку толстых листов и плит 118
— — — — нормализации, закалки и отпуска отливок из износостойких аустенитных сталей 246

- — — — предварительной обработки крупных поковок 196
- техническая характеристика 324
- толкательная для промежуточного отжига бунтовой ленты из алюминиевых сплавов 132
- непрерывного действия для промежуточного отжига бунтов ленты из алюминиевых сплавов 131—133
- толкательные однорядные с вертикальными радиационными трубами и двухрядные с горизонтальными U-образными трубами, расположенными в два ряда над и под изделями для газовой цементации и нитроцементации деталей 222, 223
- с контролируемой атмосферой или туннельные для отжига на ковкий чугун 262—265
- туннельная для отжига листов динамной стали в стопах 133
- укладка изделий 29, 192
- управление составом атмосферы 52—58
- — — механизмами толкательной печи с гидравлическими приводами 60—63
- — — — — электрическими приводами 59
- установка для непрерывной закалки ленты из алюминиевых сплавов с нагревом т. в. ч. в индукторе с поперечным магнитным полем и поддержкой в шахтной печи 123, 130
- четырёхрядная цементационная 223, 224
- электрическая толкательная для закалки алюминиевых листов в вертикальном положении 121—124
- ямные со съёмным или сдвижным сводом 196
- Правка тепловая при закалке 41
- Проволока:
 - закалка и отпуск 160, 161
 - — — кардной и ремизной проволоки 160, 161
 - нагрев под закалку т. в. ч. 165
 - оборудование для термической обработки 158
 - патентирование (схема установки) 158
 - патентированная 156, 158
 - промежуточный отжиг 159, 160
 - термическая обработка 157, 164, 165
 - установка для непрерывного патентирования в кипящем слое 159
 - электроконтактный нагрев для патентирования и цинкования 161—163
- Проект, определение 302
 - новый 302
 - паспорт 305
 - содержание 303
- Производство единичное 85
 - массовое 86
 - серийное 86
- Расход топлива и к. п. д. термических печей (ориентировочно) 370, 371
- Расчет капитальных вложений 336—339
 - по труду и заработной плате 339
- Реконструкция 302
- Сталь:
 - автоматная 94
 - быстрорежущая 272, 273
 - внепечная обработка 187
 - динамная 141
 - для инструмента, работающего в особо тяжелых условиях 287
 - молотовых штампов 287

- поковок деталей турбо- и моторостроения, судостроения и общего машиностроения 185, 186
- прессового инструмента 287
- инструментальная 94, 95
- конструкционная легированная 193
- углеродистая 93, 94
- коррозионностойкая, жаростойкая, жаропрочная и теплоустойчивая 96
- легированная для режущего инструмента 268, 269
- пружинная 95
- трансформаторная 142
- производство 143
- углеродистая и низколегированная для режущего инструмента 270, 271
- шарикоподшипниковая 150
- электротехническая (определение, свойства, поставка, применение) 140
- Твердость, замеры 50
- Твердые металлокерамические сплавы 282, 283
- Температура поверхности тела 14, 19, 20
- Температурные напряжения 26, 27
- Тепло:
 - источники 31
 - теплоемкость 34
 - теплопроводность 17, 34
 - уравнения 17—19
- Термическая обработка:
 - агрегат для обработки трансформаторной стали 144
 - и поточная линия для обработки сортового проката 103
 - белой жести 115, 135
 - быстрорежущих сталей 278—281
 - валков станов холодной прокатки 294
 - ванны селитровые 121
 - волоочильного инструмента 286
 - ВТМО 106, 107
 - гильз двигателей внутреннего сгорания 220
 - горячекатаных труб 153
 - деталей крючковых штампованных цепей 242, 243
 - машин на поточных линиях 222—245
 - подшипников 248, 249
 - — на поточных линиях 248—253
 - роликовых цепей 241
 - дисков сцепления трактора и дисков почвообрабатывающих машин 222
 - железнодорожных колес 195
 - зубчатых колес 214—218
 - зубьев тракторных граблей 243, 244
 - калибров и измерительного инструмента 245
 - карданного вала 220
 - клапанов двигателей внутреннего сгорания 221
 - коленчатых валов 218, 219
 - колес и бандажей 180—184
 - котлов и паропроводов 147
 - крестовин 220
 - крупных поковок 185, 187
 - — противоблоксная обработка 189, 190
 - кулачковых распределительных валиков 219
 - лемехов плугов, лап культиваторов, ножей и сегментов 222

- ленты и листов из алюминиевых сплавов 116, 129, 132
- — — — медных сплавов 116, 128
- — — — титана и его сплавов 107
- накладок для соединения рельсов 184, 185
- оборудование 100
- для обработки листов и ленты 117
- обсадных труб 147
- опорных валков 293
- осей железнодорожных вагонов 184
- отжиг на ковкий чугун 261
- трансформаторной стали (схема) 142
- поковок из легированных сталей 194
- полуосей 220
- проволоки 155—165
- промежуточная 97
- профилей из титановых сплавов 99
- прутков и профилей из нержавеющей и жаростойких сталей 98
- — — — цветных сплавов 99
- — — общего назначения 97, 98
- рабочих валков станов холодной прокатки 292
- режущего инструмента 207
- рельсов 170—179
- рессор и пружин на поточных линиях 254—257
- рессорных листов на поточных линиях 258—261
- сварных поковок 191 ✓
- труб для магистральных газо- и нефтепроводов 149
- сегментов 244
- стержней для армирования железобетонных конструкций 98
- ТМО 105
- толстолистовой стали 109—112, 118
- толстых стальных листов с внешней механизацией шаржир-машинами 117
- тонколистовой стали 112—117, 125—127
- труб для добычи нефти и газа 145, 148
- из конструкционных сталей и сплавов 151, 153
- узкой ленты 166
- фасонных отливок 245
- холоднодеформируемых стальных труб 151, 152
- шарикоподшипниковых труб 150
- штампов для горячей деформации 285, 286, 288, 289
- штампового инструмента холодной штамповки 283—285
- электротехнической стали 141
- Технологический процесс, определение 10
- — схема управления с применением ЭВМ и микропроцессоров 64, 65
- Трещины:
 - литейные 47
 - при сварке 47 ✓
 - холодные 47
 - шлифовочные 48
- Упрочнение лучом лазера 212
- наклепом 209
- с прокатного нагрева 108
- Устройство арифметико-логическое 65
- ввода 63
- вывода 65

- запоминающее 63
- спрейерное для охлаждения труб 150
- управляющее 65

Фонд заработной платы рабочих 346, 347
Фрикционно-импульсная обработка 213

Химико-термическая обработка 220
 — — в ваннах с кипящим слоем 226, 227
 — — шестерен 215

Цементация 202, 203
 — вакуумная 204, 205

ЭВМ:

- логическая схема 66
- память 68
- единицы 68
- характеристики 67
- некоторых базовых ЕС ЭВМ 69, 70
- этапы подготовки задач к решению 66, 67
- энергетика и материальное снабжение 347
- эффективный фонд времени 341

У Ч Е Б Н И К

Константин Никандрович СОКОЛОВ
Ирина Константиновна КОРОТИЧ

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХОВ

Редактор издательства А. И. З и м и н а
 Художественный редактор Ю. И. С м у р ы г и н
 Технический редактор Г. Б. Ж а р о в а
 Корректоры Ю. И. К о р о л е в а, Г. Ф. Л о б а н о в а

ИБ № 3403

Сдано в набор 28.07.87. Подписано в печать 19.11.87. Т-24017. Формат бумаги 84X108¹/₃₂. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 20,16. Усл. кр.-отт. 20,16. Уч.-изд. л. 23,20. Тираж 11 960 экз. Заказ 919. Цена 1 р. 20 к. Изд. № 1644.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Металлургия»
 119857, ГСП, Москва, Г-34, 2-й Обыденский пер., д. 14

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном
 комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли
 600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7