

ПРОФТЕХОБРАЗОВАНИЕ



ТЕРМИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

И. М. Коротин

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

термической
обработки
металлов



И. М. Коротин · И. М. Коротин

Контроль качества термической обработки металлов

Одобрено Ученым советом
Государственного комитета СССР
по профессионально-техническому образованию
в качестве учебного пособия
для технических училищ



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1980

ВБК 34.651
К68
УДК 621.785

Отзывы и замечания направлять по адресу: 101430,
Москва, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».

Коротин И. М.

К68 **Контроль качества термической обработки металлов: Учебное пособие для техн. училищ. — М.: Высш. школа, 1980. — 192 с., ил. — (Профтехобразование. Термическая обработка металлов).**

25 к.

Приведены основные сведения о визуальных методах контроля качества термической обработки, дана методика определения размеров и деформаций контролируемых деталей универсальными измерительными инструментами, рассмотрен порядок проведения химического анализа и механических испытаний металлов и сплавов, описаны основные методы неразрушающего контроля термически обработанных деталей, даны краткие сведения о металлостроении и теории термической обработки, рассмотрены вопросы стандартизации и техники безопасности.

К 31103—362 70—80 2704070000
052(01)—80

6П4.51
ББК 34.651

Иван Михайлович Коротин

Контроль качества термической обработки металлов

Научный редактор В. М. Пименов
Редактор Г. В. Садыков
Обложка художника А. И. Шаварда
Художественный редактор В. П. Спирина
Технический редактор И. И. Кокорина
Корректор Г. А. Четккина

ИБ № 2351

Изд. № М—116. Сдано в набор 17.04.80. Подписано к печати 06.08.80.
Т-15020. Формат 84×108¹/₃₂. Бум. тип. № 3. Гарнитура литературная.
Печать высокая. Объем 10,08 усл. печ. л. 9,84 уч.-изд. л.
Тираж 15 000 экз. Зак. № 584. Цена 25 коп.

Издательство «Высшая школа», Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14.

Московская типография № 32 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР по делам издательства,
полиграфии и книжной торговли.
Москва, 103051, Цветной бульвар, 26.

© Издательство «Высшая школа», 1980

ВВЕДЕНИЕ

Машиностроительная промышленность является ведущей отраслью народного хозяйства СССР и играет решающую роль в ускорении технического прогресса, механизации и автоматизации производства. С каждым годом возрастает выпуск грузовых и легковых автомобилей, металлорежущих станков и приборов, кузнечно-прессовых машин, нагревательных термических печей и агрегатов, автоматических линий, средств автоматизации и других изделий машиностроительных предприятий. При этом важнейшее значение уделяется качеству, надежности и долговечности машин и оборудования.

В решении этих важных задач большая роль отводится термической обработке как одному из эффективных и экономичных методов упрочнения металлов и их сплавов. Термическая обработка металлов является составной частью общего цикла изготовления деталей машин и инструмента, позволяет повысить долговечность деталей и, следовательно, машин, уменьшить их массу и габаритные размеры.

Научное обоснование процессов термической обработки впервые было дано русским ученым металлургом Д. К. Черновым. Большой вклад в развитие науки о термической и химико-термической обработке металлов и сплавов, в разработку прогрессивных технологических процессов и создание новых видов механизированного термического оборудования внесли советские ученые Н. Т. Гудцов, Н. А. Минкевич, А. П. Гуляев и др. Широко применяются поверхностная закалка токами высокой частоты (т. в. ч.), пламенная закалка ацетиленокислородной смесью, нитроцементация, изотермическая и ступенчатая закалка, обработка холодом, нагрев дета-

лей в вакууме и контролируемых атмосферах. На машиностроительных заводах используются высокопроизводительные печи, двух- и трехрядные безмуфельные агрегаты для газовой цементации металлических конструкций и другое оборудование.

Выпуск высококачественной продукции термических цехов зависит также от квалификации контролеров ОТК, значительное место в профессиональной подготовке которых занимают учебные заведения системы профессионально-технического образования. Эти учебные заведения призваны обеспечить высокий уровень профессиональной подготовки молодежи, дать ей глубокие общеобразовательные знания, отвечающие современным требованиям научно-технического и социального прогресса. Молодой рабочий должен быть мастером своего дела, должен пополнять свои знания в области науки, техники и культуры, постоянно овладевать передовым опытом и повышать свою квалификацию.

В обязанности контролера ОТК 3-го разряда входят контроль и приемка деталей и узлов средней сложности, инструмента и поковок из углеродистых и легированных сталей и цветных металлов; определение способов и последовательности проверки принимаемых изделий; наладка и регулирование простого контрольно-измерительного инструмента и приборов для проверки твердости, а также проверка после поверхностной закалки и отпуска деталей средней сложности.

Контролер ОТК термических цехов должен знать технические условия и ГОСТы на приемку деталей средней сложности, виды и режимы термической обработки изделий, устройство контрольно-измерительных инструментов средней сложности, правила установления последовательности термообработки, оборудование термических цехов и способы определения марок стали по искре.

ГЛАВА I. ОСНОВЫ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

§ 1. Понятия о металлостроении

Металлостроением называют науку, изучающую связь между составом, строением и свойствами металлов и сплавов, а также изменения свойств под влия-

нием внешних воздействий — тепловых, химических, механических, электромагнитных и др.

Металловедение как наука возникла во второй половине XIX в. В этот период было создано общее представление о строении металлов и сплавов, а также разработаны промышленные прогрессивные методы получения стали и основы ее термической обработки. У истоков научного металловедения стояли выдающиеся русские ученые: М. В. Ломоносов, П. П. Аносов, Д. К. Чернов, Д. И. Менделеев, Н. С. Курнаков, А. А. Бочвар и др.

М. В. Ломоносову принадлежит первый в России учебник горнозаводского дела «Первые основания металлургии, или рудных дел», по которому воспитывалось несколько поколений русских инженеров.

Выдающийся металлург П. П. Аносов заложил основы учения о стали, впервые в 1831 г. применил микроскоп для исследования внутреннего строения сталей на полированных и травленых шлифах (образцах).

Труды Аносова были продолжены великим металлургом Д. К. Черновым, с именем которого связана целая эпоха в развитии теории и практики металлургии. В 1868 г. Д. К. Чернов научно доказал, что свойства стали определяются ее внутренним строением и что каждый металл (сплав) имеет определенные критические температуры (критические точки), при переходе через которые скачкообразно изменяются его внутреннее строение и свойства.

Несколько позднее Д. К. Чернов изложил основы современной теории кристаллизации металлов. Эти и последующие его работы явились фундаментом современного металловедения.

Крупнейшим научным событием в XIX в. явилось открытие Периодического закона химических элементов Д. И. Менделеева. Этот закон позволяет установить связь между свойствами, составом и строением металлов.

Научные труды русских ученых о металлах и термической обработке были продолжены советскими учеными. Большие работы проведены в теории фазовых превращений сплавов, что позволило выявить закономерности этих превращений, разработать теорию и решить многие вопросы термической обработки стали, дюралюмина, титана и других металлов и сплавов.

§ 2. Понятие о макро- и микроструктуре металлов и сплавов

Макро- и микроструктура. Все металлы — тела кристаллические и состоят из кристаллитов, т. е. монокристаллов неправильной формы, называемых также зернами, дендритами. В зависимости от условий затвердения металла зерна могут быть крупными и мелкими.

Крупное строение металла, видимое невооруженным глазом или при небольших увеличениях, называют **макроструктурой**. При анализе макроструктуры используют оптические системы небольшого увеличения — лупы и бинокулярные микроскопы. Объектом исследования является поверхность излома изделия или специально приготовленный образец — макрошлиф. Макроанализ позволяет выявить нарушения сплошности металла — газовые пузыри, трещины, рыхлость, оценить степень и направленность волокнистости структуры, а также неметаллические включения, толщину закаленного слоя и т. д. Таким образом, макроанализ позволяет оценить не только качество металла, но и определить условия его тепловой обработки.

Микроструктура — строение металлов и сплавов, видимое при помощи микроскопа. Для выявления микроструктуры изготавливают микрошлиф, т. е. небольшой образец, вырезанный из исследуемой детали, одну сторону которого тщательно шлифуют, полируют и подвергают травлению различными реактивами.

При анализе микроструктуры используют оптические металлографические микроскопы МИМ-7 (вертикальные) и МИМ-8 (горизонтальные). Микроструктурный анализ широко используют и для исследования металлов, и для контроля их качества. Для научных исследований металлов применяют электронный микроскоп, в котором вместо световых лучей используют электронные. Электронный микроскоп позволяет получать увеличения до 200 тысяч раз.

Основные типы сплавов. Для практических целей чистые металлы используют редко. Наибольшее применение находят сплавы, т. е. вещества, получаемые сплавлением двух или более металлов, а также металлов с неметаллами.

Строение металлического сплава значительно сложнее, чем чистого металла, и зависит в основном от

характера взаимодействия компонентов, составляющих сплав. Компоненты в твердом сплаве могут образовать механическую смесь, химическое соединение и твердый раствор.

Механическая смесь образуется, если компоненты сплава взаимно не растворяются в твердом состоянии, не вступают в химические реакции и имеют различные кристаллические решетки. Механическая смесь состоит из кристаллов *A* и *B*, отчетливо выявляемых при анализе микроструктуры (рис. 1).

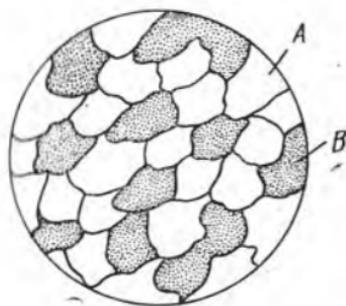


Рис. 1. Схема микроструктуры механической смеси

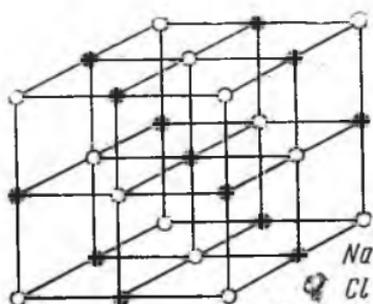


Рис. 2. Кристаллическая решетка хлористого натрия

Если атомы двух компонентов вступают друг с другом в химическое взаимодействие, то образуется химическое соединение. В химическом соединении в большинстве случаев имеет место кратное весовое соотношение компонентов, выражающееся формулой A_nB_m , где *A* и *B* — компоненты сплава, *n* и *m* — целые числа. Кристаллическая решетка (рис. 2) химического соединения и его свойства отличаются от решеток и свойств компонентов, составляющих такой сплав.

Если компоненты сплава взаимно растворяются друг в друге в разных количествах, то образуется твердый раствор. Твердый раствор имеет один тип кристаллической решетки. Различают два основных типа твердых растворов — замещения и внедрения.

В твердом растворе замещения атомы растворенного компонента замещают часть атомов растворителя в узлах кристаллической решетки.

В твердом растворе внедрения атомы растворенного компонента располагаются между ато-

мами растворителя. Твердые растворы внедрения обычно образуются при растворении в металлах неметаллических элементов, таких, как углерод, азот, бор и кислород. Атомы растворенного компонента по своей физической природе и размерам отличаются от атомов основного металла (растворителя), что вызывает искажение кристаллической решетки твердого раствора (рис. 3).

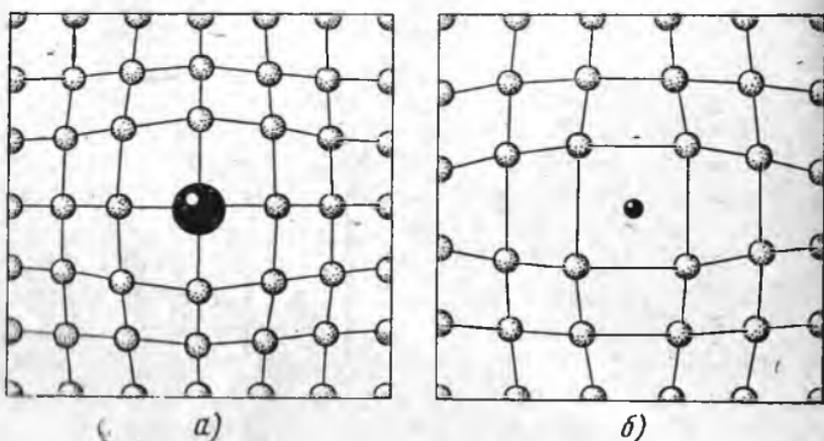


Рис. 3. Искажение кристаллической решетки в растворах замещения (а) и растворах внедрения (б)

Твердые растворы замещения и внедрения могут иметь упорядоченное (частично или полностью) и неупорядоченное расположение атомов в кристаллической решетке. Твердые растворы, имеющие полностью упорядоченное расположение атомов, называют сверхструктурами.

§ 3. Понятие о фазовых превращениях в сплавах

Процесс перехода кристаллического вещества из жидкого состояния в твердое протекает с образованием кристаллических решеток. Некоторые кристаллические вещества способны образовывать различные типы кристаллических решеток. Такое явление носит название аллотропии. Процесс перехода вещества из одного кристаллического строения в другое называют аллотропическим или полиморфным превращением. Каждая из аллотропических форм существует

только в определенном интервале температур и давлений и обозначается начальными буквами греческого алфавита: α , β , γ , δ и т. д. Примерами металлов, обладающих аллотропией, могут служить железо, олово, титан и др.

На рис. 4 изображена кривая охлаждения чистого железа. При температуре 1539°C железо из жидкого состояния переходит в твердое. В результате образуется δ -железо, имеющее кристаллическую решетку объемно-центрированного куба. При 1400°C железо принимает новую аллотропическую форму γ -железа с решеткой гранцентрированного куба. При 910°C происходит переход гранцентрированной решетки в кристаллическую решетку объемно-центрированного куба. При температуре 769°C кристаллическая решетка не перестраивается, ниже этой температуры железо становится магнитным (ферромагнитное α -железо). Температура 769°C , при которой происходят магнитные превращения, называется точкой Кюри. Выше 769°C железо парамагнитно. Таким образом, основными аллотропическими формами железа являются α - и γ -железо.

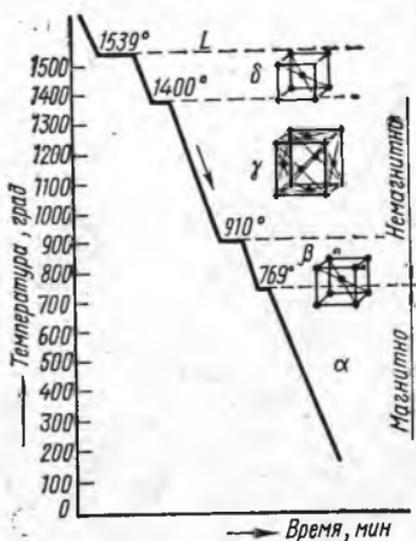


Рис. 4. Кривая охлаждения чистого железа (аллотропические превращения)

§ 4. Диаграммы состояния двухкомпонентных систем

Диаграммы состояния (графические изображения) дают наглядные представления о кристаллизации и превращениях двойных металлических сплавов при нагреве и охлаждении.

Диаграмма состояния I рода. Примером такой диаграммы может служить схема, приведенная на рис. 5. Оба компонента — свинец (Pb) и сурьма (Sb) — в жидком состоянии неограниченно растворимы, а в твер-

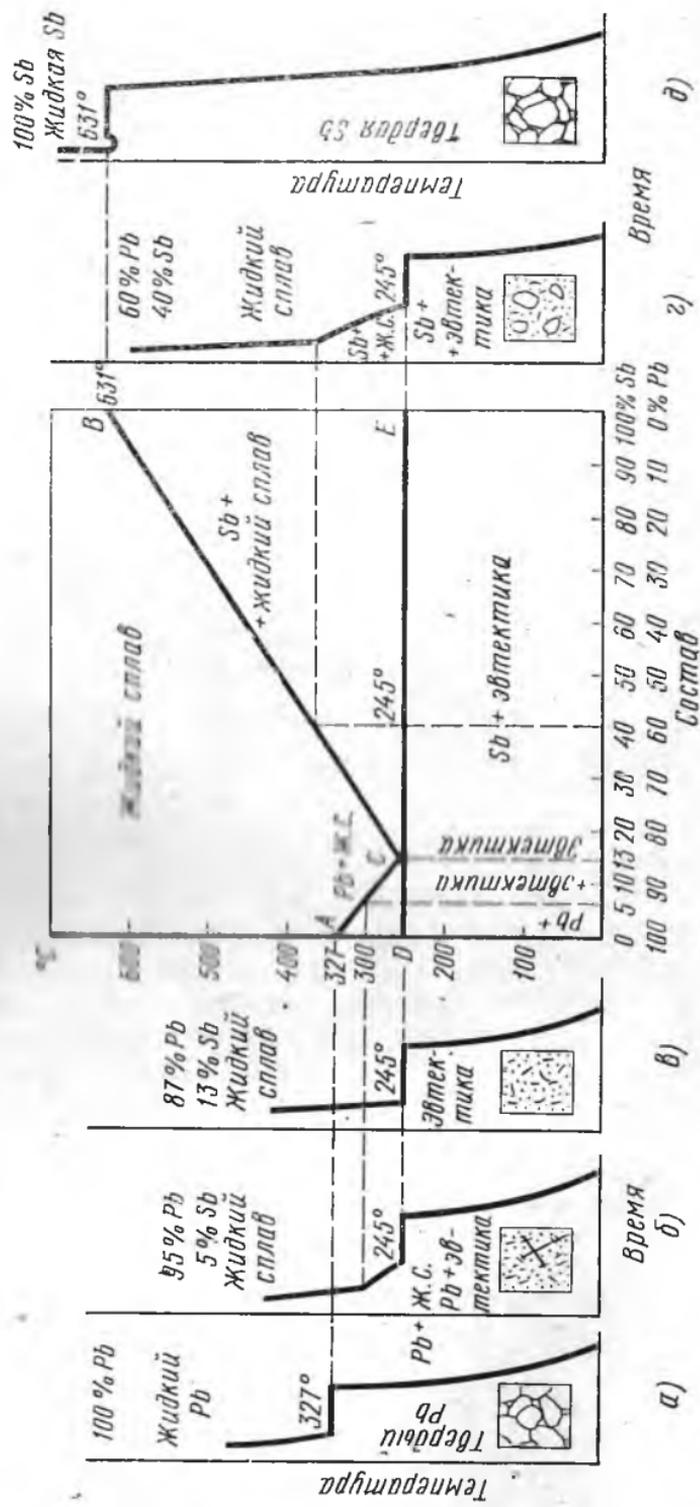


Рис. 5. Кривые охлаждения, структура и диаграмма состояния сплавов свинца с сурьмой

дом состоянии образуют механическую смесь кристаллов обоих металлов.

Для построения диаграммы состояния применяют термический метод. Тигель 3 (рис. 6) с металлом 4 помещают в печь 1, имеющую электронагреватель 2. В печи металл нагревают до температуры плавления.

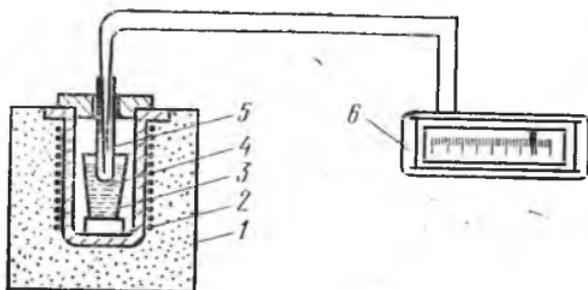


Рис. 6. Схема установки для термического анализа

Затем в жидкий металл устанавливают термопару 5, свободные концы которой присоединяют к гальванометру 6. Далее печь отключают и металл в тигле начинает остывать вместе с печью. Одновременно через равные промежутки времени снимают показания гальванометра.

Чтобы построить диаграмму состояния I рода, готовят сплавы с различной концентрацией компонентов и для каждого из сплавов строят кривую охлаждения (см. рис. 5). Затем по полученным на кривых перегибам или остановкам (горизонтальные площадки) определяют критические точки, т. е. температуры, при которых начинается или заканчивается процесс фазовых превращений.

Метод построения диаграммы состояния I рода состоит в следующем. По горизонтали откладывается процент содержания сурьмы. Нулевая точка обозначает чистый свинец, а цифра 100 соответствует чистой сурьме. Любая точка на этом отрезке характеризует состав сплава. Так, например, точка 5 соответствует сплаву, состоящему из 5% сурьмы и 95% свинца. Затем из крайних точек восстанавливают перпендикуляры, на которых откладывают критические температуры, отмеченные на кривых охлаждения.

В точках на оси содержания сурьмы, соответствующих 5, 13 и 40% сурьмы, также восстанавливают перпендикуляры. На крайних вертикальных прямых отмечают температуру плавления чистых металлов: на левой — температуру плавления свинца 327°C , на правой — сурьмы 631°C .

На промежуточных вертикальных прямых отмечают температуры начала и конца затвердевания соответствующих сплавов. Далее, соединив точки начала и конца затвердевания сплавов, получают диаграмму состояния системы свинец — сурьма (см. рис. 5). В таких сплавах различная концентрация компонентов вызывает изменения температуры начала кристаллизации (линия *ACB*), а температура конца затвердевания одинакова для всех сплавов данной системы и не зависит от их состава (линия *DCE*).

Линию *ACB*, соединяющую все точки начала кристаллизации, называют ликвидус. Все сплавы, лежащие выше этой линии, находятся в жидком состоянии. Линию конца затвердевания сплавов *DCE* называют линией солидус. Все сплавы, лежащие ниже линии солидуса, находятся в твердом состоянии. В промежутке между этими линиями сплав находится в твердо-жидком состоянии.

Сплав, содержащий 13% сурьмы и 87% свинца, до температуры 245°C остается жидким. При этой температуре кристаллизуется эвтектика, т. е. механическая смесь кристаллов сурьмы и свинца. Сплавы, содержащие менее 13% сурьмы, называют доэвтектическими, а сплавы, содержащие более 13% сурьмы, — заэвтектическими.

Эвтектика является самым характерным сплавом в системе механических смесей и имеет три особенности: постоянную температуру затвердевания, самую низкую температуру плавления (или затвердевания) и определенную концентрацию компонентов.

Диаграмма состояния II рода. Оба компонента *A* и *B* неограниченно растворимы друг в друге в твердом и жидком состояниях и образуют неограниченный ряд твердых растворов. Температура жидкого охлаждающегося чистого компонента *A* (медь) равномерно понижается до точки *I* (1083°C), при которой протекает кристаллизация (рис. 7, *a*, кривая *I*). После затвердевания компонента *A* температура снова понижается.

Подобным образом протекает процесс охлаждения и кристаллизации (рис. 7, а, кривая V) чистого компонента B (никель).

Кривая охлаждения сплава II, содержащего 25% B и 75% A, отличается от кривой охлаждения чистого металла. При охлаждении этого сплава температура равномерно понижается до точки 1', затем идет процесс кристаллизации и на кривой охлаждения отмечается перегиб, который связан с уменьшением скорости охлаждения. Это вызвано возникновением некоторого количества твердой фазы. Ниже точки из жидкого сплава кристаллизуется твердый раствор компонентов A и B, который принято обозначать буквой α . При достижении температуры в точке 2' сплав полностью затвердевает и ниже этой точки он существует только в виде твердого раствора. Аналогично затвердевают и другие сплавы этой системы.

Если найденные точки 1, 1', 1'', 1''', 2, 2', 2'', 2''' перенести на диаграмму и соединить плавными кривыми, то получится диаграмма состояния системы медь — никель, образующих непрерывный ряд твердых растворов (рис. 7, б). Из рисунка видно, что линия ликвидус (A, 1', 1'', 1''', B) и линия солидус (A, 2', 2'', 2''', B) образуют чечевицеобразную область. Структура затвердевшего сплава любой концентрации однородна и представляет собой зерна твердого раствора (α).

Диаграмму состояния II рода имеют сплавы медь — никель, железо — титан, хром — кобальт и др.

Диаграмма состояния III рода. Она отражает процесс кристаллизации и структуру сплавов из двух компонентов, которые неограниченно растворяются друг в друге в жидком состоянии, а в твердом — только при определенной концентрации. Такая диаграмма представляет собой сочетание диаграмм I и II рода. Диаграмму III рода имеют сплавы магний — кальций, железо — медь, цинк — магний и др.

Диаграмма IV рода. Оба компонента нерастворимы в твердом состоянии и образуют устойчивое химическое соединение. К таким сплавам относятся магний — висмут, магний — олово и др.

Диаграмма V рода. Оба компонента нерастворимы в твердом состоянии и образуют химическое соединение, неустойчивое при высоких температурах. Это сплавы магний — кальций, алюминий — медь и др.

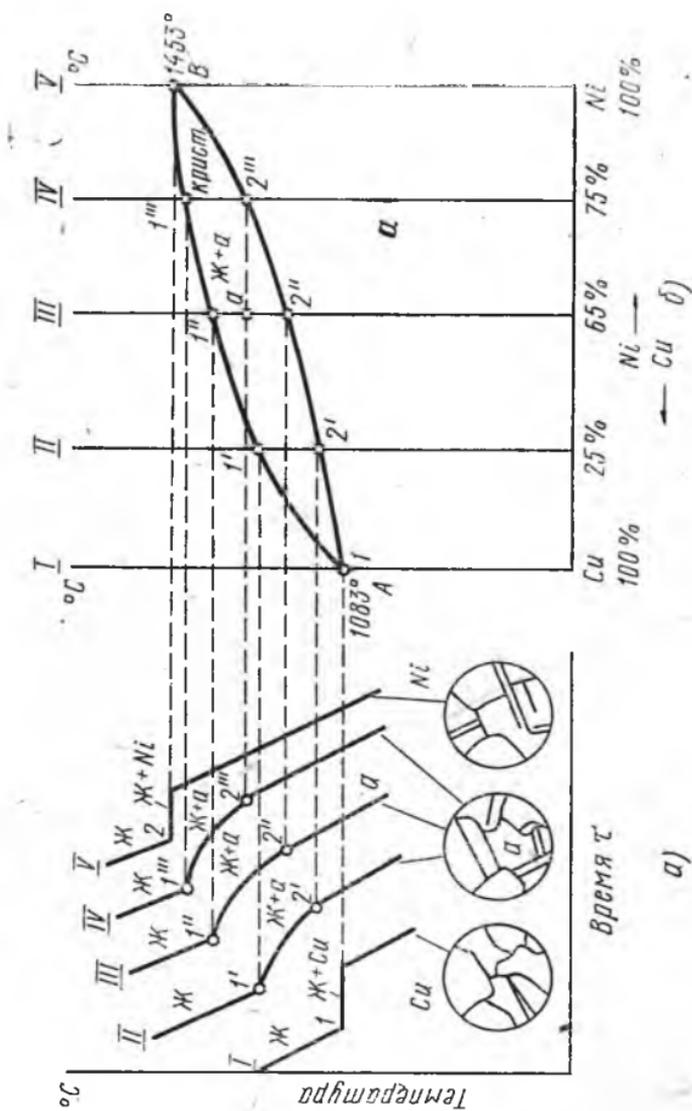


Рис. 7. Диаграмма состояния II рода:
 а — кривые охлаждения, б — диаграмма состояния сплава медь — никель

§ 5. Диаграмма состояния железо — углерод

Диаграмма состояния железо — углерод является научной основой производства всех видов тепловой обработки чугуна и сталей. Особенно велико ее значение для изучения, определения назначения и выполнения процессов термической обработки металлов. Она позволяет правильно понять процессы, происходящие в стали разного химического состава при ее охлаждении, и управлять этими процессами для получения определенных свойств.

По горизонтальной оси диаграммы (рис. 8) откладывается содержание углерода (в %) в сплаве, по вертикали — температура в градусах Цельсия. Каждая точка на диаграмме характеризует состав железоуглеродистого сплава при определенной температуре. Сплавы с содержанием углерода до 2,15% называют сталями, сплавы с содержанием углерода от 2,15 до 6,67% — чугунами. Точка *A* на диаграмме соответствует температуре плавления (или затвердевания) железа 1539°C, точка *D* — температуре плавления цементита 1550°C.

Структурные изменения в этих сплавах происходят не только при затвердевании, но и в твердом состоянии вследствие перехода железа из одной аллотропической формы в другую. Кривую *ABCD* — линию начала затвердевания сплавов — называют ликвидус, кривую *АНЕСС* — линию окончания затвердевания сплавов — солидус.

Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов. В зависимости от температуры и содержания углерода сплавы, лежащие ниже линии солидуса, могут состоять из следующих структурных составляющих: феррита, цементита, аустенита, перлита, ледебурита и графита.

Феррит представляет собой твердый раствор углерода в α -железе (рис. 9, *a*), при 727°C может содержать до 0,02% углерода, а при 20°C — 0,006%. Феррит обладает высокой пластичностью, низкой твердостью (НВ80—100) и незначительным пределом прочности $\sigma_B = 245$ МН/м². При температуре 910—769°C феррит парамагнитен, от 769°C до абсолютного нуля — ферромагнитен.

Цементит — это химическое соединение железа с углеродом, т. е. карбид железа Fe_3C , содержит 6,67%

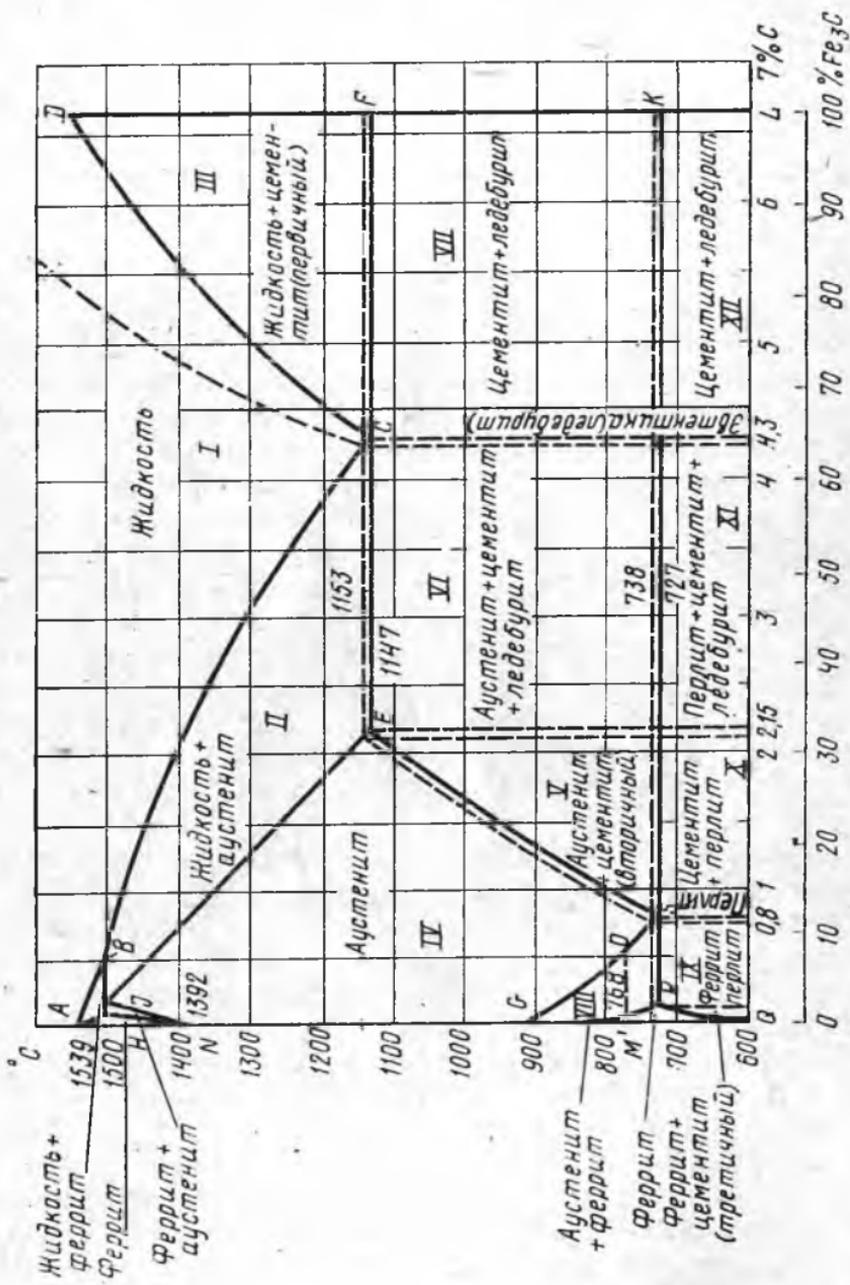


Рис. 8. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов

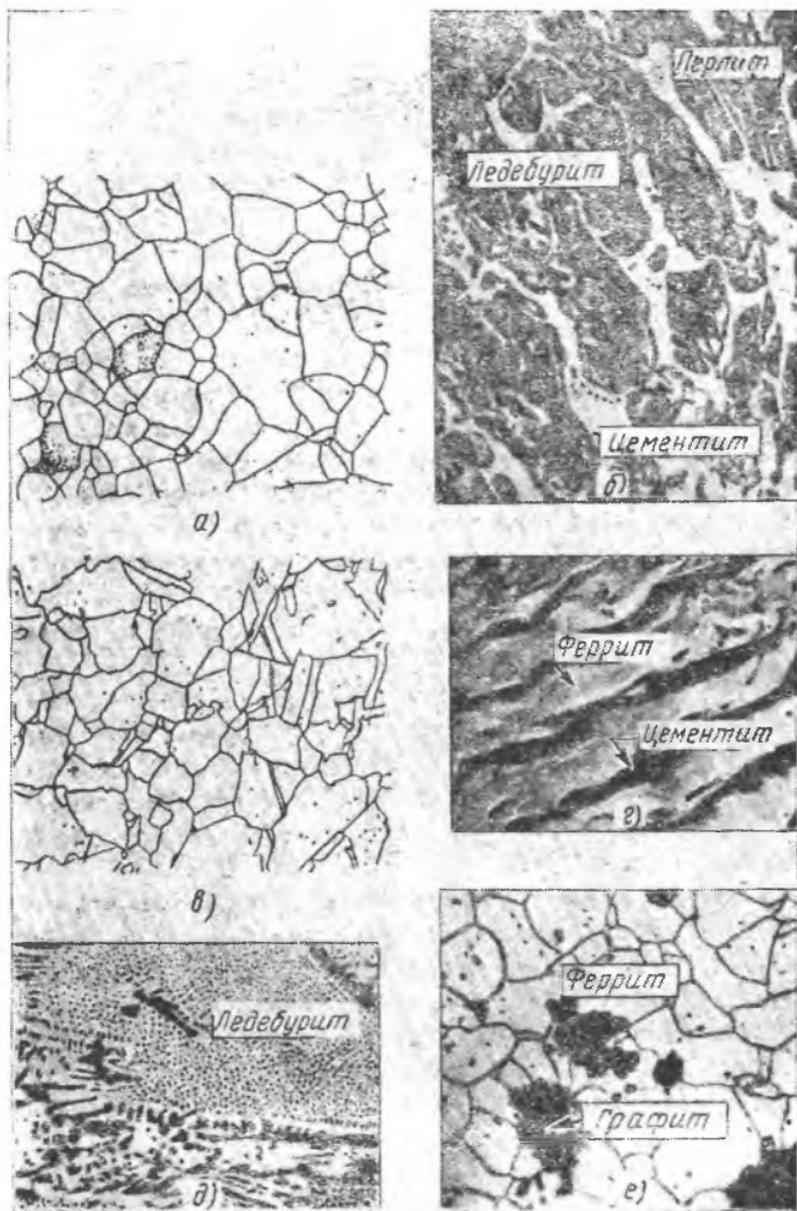


Рис. 9. Основные элементы микроструктуры стали и чугуна:
 а — феррит, б — цементит, в — аустенит, г — пластинчатый перлит,
 д — ледебурит, е — графит

углерода и при нагревании до 210°C сохраняет магнитные свойства. Цементит обладает высокой твердостью (HV760—800) и повышенной хрупкостью. В структуре стали (более 0,8% С) и чугуна он может находиться



в виде игл, отдельных включений и сетки по границам зерен (рис. 9, б).

Аустенит — твердый раствор углерода в γ -железе (рис. 9, в). Он немагнитен, отличается пониженной упругостью, значительной пластичностью и вязкостью. Твердость аустенита HB170—220.

Перлитом называют механическую смесь кристаллов феррита и цементита. Эта структура образуется в результате распада аустенита при медленном охлаждении. Чистый перлит содержит 0,8% углерода. В зависимости от формы образования цементита перлит бывает пластинчатым (рис. 9, г) и зернистым. Перлит с наиболее мелкими частицами цементита обладает высокими механическими свойствами. Твердость пластинчатого перлита HB200—250, зернистого — HB160—220.

Ледебурит представляет собой смесь аустенита и цементита, образующуюся ниже температуры 1147°C (для чистых железоуглеродистых сплавов). Структура ледебурита приведена на рис. 9, д. Твердость ледебурита достигает HB700.

Графит — это кристаллическая разновидность углерода (рис. 9, е). Графит имеет серо-черный цвет с металлическим блеском, жирный на ощупь. Встречается в структуре чугунов в свободном состоянии в виде пластинок, хлопьев, глобулей (включений шаровидной формы).

Интерпретация диаграммы железоуглеродистых сплавов. При охлаждении по линии *AB* (см. рис. 8) из жидкого расплава выделяется твердый раствор δ . На линии *HJB* при 1499°C происходит образование твердого раствора. Левее точки *J*, в области *HJN* образуется структура аустенита и твердого раствора δ , правее ее (область *II*) — аустенит и жидкий сплав. Затвердевание сплавов, содержащих до 2,15% углерода, заканчивается на линии *АНJE*. Ниже линии *NJE* (зона *IV*) сплавы представляют собой аустенит.

При охлаждении сплавов по линии *BC* в зоне *II* образуется смесь расплава с кристаллами аустенита. В сплавах, содержащих от 4,3 до 6,67% углерода, при охлаждении по линии *CD* из расплава выделяются кристаллы первичного цементита. Цементит, выделяющийся из жидкого расплава, называют **первичным**, а цементит, выделяющийся при охлаждении твердого сплава — **вторичным**. Затвердевание жидких сплавов кончат-

ся при температурах, лежащих на линии *АНЕСС* (солидус).

Линия *GS* представляет собой температуры начала выделения феррита из аустенита. Она показывает, что температура образования феррита понижается с 910°C (точка *G*) для чистого железа до 727°C (точка *S*) для сплава, содержащего 0,8% углерода. Феррит, который выделяется из аустенита при охлаждении, содержит не более 0,02% углерода. В зоне *VIII* сплав состоит из феррита и аустенита. На линии *PSK* аустенит переходит в перлит. В результате превращений сплавы, содержащие менее 0,8% углерода, имеют структуру феррита и перлита. Сплав с 0,8% углерода состоит из одного перлита, называемого эвтектоидом. Эвтектоид-перлит образуется в результате одновременного выпадения из аустенита частиц феррита и цементита. Сталь, содержащую 0,8% углерода, называют эвтектоидной, менее 0,8% углерода — доэвтектоидной, более 0,8% углерода — заэвтектоидной.

В зоне *V* находятся в равновесии две структурные составляющие — цементит и аустенит. Линия *SE* определяет предел растворимости углерода в аустените. При 1147°C (точка *E*) в аустените растворяется 2,15% углерода.

В точке *S* сплав, содержащий 4,3% углерода, при температуре 1147°C переходит в твердое кристаллическое состояние. Сплав такого состояния называют эвтектическим. Структура эвтектического сплава представляет собой ледебурит.

Таким образом, чугуны, содержащие 4,3% углерода, называют эвтектическими, менее 4,3% углерода — доэвтектическими и более 4,3% углерода — заэвтектическими.

В зоне *VI* сплав состоит из ледебурита, аустенита и вторичного цементита, в зоне *VII* — из первичного цементита и ледебурита.

В нижней части диаграммы, ниже линии *PSK*, структурных превращений при нагреве (охлаждении) не происходит.

В зоне *IX* сплав состоит из перлита и феррита, в зоне *X* — из перлита и цементита, в зоне *XI* — из перлита, вторичного цементита и ледебурита, в зоне *XII* — из ледебурита и первичного цементита. Все структурные составляющие, полученные в процессе превращений при

температурах линии PSK , сохраняются при комнатной температуре и их можно наблюдать под микроскопом в обычных условиях.

Описанные изменения структуры сплавов при охлаждении обратимы. Рассмотрим три наиболее характерные для «стального» участка диаграммы сплава: доэвтектоидный I , эвтектоидный II и заэвтектоидный III .

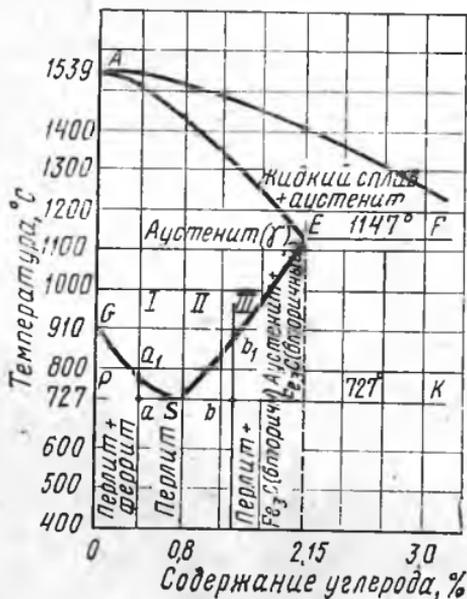


Рис. 10. Стальной участок диаграммы состояния системы железо — углерод

Буквы s и r указывают на то, что превращение происходит соответственно при нагреве или охлаждении стали, а единица — на точки, образующие линию PSK . При дальнейшем нагреве сплава I зерна феррита растворяются в аустените.

Растворение заканчивается в точке a_1 (линия GS), которую называют верхней критической точкой и обозначают при нагреве Ac_3 , при охлаждении Ar_3 .

Если нагревать эвтектоидный сплав II , то перлит в точке S (линия PSK) при 727°C превращается в аустенит. Критические точки Ac_1 и Ac_3 при этом совпадают.

Перлит сплава III при 727°C превращается в аустенит (точка b). Дальнейший нагрев сплава III вызывает растворение цементита в аустените и в точке b_1 , лежащей на линии SE , процесс растворения заканчивается. Эту точку обозначают Ac_{cm} .

Таким образом, на диаграмме железо — углерод

терные для «стального» участка диаграммы сплава: доэвтектоидный I , эвтектоидный II и заэвтектоидный III .

При медленном нагреве от комнатной температуры до 727°C в сплаве I фазовых изменений не происходит (рис. 10). При температуре 727°C перлит превращается в аустенит (точка a). Точку a на диаграмме называют нижней критической точкой и обозначают Ac_1 (при охлаждении — символом Ar_1).

Буквы s и r указывают на то, что превращение происходит соответственно при нагреве или охлаждении стали, а единица — на точки, образующие линию PSK . При дальнейшем нагреве сплава I зерна феррита растворяются в аустените.

Растворение заканчивается в точке a_1 (линия GS), которую называют верхней критической точкой и обозначают при нагреве Ac_3 , при охлаждении Ar_3 .

Если нагревать эвтектоидный сплав II , то перлит в точке S (линия PSK) при 727°C превращается в аустенит. Критические точки Ac_1 и Ac_3 при этом совпадают.

Перлит сплава III при 727°C превращается в аустенит (точка b). Дальнейший нагрев сплава III вызывает растворение цементита в аустените и в точке b_1 , лежащей на линии SE , процесс растворения заканчивается. Эту точку обозначают Ac_{cm} .

Таким образом, на диаграмме железо — углерод

критические точки, образующие линию PSK , обозначают Ac_1 (при нагреве) и Ar_1 (при охлаждении), точки по линии $GS—Ac_3$ и Ar_3 , по линии $SE—Ac_{cm}$ и Ar_{cm} . Знание критических точек значительно облегчает изучение процессов термической обработки сталей.

§ 6. Превращения в сплавах при тепловой обработке

Термической обработкой называют совокупность операций нагрева, выдержки и последующего охлаждения, в результате которых изменяются структура и свойства металлов и сплавов (прочность, твердость и др.). В основе теории термической обработки лежат фазовые и структурные превращения, которые протекают при нагреве и охлаждении металлов и сплавов.

Превращения в стали при нагреве (образование аустенита). Нагрев стали при термической обработке используют для получения аустенита. Структура доэвтектоидной стали при нагреве ее до критической точки Ac_1 состоит из зерен перлита и феррита. В точке Ac_1 происходит превращение перлита в мелкозернистый аустенит. При дальнейшем нагреве от точки Ac_1 до Ac_3 избыточный феррит растворяется в аустените и при достижении Ac_3 (линия GS) превращения заканчиваются. Выше точки Ac_3 структура стали состоит только из аустенита.

Таким же образом происходят превращения при нагреве заэвтектоидной стали, но с той лишь разницей, что выше температуры Ac_3 (Ac_{cm}) в аустените начинает растворяться избыточный цементит. Выше точки Ac_{cm} (линия SE) структура состоит только из аустенита. Вновь образовавшийся аустенит неоднороден даже в объеме одного зерна. В тех местах, где раньше были пластинки цементита, содержание углерода значительно больше, чем в тех местах, где находились пластинки феррита.

Для выравнивания химического состава и получения однородного аустенита сталь нагревают немного выше верхней критической точки Ac_3 и выдерживают некоторое время при этой температуре для завершения диффузионных процессов.

По окончании процесса превращения перлита в аустенит образуется большое количество мелких аустенит-

ных зерен. Размер этих зерен принято называть начальным зерном аустенита.

Дальнейший нагрев стали или увеличение выдержки приводит к росту аустенитного зерна. Размер зерна, полученный в стали в результате той или иной термической обработки, называют действительным зерном. Величина такого зерна зависит не только от термической обработки, но и от способа выплавки стали. Однако склонность к росту аустенитных зерен с повышением температуры нагрева различная. Стали, раскисленные в процессе плавки кремнием (ферросилицием) и марганцем (ферромарганцем), обладают большой склонностью к непрерывному росту зерен аустенита при повышении температуры их нагрева. Такие стали называют наследственно крупнозернистыми.

Стали, раскисляемые в процессе выплавки алюминием, титаном или ванадием, мало склонны к росту зерна аустенита при нагреве до 950—1000°C. Такие стали называют наследственно мелкозернистыми.

На практике величину зерна определяют по шкале зернистости. Зерна от № 1 до № 4 считают крупными (рис. 11), а с № 5 — мелкими.

Превращение в стали при охлаждении (распад аустенита). Аустенит является устойчивым только при температуре выше 727°C (точка A_{r1}). При охлаждении стали, предварительно нагретой до аустенитного состояния, ниже точки A_{r1} аустенит становится неустойчивым — начинается его превращение. Если эвтектоидную углеродистую сталь начать медленно охлаждать, то при температуре, соответствующей линии PSK , аустенит превратится в перлит, т. е. в механическую смесь феррита и цементита.

Изучение процесса превращения аустенита в перлит экспериментально проводится при постоянной температуре, т. е. в изотермических условиях и при непрерывном охлаждении.

Превращение аустенита при постоянной температуре обобщается и изображается наглядно в виде диаграммы изотермического превращения (рис. 12). Эта диаграмма строится на основе исследований при постоянных температурах (700, 650, 600, 550°C и т. д.). По горизонтальной оси диаграммы наносится время в логарифмической шкале: 1, 10, 100, 1000, 10 000 и 100 000 с. Это дает возможность проследить превращения, проте-

нающие за промежуток от долей секунды до суток и более. По вертикальной оси откладывается температура. Далее на диаграмме проводят жирные С-образные линии, отвечающие полученной экспериментальным путем критической точке A_1 (727°C) и температурам начала мартенситного превращения M_H (240°C) и его конца M_N (-50°C). Кривая I соответствует началу, а кривая II — окончанию распада аустенита.

Охлаждая стальной образец до 700°C и выдерживая его при этой температуре, видим, что в течение времени до точки *a* (пересечение горизонтали, соответствующей 700°C с кривой I) в аустените превращений не происходит. Этот период времени называют инкубационным. В точке *a* начинается распад аустенита, продолжающийся до точки *b* (пересечение горизонтали 700°C с кривой II), где происходит превращение

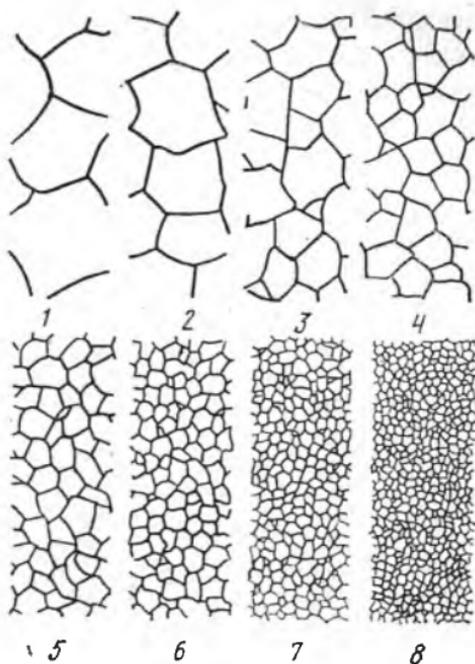


Рис. 11. Шкала стандартных размеров зерен

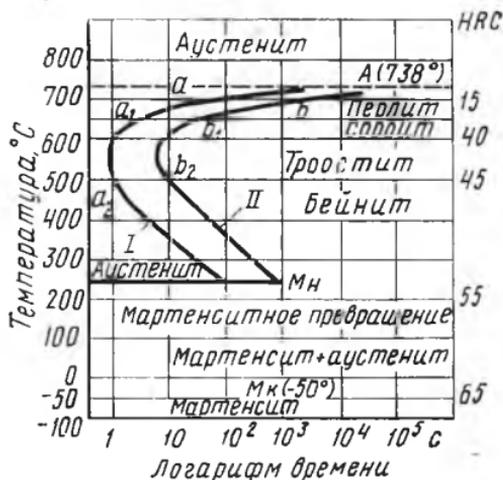


Рис. 12. Диаграмма изотермического превращения аустенита для стали, содержащей 0,8% углерода

аустенита в перлит. Охлаждая образец до 650°C , т. е. до точек начала a_1 и конца b_1 распада аустенита, можно заметить, что инкубационный период распада и период распада аустенита уменьшаются, в результате чего образуется структура сорбит.

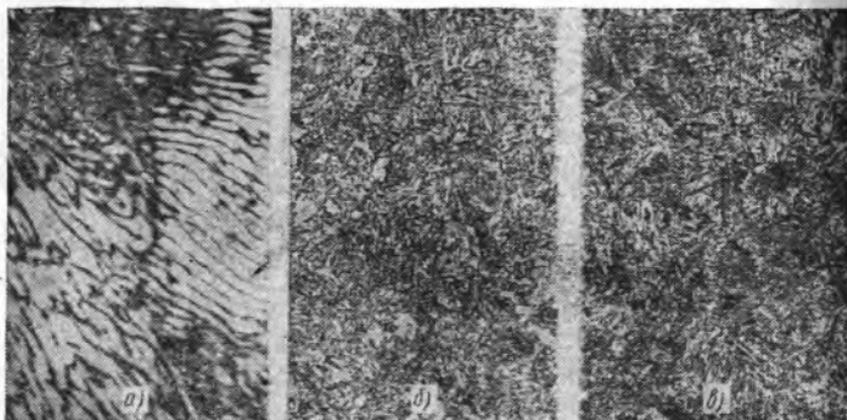


Рис. 13. Продукты распада аустенита:
а — перлит, б — сорбит, в — троостит

Перлитом (рис. 13, а) называют механическую смесь кристаллов феррита и цементита. Сорбитом (рис. 13, б) называют тонкую (дисперсную) механическую смесь феррита и цементита. Сталь, в которой преобладает структура сорбита, имеет твердость HRC 30—40 (твердость по Роквеллу, шкала С) и обладает высокой прочностью и пластичностью.

При охлаждении образца до 500°C до точек распада a_2 и b_2 аустенит превращается в троостит. Троостит (рис. 13, в) представляет собой смесь феррита и цементита. Отличается он от перлита и сорбита очень высокой степенью дисперсности составляющих. Сталь со структурой троостита обладает повышенной твердостью HRC 40—45, достаточной прочностью, умеренной вязкостью и пластичностью.

Ниже температуры 500°C происходит образование своеобразной структуры, называемой бейнитом и представляющей собой игольчатый троостит.

Таким образом, основным фактором, определяющим структуры и свойства аустенита, является температура превращения. Если на С-образную кривую нанести

лучи или термические линии охлаждения, то получим следующую схему (рис. 14). При медленном охлаждении образца луч v_1 пересечет кривые I и II в точках a_1 и b_1 . При этих температурах происходит превращение аустенита в перлит.

При большей скорости охлаждения прямая-луч v_2 пересечет кривые в точках a_2 и b_2 и переохлажденный аустенит полностью превратится в сорбит. При еще

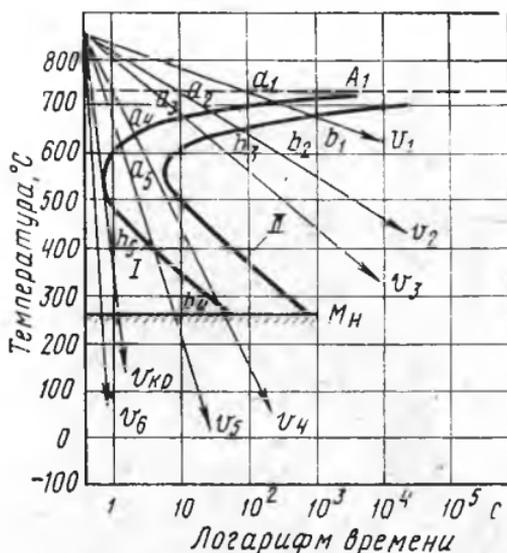


Рис. 14. Кривые охлаждения на диаграмме изотермического распада аустенита

больших скоростях охлаждения прямая-луч v_3 проходит через точки a_3 и b_3 и образуется новая структура— троостит.

Далее по мере ускорения процесса охлаждения лучи будут все круче (линии v_4 и v_5) и первое превращение аустенита в троостит не успеет закончиться. Оставшаяся часть переохлажденного аустенита (точки a_4 и a_5) начнет превращаться в троостит с мартенситом.

Наконец, при наибольших скоростях охлаждения, когда луч $v_{кр}$ касается кривой I (начала распада аустенита) и пересекает горизонталь M_H , в стали получается только мартенсит. Скорость охлаждения, при которой в закаливаемой стали из аустенита образуется только мартенсит, называют критической скоростью.

стью закалки. Чтобы закалить сталь, ее охлаждают со скоростью, не меньшей, чем критическая (например, v_6).

Мартенситное превращение. Мартенсит (рис. 15) является основной структурой закаленной стали. Он имеет высокую твердость, зависящую от содержания углерода в стали. Чем больше содержится углерода в мартенсите, тем выше твердость стали. Так, например, для стали с содержанием 0,4% С твердость мартенсита

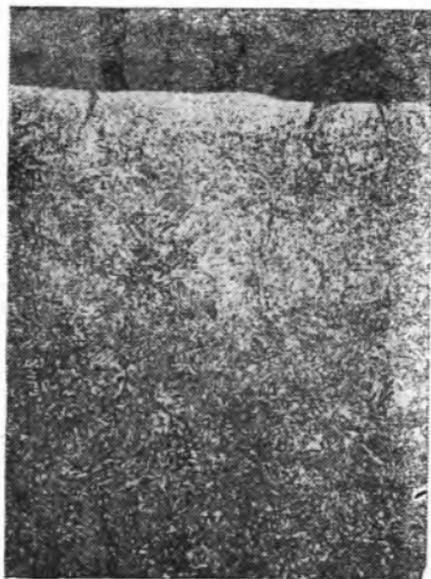


Рис. 15. Мартенсит

составляет HRC52—54, а для стали с содержанием углерода 1,0% твердость находится в пределах HRC62 — 64. Мартенсит имеет совершенно отличную от других структур природу. При резком переохлаждении углерод не успевает выделиться из твердого раствора (аустенита) в виде частичек цементита, как это происходит при образовании перлита, сорбита и троостита. В этом случае происходит перестройка решетки γ -железа в решетку α -железа. Атомы углерода остаются в решетке α -железа (мартенсите) и поэтому сильно ее искажают. Такую искаженную решетку называют тетрагональной, в которой отношение параметров не равно единице, как у куба. Степень искаженности (тетрагонально-

сти) зависит от содержания углерода в закаливаемой стали: чем больше углерода, тем больше искаженность. Следовательно, мартенсит представляет собой пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе.

Мартенсит имеет игольчатое строение. Образование его происходит не при постоянной температуре, а при ее понижении. После переохлаждения аустенита до достаточно низких температур начинается процесс его превращения в мартенсит. В момент достижения этой температуры образуется первый кристалл мартенсита. Далее с очень большой скоростью возникает пластинка мартенсита, которая простирается через все зерно аустенита. В плоскости микрошлифа пластинка имеет вид иглы, поэтому в практике принят термин не пластинка, а игла мартенсита.

При дальнейшем охлаждении после образования первых крупных игл появляются мелкие иглы, расположенные параллельно первым. По мере образования новых игл мартенсита количество аустенита уменьшается, а так как мартенсит имеет больший объем, чем аустенит, то оставшийся аустенит все больше подвергается сжатию.

Превращение аустенита в мартенсит всегда сопровождается увеличением объема. Аустенит, который существует в сплаве при комнатной температуре наряду с мартенситом, называют остаточным аустенитом.

Закаленные высоколегированные стали содержат остаточный аустенит в больших количествах, а низкоуглеродистые стали почти его не содержат.

Превращение мартенсита при нагреве (отпуск стали). Закаленная сталь, находясь в напряженном и неустойчивом состоянии, стремится к своему стабильному состоянию, т. е. к превращению мартенсита и остаточного аустенита в феррито-перлитную смесь. Такое превращение характерно для нагрева закаленной стали при 600—700°C (высокий отпуск).

При низком отпуске в области температур 150—200°C образуется мартенсит отпуска. Повышение температуры до 250—300°C сопровождается распадом мартенсита отпуска в феррито-карбидную смесь. При этом искажения в кристаллической решетке мартенсита уменьшаются, что и приводит к снятию внутренних напряжений в стали.

Окончание распада мартенсита и образование очень мелкой феррито-карбидной смеси при температуре выше 300°C сопровождается коагуляцией (укрупнением) мелких карбидных пластинок и превращением их в округлые.

Структурные процессы в закаленной стали при нагреве зависят в основном от температуры нагрева и продолжительности выдержки при этой температуре.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение аллотропии.
2. Что такое механическая смесь, химические соединения и твердый раствор?
3. Расскажите о макро- и микроструктуре металлов.
4. Перечислите диаграммы состояний двухкомпонентных систем.
5. Какие превращения происходят в железоуглеродистых сплавах при тепловой обработке?

ГЛАВА II. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

§ 1. Отжиг и нормализация

Отжиг. При отжиге металл нагревают до определенной температуры, затем выдерживают при этой температуре и медленно охлаждают вместе с печью. Отжиг применяют для снятия внутренних напряжений, измельчения размеров зерен, а также для улучшения обрабатываемости металла режущим инструментом.

В зависимости от температуры нагрева и назначения различают следующие виды отжига: полный, неполный, изотермический, диффузионный, рекристаллизационный, отжиг на зернистый перлит и др.

Полный отжиг применяют в основном после горячей обработки поковок и отливок для измельчения зерна, снятия внутренних напряжений и смягчения металла. Это достигается нагревом стали на $30\text{--}50^{\circ}\text{C}$ выше верхней критической точки A_{c3} и медленным охлаждением.

Температуру нагрева деталей, изготовленных из углеродистых сталей, определяют по диаграмме состояния (рис. 16), а для легированных сталей — по положению их критической точки A_{c3} , имеющейся в справочных таблицах.

Время выдержки при отжиге складывается из времени, необходимого для полного прогрева всех деталей, и времени, нужного для окончания структурных превращений.

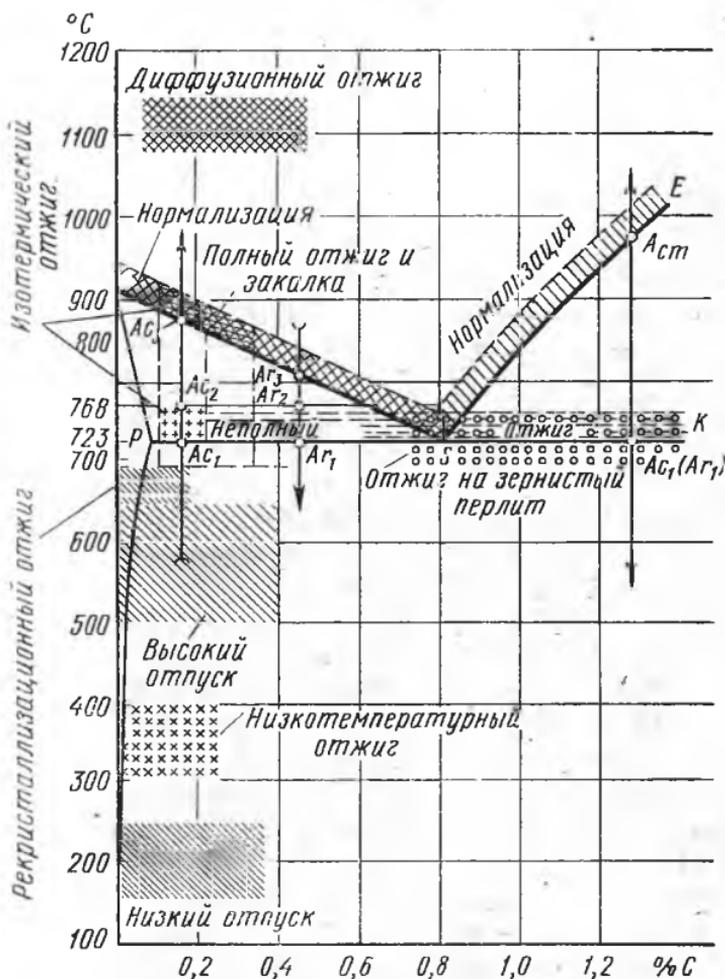


Рис. 16. Оптимальные интервалы нагрева углеродистой стали для отжига, нормализации, закалки и отпуска

При неполном отжиге детали нагревают до температуры, немного превышающей точку A_{c1} . При этом внутренние напряжения снимаются полностью и сталь получает пониженную твердость и хорошо обрабатывается режущим инструментом.

Изотермический отжиг в отличие от полного отжига заключается в том, что сталь нагревают до тем-

пературы на 30—50°C выше точки A_{c3} (конструкционные стали) и выше точки A_{c1} на 50—100°C (инструментальные стали). После выдержки сталь охлаждают расплавленной соли до температуры несколько ниже точки A_{r1} (680—700°C). При этой температуре сталь подвергают изотермической выдержке до полного превращения аустенита, а затем охлаждают на спокойной воздухе. Изотермический отжиг сокращает продолжительность термической обработки легированных сталей в 2—3 раза по сравнению с полным отжигом.

Д и ф ф у з и о н н ы й отжиг (гомогенизация) применяют для уменьшения химической неоднородности, получаемой при затвердевании стальных слитков. Для обеспечения хороших условий диффузии атомов отжижки стали проводят при высокой температуре (1100—1200°C) с выдержкой от 10 до 15 ч с последующим медленным охлаждением. Такому отжигу подвергают слитки из хромоникелевых, марганцовистых и других высококачественных сталей.

Р е к р и с т а л л и з а ц и о н н ы й (разупрочняющий) отжиг используют для снятия наклепа или нагартовки, образующихся при деформации металла в холодном состоянии. Вследствие наклепа искажается кристаллическая решетка, зерна металла деформируются и вытягиваются. Наклепанный металл более жесткий, твердый, его пластичность резко падает.

Отжиг производят при температуре 650—680°C, в результате чего вместо вытянутых зерен образуются новые, равноосные зерна и металл приобретает вязкость и пластичность.

Отжиг на зернистый перлит (сфероидизацию) применяют для сталей, содержащих более 0,65% С, для получения зернистого перлита. Сталь (например, широкоподшипниковая ШХ15) со структурой зернистого перлита хорошо обрабатывается режущим инструментом. Отжиг на зернистый перлит производят по режиму: нагрев стали немного выше точки A_{c1} с последующим охлаждением сначала до 700°C, затем до 550—600°C и далее на воздухе.

С в е т л ы й отжиг осуществляют по режимам полного отжига, но с применением контролируемых атмосфер, защищающих поверхность стальных деталей от окисления и образования окалина, или в нагревателе

ных печах с частичным вакуумом 10^{-1} — 10^{-2} мм рт. ст. (133—1,33 Па). В результате светлого отжига поверхность деталей получается чистой светло-серого цвета. Такой вид отжига применяют для обработки холоднокатаной ленты, прутков проволоки и деталей, подвергаемых гальваническим покрытиям.

Нормализация. Термическую операцию, при которой сталь нагревают до температуры 30 — 50°C выше верхних критических точек A_{c3} и A_{cm} , затем выдерживают при этой температуре и охлаждают на спокойном воздухе, называют нормализацией. При нормализации снимаются внутренние напряжения, происходит перекристаллизация стали, измельчающая крупнозернистую структуру отливок или поковок.

Нормализация стали по сравнению с отжигом является более коротким процессом термической обработки, и следовательно, и более производительным. Поэтому все углеродистые стали подвергают, как правило, не отжигу, а нормализации.

Дефекты, образующиеся при отжиге и нормализации. В процессе отжига и нормализации могут возникнуть следующие дефекты: окисление, обезуглероживание, перегрев и пережог металла.

При нагреве в пламенных или электрических печах поверхность стальных деталей взаимодействует с печными газами. В результате металл окисляется и на деталях образуется окалина — химическое соединение металла с кислородом. С повышением температуры и увеличением времени выдержки окисление резко возрастает. Образование окислы не только вызывает угар (потерю) металла, но и искажает геометрическую форму деталей. Поверхность стали под окалиной получается разъеденной и неровной, что затрудняет обработку металла режущим инструментом. Окалину с поверхности деталей удаляют травлением в серной кислоте или очисткой в дробеструйных установках.

Обезуглероживание, т. е. выгорание углерода с поверхности деталей, происходит при окислении стали. Обезуглероживание резко снижает прочностные свойства конструкционной стали. Кроме того, обезуглероживание поверхности может вызвать образование закалочных трещин и коробление. Особенно значительное обезуглероживание наблюдается при нагреве металла в электрических печах.

Для предохранения деталей от окисления, а следовательно, и от обезуглероживания при отжиге, нормализации и закалке применяют безокислительные (защитные) атмосферы.

При нагреве стали выше определенных температур в ней происходит быстрый рост зерен, ведущий к возникновению крупнокристаллической структуры. Это явление называют перегревом. Перегрев ведет к понижению пластических свойств стали. В перегретой стали при закалке образуются трещины. Перегрев металла может быть исправлен последующей термической обработкой — отжигом или нормализацией.

Пережог получается в результате длительного пребывания металла в печи при высокой температуре, близкой к температуре плавления. Физическая сущность пережога состоит в том, что кислород из окружающей атмосферы при высоком нагреве проникает в глубь нагреваемого металла и окисляет границы зерен. В результате окисления границ зерен механическая связь между зернами ослабевает, металл теряет пластичность и становится хрупким. Пережог является неисправимым браком.

§ 2. Закалка стали

Закалкой называют операцию термической обработки, при которой сталь нагревают до определенной температуры, несколько выше критической, выдерживают при этой температуре и затем быстро охлаждают в воде или масле.

Основное назначение закалки — получение стали с высокой твердостью, прочностью и другими свойствами, повышающими эксплуатационную надежность и долговечность деталей машин и оборудования. Качество закалки зависит от температуры и скорости нагрева, времени выдержки и охлаждения.

Температуру нагрева под закалку определяют по положению критических точек A_{c1} и A_{c3} . Доэвтектоидные углеродистые стали при закалке нагревают на 30—50°C выше верхней критической точки A_{c3} , а заэвтектоидные — на 30—50°C выше точки A_{c1} .

Быстрорежущие и другие высоколегированные стали закалывают при более высоких температурах нагрева, чем углеродистые.

Скорость нагрева и время выдержки зависят от химического состава стали, размеров, массы и конфигурации закаливаемых деталей, типа нагревательных печей и нагревательной среды. Чем больше размеры и сложнее конфигурация закаливаемых деталей, тем медленнее происходит нагрев. Детали из высокоуглеродистых и легированных сталей, имеющих пониженную теплопроводность, нагревают медленно и с более длительной выдержкой при нагреве по сравнению с деталями из низкоуглеродистых сталей. Это делается для того, чтобы уменьшить деформации деталей при нагреве.

Скорость нагрева и продолжительность выдержки определяют по технологическим картам, в которых указывают температуру, время нагрева для каждого вида деталей или инструмента.

Закалочные среды. Для охлаждения деталей при закалке в качестве закалочных сред применяют воду, водные растворы солей, минеральные масла и расплавленные соли и щелочи.

При выборе закалочной среды учитывают химический состав подлежащей закалке стали. Так, например, легированные стали охлаждают в минеральном веретенном масле, а углеродистые стали — в воде или в 10%-ном водном растворе поваренной соли. Следует отметить, что единой — универсальной среды пока нет.

Способы закалки. Основными способами закалки стали являются: в одном охладителе, в двух средах, ступенчатая, изотермическая, с подстуживанием и с самоотпуском.

Закалка в одном охладителе — наиболее простой и распространенный способ (рис. 17, кривая а). Деталь или инструмент, нагретые до температуры закалки, погружают в закалочную жидкость, где она находится до полного охлаждения.

Этот способ используют при ручной и механизированной закалке, когда детали автоматически поступают из закалочного агрегата в закалочную жидкость, в воду или масло.

При закалке в двух средах, или прерывистой закалке (рис. 17, кривая б), деталь, нагретую до заданной температуры, сначала погружают в быстро охлаждающую среду — воду, а затем переносят деталь в медленно охлаждающую среду — масло. Такую за-

калку применяют для обработки инструмента, изготовленного из высокоуглеродистой стали.

Ступенчатая закалка (рис. 17, в) заключается в том, что нагретые детали сначала охлаждают до температуры несколько выше точки M_n в горячем масле или расплавленной соли, а затем после короткой выдержки охлаждают на воздухе. На второй стадии

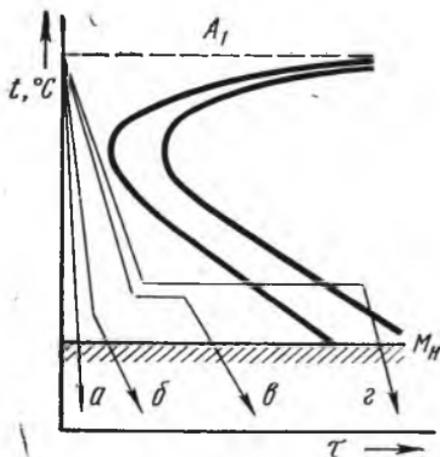


Рис. 17. Схема различных способов закалки:

a — закалка в одном охладителе, b — закалка в двух охладителях, $в$ — ступенчатая закалка, $г$ — изотермическая закалка

охлаждения сталь закаливается. При таком виде закалки уменьшаются объемные изменения, коробление и предотвращается образование трещин.

Изотермическая закалка (рис. 17, г) выполняется так же, как и ступенчатая, но выдержка в закалочной среде более продолжительная. При такой выдержке происходит изотермический распад аустенита с образованием бейнита. В качестве охлаждающей среды используют расплавленные соли или щелочи (20% NaOH и 80%

KOH) с добавками 5—10% воды для увеличения скорости охлаждения. Изотермической закалке подвергают детали и инструмент из легированных сталей марок 6ХС, 9ХС, ХВГ и др.

Закалку с подстуживанием применяют для уменьшения разницы в температурах металла и закалочной среды, если деталь нагрета до температуры, значительно превышающей температуру закалки данной стали. Нагретую деталь перед погружением в закалочную среду выдерживают (подстуживают) на спокойном воздухе. Этот способ закалки обеспечивает уменьшение внутренних напряжений и предотвращает коробление деталей, особенно деталей, подвергнутых цементации (науглероживанию).

Закалка с самоотпуском состоит в том, что нагретую деталь рабочей частью погружают в охлаждающую среду и выдерживают в ней не до полного

охлаждения. За счет тепла нерабочей части детали, которая не погружалась в закалочную жидкость, рабочей частью детали или инструмента нагревается. Температуру отпуска при этом способе закалки определяют по цветам побежалости, возникающим на поверхности детали при температурах 220—300°C.

Закалку с самоотпуском применяют для обработки зубил, кернов, бородков и других ударных инструментов, у которых твердость должна плавно понижаться от рабочей части к нерабочей.

При светлой закалке детали нагревают в нейтральной атмосфере, в вакууме или в расплавленных нейтральных солях. Нагрев осуществляется в нагревательных печах с применением контролируемой защитной атмосферы, позволяющей регулировать взаимодействие печных газов со сталью, в вакуумных закалочных печах и в ваннах с расплавленными солями с последующим охлаждением в расплавленных едких щелочах. В результате выполнения любого из этих процессов можно получать детали с чистой светло-серого цвета поверхностью.

Понятие о закаливании и прокаливаемости.

Под закаливанием понимают способность данной детали приобретать требуемую твердость. Закаливаемость зависит в основном от содержания углерода в стали. Чем больше углерода в стали, тем выше ее твердость после закалки.

Прокаливаемостью называют способность стали закаливаться на определенную глубину, которая зависит от химического состава стали, величины зерна, метода выплавки и других факторов. Способность стали прокаливаться является важным критерием, определяющим ее свойства и применение. Для определения прокаливаемости применяют метод торцевой закалки.

Способы изоляции участков, не подлежащих закалке.

В практике производства закалке подвергают детали и инструмент различных размеров и конфигураций, имеющие гладкие поверхности, резкие переходы, тонкие стенки, отверстия с тонкими перемычками и т. п. Такая конструкция деталей часто является причиной образования трещин и деформаций при закалке. Чтобы предотвратить образование этих дефектов, все участки (части) деталей и инструмента, на которых могут возникнуть дефекты, подвергают изоляции. Участки изолируют

асбестовым шнуром, огнеупорной глиной и другими жаропрочными и теплоизоляционными материалами.

Дефекты при закалке. В процессе нагрева под закалку и при закалке могут появляться следующие дефекты: трещины, деформация и коробление, обезуглероживание, мягкие пятна и низкая твердость.

Закалочные трещины — это неисправимый брак, образующийся в процессе термической обработки. В ковочных штампах крупных размеров закалочные трещины могут появляться даже при закалке в масле. Поэтому штампы целесообразно охлаждать до 150—200 С с быстрым последующим отпуском.

Трещины возникают при неправильном нагреве (перегреве) и большой скорости охлаждения в деталях, конструкция которых имеет резкие переходы поверхностей, грубые риски, оставшиеся после механической обработки, острые углы, тонкие стенки и т. д.

Закалочные трещины, обычно расположенные в углах деталей или инструмента, имеют дугообразный или извилистый вид. В процессе поверхностной закалки деталей, нагретых т. в. ч. или газовым пламенем, при охлаждении деталей очень холодной водой или при перегреве металла на поверхности деталей образуются закалочные трещины в виде мелкой сетки.

Деформация и коробление деталей происходит в результате неравномерных структурных и связанных с ними объемных превращений, обуславливающих возникновение внутренних напряжений в металле.

Во многих случаях коробление деталей может происходить и без значительных объемных изменений в результате неравномерного нагрева и охлаждения. Если, например, деталь небольшого сечения и большой длины нагревать только с одной стороны, то она изгибается. При этом нагреваемая сторона детали удлиняется и становится выпуклой, а ее противоположная сторона — вогнутой. Нагревать и охлаждать детали при закалке следует равномерно.

При погружении деталей и инструмента в закалочную среду надо учитывать их форму и размеры (рис. 18). Детали, имеющие толстые и тонкие части, погружают в закалочную среду сначала толстой частью, длинные детали (штоки, протяжки, сверла, метчики и т. д.) опускают в строго вертикальном положении, а тонкие

плоские (диски, отрезные фрезы, пластинки и др.) — ребром.

Обезуглероживание происходит в основном при нагреве деталей в электрических печах и жидких средах (соляных ваннах).

Мягкие пятна — это участки на поверхности детали или инструмента с пониженной твердостью. При охлаждении их в воде вокруг закаливаемой поверхности образуется паровая рубашка, обладающая плохой теплопроводностью, в результате чего на поверхности появляются мягкие пятна.

Низкая твердость чаще всего наблюдается при закалке инструмента. Причинами низкой твердости являются недостаточно быстрое охлаждение в закалочной среде, малая температура закалки, а также недостаточная выдержка при нагреве под закалку.

Перегрев деталей под закалку увеличивает зернистость металла и, следовательно, ухудшает его механические свойства. Металл приобретает повышенную хрупкость.

Недогрев получается в том случае, если температура закалки была ниже критической точки A_{c3} (для доэвтектоидных сталей) и A_{c1} (заэвтектоидных сталей).

§ 3. Отпуск, старение и обработка холодом

Отпуск. В зависимости от требуемых свойств стали различают три вида отпуска: низкий, средний, высокий.

Низкий отпуск проводят при температуре 150—200°C. Этот вид отпуска уменьшает внутренние напря-

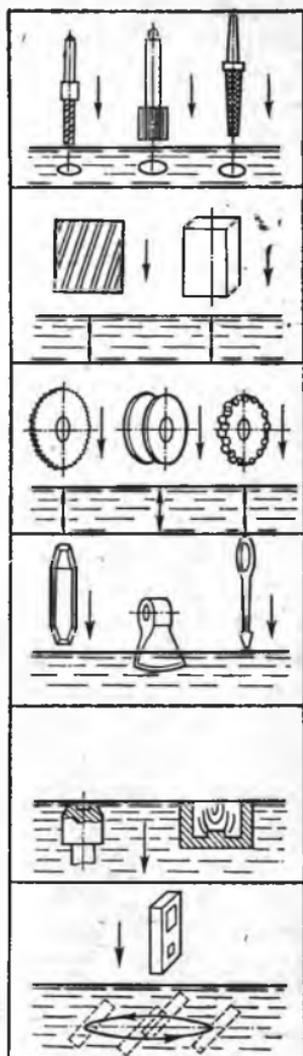


Рис. 18. Способы погружения деталей и инструмента в закалочный бак при закалке

жения при сохранении высокой твердости закаленных деталей. Продолжительность отпуска в электропечи составляет 90 мин. Этот вид отпуска применяют для обработки режущего и измерительного инструмента и цементованных деталей.

Средний отпуск осуществляют при температуре 350—450°C. Его в основном применяют для обработки среднеуглеродистой, рессорной и пружинной сталей для придания им повышенной упругости, твердости порядка HRC37—42 и повышения сопротивляемости действию переменных и ударных нагрузок.

Высокий отпуск проводят при температуре 500—650°C, в результате чего образуется структура сорбита, который обладает высокой прочностью и вязкостью. Закалку стали с последующим высоким отпуском называют улучшением. Конструкционные стали 35, 45, 40X в результате улучшения получают высокие механические свойства.

Отпуск закаленных деталей проводят непосредственно после закалки, так как возникшие в них внутренние напряжения вызывают образование трещин.

Недогрев, ведущий к недоотпуску, получается при заниженных температурах отпуска или времени выдержки. Недоотпущенная сталь сохраняет хрупкость. Устраняют этот дефект дополнительным отпуском.

Старение. Сущность процесса старения состоит в том, что закаленные и отпущенные детали после предварительной шлифовки нагревают до 120—150°C и выдерживают при этой температуре в течение 18—35 ч. При старении закаленных деталей и инструмента стабилизируются размеры, а твердость и структура стали практически не изменяются.

При естественном старении детали и инструмент выдерживают при комнатной температуре три и более месяцев, так как процесс, вызывающий изменение размеров детали, протекает значительно медленнее, чем при искусственном старении. Старение осуществляют в масляных ваннах, с автоматическим регулированием температуры.

Обработка холодом. Высокоуглеродистые и легированные стали после их закалки при комнатной температуре всегда содержат от 3 до 12% остаточного аустенита, а быстрорежущие стали — до 35% и более. Уменьшить количество остаточного аустенита в закален-

ной стали без понижения ее твердости можно только охлаждением до минусовых температур, т. е. обработкой холодом.

Сущность обработки холодом состоит в том, что закаленные, но неотпущенные, детали охлаждают до температур от 261 К (-12°C) до 153 К (-120°C) с последующей выдержкой их от 20 до 35 мин при этих температурах. Под действием таких температур остаточный аустенит распадается и образуется вторичный мартенсит, при этом твердость деталей повышается.

Для обработки холодом деталей и инструмента применяют специальные холодильные ванны, камеры и установки.

При обработке холодом могут возникнуть микротрещины, поэтому эту операцию следует осуществлять немедленно после закалки. Режим термообработки с применением холода следующий: закалка — глубокое охлаждение — отпуск.

§ 4. Термическая обработка легированных сталей

Хром, никель, вольфрам, титан и другие легирующие элементы оказывают влияние на скорость диффузионных процессов, протекающих в сталях при нагреве и охлаждении. Поэтому режимы термической обработки легированных сталей отличаются от режимов обработки углеродистых сталей. Эти различия заключаются в выборе температуры и скорости нагрева, времени выдержки при этих температурах и в способе охлаждения. Объясняется это тем, что теплопроводность легированной стали значительно меньше углеродистой.

Все легирующие элементы принято разделять на две группы: элементы, повышающие (хром, вольфрам, ванадий, титан и др.) и понижающие (никель, марганец и др.) критические точки. Стали, содержащие вольфрам, ванадий, титан, хром и другие элементы, при нагреве под закалку практически не склонны к перегреву и к росту зерен аустенита, поэтому основные операции термической обработки: отжиг, нормализацию и закалку таких сталей осуществляют при более повышенных температурах, чем углеродистых.

Закалку легированных сталей производят только в масле. Характерной особенностью этих сталей является большая глубина прокаливаемости.

Быстрорежущую сталь P18 закаливают при высокой температуре 1260—1300 °С, для нержавеющей сталей 4X13 температура закалки 1050—1100 °С. Нагрев быстрорежущей и нержавеющей сталей под закалку производят в соляных ваннах ступенчато: сначала ведут нагрев при температуре 550—650 °С, затем инструмент (или деталь) переносят во вторую ванну, имеющую температуру 820—850 °С, и окончательный нагрев до закалочной температуры производят в третьей ванне.

После закалки в структуре быстрорежущей стали P18 содержится до 30—50% аустенита, твердость такой стали составляет HRC58—60. Для полного превращения остаточного аустенита в мартенсит и повышения твердости производят трехкратный отпуск при температуре 560—580°С с выдержкой при каждом нагреве до 90 мин. Полученная структура закаленной и отпущенной стали P18 состоит из мартенсита, первичных карбидов и небольшого количества остаточного аустенита. Твердость быстрорежущей стали P18 составляет HRC63—65.

§ 5. Термическая обработка чугуна

Отжиг. Для снятия внутренних напряжений и обеспечения постоянства размеров и формы отливок применяют стабилизирующий отжиг. В зависимости от марки чугуна, из которого изготовлена отливка, такой отжиг производят по следующим режимам. Отливки из серого чугуна СЧ 18—36 нагревают до температуры 500—700°С со скоростью 70—100 град/ч, выдерживают при этой температуре определенное время (100—120 мин на каждые 25 мм толщины стенки отливок) и медленно охлаждают вместе с печью до 200—220°С со скоростью 30—60 град/ч. Отливки из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом ВЧ 60—2 отжигают при температуре 550—650°С. В результате такого отжига структурных превращений в чугуне не происходит, твердость его практически не снижается, но внутренние напряжения снимаются полностью.

Для уменьшения твердости, повышения пластичности и улучшения обрабатываемости чугунных отливок режущим инструментом применяют смягчающий отжиг. Его проводят при температуре 680—720°С и выдержке 30—120 мин. При отпуске происходит распад

эвтектоидного графита и образование ферритной структуры.

Графитизирующий отжиг проводят при температуре 850—1050°C и медленном охлаждении вместе с печью. В результате такого отжига происходит распад свободного и частично эвтектоидного цементита. Этот отжиг применяют для снижения твердости и улучшения обрабатываемости отливок режущим инструментом.

Нормализация чугуна. Ее применяют для повышения твердости, прочности, износостойкости отливок. Отливки из серого чугуна нагревают до 900—1000°C, выдерживают при этой температуре 90—120 мин для насыщения аустенита углеродом и охлаждают на спокойном воздухе. В результате вместо исходной ферритной или ферритно-перлитной структуры образуется структура перлита или сорбитообразного перлита.

Закалка и отпуск. Операции закалки и отпуска чугуна применяют для повышения твердости, увеличения прочности и износостойкости чугунных отливок. Применяют два вида закалки: объемную и поверхностную.

Объемную закалку отливок из серого чугуна производят при температуре 850—900°C с последующим охлаждением в воде или масле. Время выдержки составляет от 30 до 180 ч. После отпуска при 200—500°C максимальная твердость серого чугуна составляет HRC55—60.

Поверхностную закалку применяют для упрочнения направляющих станин металлорежущих станков и другого оборудования. Нагрев под закалку производят газовым пламенем или токами высокой частоты.

На Московском станкостроительном заводе «Красный пролетарий» направляющие станин токарно-винторезных станков, изготовленных из серого чугуна СЧ 21—48, закачивают на специальной установке. Два индуктора, имеющие профиль направляющей станины, закреплены неподвижно. Станина движется со скоростью 120 мм/мин. Охлаждают станины водой из спрейера (душа), расположенного за индукторами. Глубина закаленного слоя 2,5—3,5 мм. Твердость серого чугуна после закалки и низкого отпуска при 180°C составляет HRC52—54.

На Волжском автозаводе закалку коленчатых валов выполняют следующим образом. Вал по транспортеру

подается в закалочное устройство. На первой позиции производится нагрев и закалка четырех шатунных шеек при вращении вала со скоростью 30,8 об/мин. На второй позиции осуществляется нагрев и закалка пяти коренных шеек при вращении вала со скоростью 108 об/мин. В процессе закалки четыре подковообразных индуктора перемещаются по направлению вращения шатунных шеек.

Охлаждение валов производится спрейером, встроенным в индуктор. В качестве закалочной среды используют воду с добавкой 3% пассивирующего вещества, обеспечивающего антикоррозионные свойства.

Отпуск валов производят в вертикальной ванне при температуре 180°C в течение 120 мин. Глубина закаленного слоя шатунных шеек 2,5—3,5 мм, коренных шеек 2,25—3,25 мм, твердость HRC > 50.

Кроме объемной и поверхностной закалки для упрочнения рабочих поверхностей чугунных изделий применяют химико-термическую обработку: азотирование, хромирование и алитирование, т. е. насыщение поверхностного слоя азотом, хромом или алюминием соответственно.

§ 6. Термическая обработка цветных сплавов

К сплавам цветных металлов, подвергаемых термической обработке, относят латунь, бронзу, алюминиевые, магниевые и титановые сплавы.

Латунь. Латунь — сплав меди с цинком. Латунь обладает высокой пластичностью и коррозионной стойкостью. Она выпускается в виде листов, полос, ленты и проволоки. Маркируют латунь буквой Л, за которой ставят цифры, указывающие на содержание меди. Например, латунь марки Л80 состоит из 80% меди и 20% цинка. Если латунь содержит 1% свинца, то ее называют специальной и обозначают, например, ЛС59-1. Такая латунь состоит из 59% меди, 40% цинка и 1% свинца.

Латунь, содержащая цинка не менее 39%, имеет однофазную структуру твердого раствора и называется α -латунью. Если в латунь вводится больше цинка, то образуется двухфазная ($\alpha + \beta$) структура. В однофазных латунях структурных превращений не происходит и

поэтому их подвергают только рекристаллизационному отжигу при 600—700°C для повышения пластичности.

Для латунных изделий, имеющих наклеп, характерно растрескивание. Чтобы предотвратить образование трещин в латунных изделиях их подвергают низкотемпературному отжигу при 200—300°C с выдержкой 60—90 мин.

Бронза. Бронза — сплав меди с оловом, свинцом, алюминием и другими элементами. Она обладает высокими литейными свойствами и небольшим коэффициентом трения. Бронзу применяют в основном для изготовления втулок и подшипников скольжения. Маркируют бронзы так: сначала пишут буквы Бр, обозначающие слово бронза, затем буквы, показывающие, какие элементы входят в бронзу и в каком количестве. Например, марка БрОЦС6-6-3 означает, что бронза содержит 6% олова, 6% цинка, 3% свинца и остальное медь.

Бронзы делят на оловянные и безоловянные. Большинство оловянных бронз подвергают только рекристаллизационному отжигу. Безоловянные бронзы, например бронзу марки БрАЖН10-4-4, закачивают в воде при 920°C и отпускают при 560°C. Наибольший эффект дает термическая обработка бериллиевой бронзы марки БрБ2.

Алюминиевые сплавы. Алюминиевые сплавы — это сплавы на основе алюминия с добавлением меди, цинка, магния, кремния и других элементов. Такие сплавы разделяют на деформируемые и литейные.

К деформируемым сплавам относят сплавы АК4, АК6, АК8, Д16 (дюралюминий) и др. Их подвергают термическому упрочнению: закалке, старению и отжигу. Режим термической обработки выбирают в зависимости от типа сплавов. Так, сплав АК8, состоящий из 0,4—0,8% магния, 0,6—1,2% кремния, 0,4—1,0% марганца, 3,9—4,8% меди, подвергают закалке при температуре 495—505°C и старению при 150—165°C продолжительностью от 6 до 15 ч.

Литейные алюминиевые сплавы марки АЛ2, АЛ4, АЛ9 подвергают искусственному старению без предварительной закалки для повышения твердости.

Магниевые сплавы. Магниевые сплавы подразделяют на деформируемые и литейные. Деформируемые магниевые сплавы МА1, МА2, МА5 (0,35—0,60% магния, 4,5—5,5% кремния, 1,0—1,5% меди) используют

для малонагруженных деталей. Их подвергают отжигу, закалке и закалке с последующим старением. Так, сплав МА5 нагревают до температуры 410—420°C, а затем охлаждают в горячей воде. Отпуск осуществляют при 170—180°C с выдержкой 16—24 ч.

Литейные магниевые сплавы марок МЛЗ, МЛ4 применяют для деталей двигателей и приборов и подвергают термическому упрочнению: отжигу и закалке с искусственным старением.

Титановые сплавы. Титановые сплавы обладают высокими прочностными свойствами и устойчивостью против коррозии даже в атмосфере морского воздуха. Получают эти сплавы легированием титана алюминием, хромом, молибденом и другими элементами. Например, сплав ВТ6 содержит в среднем 6,25% алюминия, 5% ванадия, титан остальное.

Титановые сплавы подвергают отжигу, закалке, старению. Например, сплав ВТ5 отжигают при температуре 750°C, сплав ВТ14 подвергают закалке при 870°C и старению при 500°C.

§ 7. Поверхностное упрочнение

Многие детали (шестерни ковочных и листоштамповочных прессов, валы машин, шатуны и др.) работают на истирание и одновременно подвергаются действию ударных нагрузок. Такие детали должны иметь высокую поверхностную твердость, хорошую износостойкость и мягкую вязкую сердцевину. Это достигается поверхностной закалкой.

Из применяемых способов поверхностной закалки наибольшее распространение получили следующие: пламенная закалка, закалка токами высокой частоты и в электролите.

Пламенная закалка. Пламенная закалка состоит из нагрева поверхности стальных деталей ацетилено-кислородным пламенем до температуры, превышающей на 50—60°C верхнюю критическую точку A_{c3} , и быстрого охлаждения водяным душем. Тепло от газового пламени горелки концентрируется на поверхности детали, а внутренние слои металла получают в несколько раз меньшее количество тепла. В результате этого поверхностный слой металла быстро нагревается до температуры закалки и при охлаждении закаливается, а сердцевина

остается незакаленной и мягкой. В зависимости от назначения детали глубину закаленного слоя обычно принимают равной 2,5—4,5 мм. Закаленный слой получает твердость HRC56—58 и остается чистым, без следов окалины и обезуглероживания.

Закалка при нагреве т. в. ч. При прохождении переменного электротока высокой частоты (500 Гц и более) по индуктору (спираль из медных трубок) вокруг последнего образуется магнитное поле, которое возбуждает в стальной детали вихревые токи Фуко. Эти токи и вызывают нагрев поверхностного слоя металла. С увеличением частоты тока глубина нагреваемого слоя уменьшается (рис. 19).

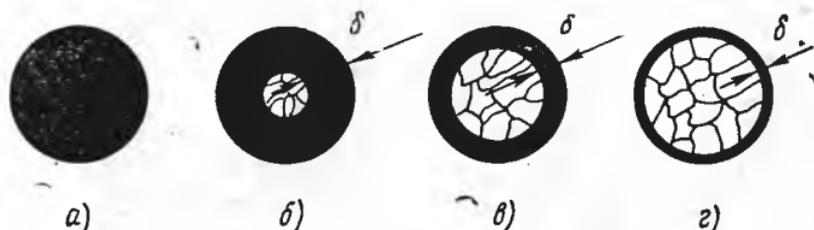


Рис. 19. Схема измерения глубины проникновения т. в. ч. в металл в зависимости от частоты тока:

а — постоянный ток, переменный ток, б — 50 Гц, в — 10 000 Гц, г — 125 000 Гц

Токи высокой частоты получают от машинных и ламповых генераторов. На машинных генераторах получают токи с частотой в диапазоне 0,5—10 кГц, эти токи используют для закалки деталей на глубину до 7 мм. Ламповые генераторы, дающие токи с частотой 100—10 000 кГц, применяют для закалки деталей на глубину до 2 мм.

Твердость поверхностного слоя закаленного металла при нагреве т. в. ч. на 3—4 единицы HRC выше, чем твердость при обычной объемной закалке.

Закалка в электролите. Сущность этого способа состоит в том, что если постоянный ток пропустить через электролит (5—10%-ный водный раствор кальцинированной соды), то на катоде образуется тонкий слой, состоящий из мельчайших пузырьков водорода. Благодаря плохой электропроводимости водорода ток сильно возрастает и катод (деталь) нагревается до заданной температуры, после чего закаливается в том же электролите. Этот метод применяют для закалки стержней клапанов автомобильных и тракторных двигателей.

§ 8. Химико-термическая обработка стали

Химико-термическая обработка стали заключается в изменении химического состава ее поверхностных слоев при нагреве в химически активной среде. Основными видами химико-термической обработки являются цементация, нитроцементация, азотирование и цианирование.

Цементация. Цементация — процесс насыщения поверхности стальных деталей углеродом в твердом и газообразном карбюризаторах (цементаторах). Различают два способа цементации. При твердой цементации детали упаковывают в металлические ящики со смесью, состоящей из 75—80% древесного березового угля и 20—25% углекислого бария (ускоритель реакции). Твердую цементацию ведут при 900—950°C. При этом глубина слоя, насыщенного углеродом, зависит от времени цементации (3—20 и более часов), температуры и составляет 0,2—2,0 мм.

При газовой цементации применяют природный газ, содержащий метан CH_4 , пропано-бутановые смеси и эндотермический газ (20% CO , 40% H_2 и 40% N_2). При 930°C глубина слоя цементации 0,7—1,5 мм достигается за 6—12 ч в муфельных и безмуфельных печах и за 3—10 ч в шахтных печах. После цементации детали проходят закалку при 820—850°C и низкий отпуск 160—180°C, что обеспечивает измельчение зерна и получение поверхностной твердости HRC56—62 при твердости сердцевины HRC25—28. Для газовой цементации применяют также жидкие карбюризаторы (керосин, пиробензол и др.) с капельной подачей в муфель шахтной печи.

Цементации подвергают шестерни грузовых и легковых автомобилей, тракторов, валики и другие шлифуемые детали.

Нитроцементация. Нитроцементация — процесс насыщения поверхности деталей углеродом и азотом одновременно в газовой среде (5—15% природного газа, 3—10% аммиака и остальное эндотермический газ). Нитроцементацию проводят при 850—800°C для образования упрочненного слоя толщиной 0,25—1,0 мм за 2—6 ч. Закалку деталей производят непосредственно после нагрева их в печи или после повторного нагрева, отпуск — при 160—180°C. Твердость упрочненной поверхности изделия составляет HRC60—62, твердость

сердцевины — HRC28—32. Нитроцементованный слой по износостойкости в 1,5—2 раза выше цементованного.

Азотирование. Азотирование — процесс насыщения поверхности стали азотом в среде аммиака при 480—700°C. При азотировании образуются нитриды — химические соединения азота с элементами, входящими в сталь.

Азотирование обычно проводят при 500—700°C и выдержке 15—50 ч для получения упрочненного слоя 0,25—0,65 мм, что обеспечивает высокую твердость (HRC70—72), повышает усталостную прочность и коррозионную стойкость металла. Применяют азотирование для упрочнения шестерен, валов, гильз двигателей и других деталей. Азотируют в основном стали марки 35ХМЮА и 18ХЮА.

Цианирование. Цианирование — процесс насыщения поверхности стали углеродом и азотом. Жидкостное цианирование проводят в расплавленных солях, содержащих цианистый натрий, при 820—860°C. Для получения упрочненного слоя 0,5—0,8 мм изделие выдерживают в солях при 930—960°C в течение 1,5—2,0 ч. После отпуска при 180—200°C поверхностная твердость HRC58—62, твердость сердцевины HRC18—25. Структура цианированного слоя — мелкоугольчатый мартенсит, карбиды и нитриды. К недостаткам жидкостного цианирования относятся высокая стоимость, токсичность цианистых солей, необходимость применения специальных мер по технике безопасности. Поэтому этот процесс заменяют нитроцементацией, т. е. газовой цианировкой.

Диффузионная металлизация. Она заключается в насыщении поверхностного слоя детали алюминием, хромом, бором и другими элементами.

Алитирование. Алитирование применяют в основном для придания повышенной жаростойкости поверхностям стальных деталей, таких, как колосниковые решетки, чехлы термопар и др. Сущность алитирования состоит в насыщении изделия алюминием в порошкообразной смеси или в ванне с расплавленным алюминием с последующим диффузионным отжигом при 950—1050°C и выдержке 15—24 ч. На поверхности деталей образуется прочная пленка из окиси алюминия, которая предохраняет металл от образования окалины.

Хромирование. Хромирование — насыщение поверхности мягких и высокоуглеродистых сталей хромом, при этом на рабочей части изделия образуются твердые растворы карбидов хрома. Хромирование осуществляют в газовой среде, содержащей хлориды хрома, при температуре 900—1100°C в течение 10—20 ч. В результате диффузии поверхность стали насыщается хромом на глубину 0,1—0,3 мм, что способствует повышению ее твердости и коррозионной стойкости.

Борирование. Борирование — насыщение поверхности стали бором. Борирование ведут в боросодержащих средах при 850—1000°C. Время выдержки изделий зависит от требуемой глубины слоя. Так, при выдержке 15 ч глубина слоя составляет 0,25—0,35 мм. Борирование деталей повышает твердость и коррозионную стойкость поверхностного слоя стали, но увеличивает хрупкость.

Дефекты при цементации. В процессе цементации и нитроцементации могут возникнуть следующие дефекты: завышенная или заниженная глубина упрочненного слоя; повышенное содержание углерода в слое при цементации и азота — при нитроцементации, резкий переход от насыщенного углеродом и азотом слоя к сердцевине изделия.

Завышенная глубина цементованного слоя получается из-за повышенной температуры в печи или при большой выдержке деталей в зоне науглероживания. Такие детали бракуют.

Заниженная глубина цементованного или нитроцементованного слоя образуется в основном в результате малой активности карбюризаторов и при пониженной температуре цементации. Такие детали подвергают повторной цементации.

Резкий переход от науглероженного цементованного слоя к сердцевине получается в основном при завышенной температуре цементации и малой выдержке. В процессе эксплуатации цементованный слой таких деталей может отслоиться от сердцевины.

Дефекты при индукционной закалке. Одной из причин возникновения дефектов при индукционной закалке является подбор марки стали без учета содержания углерода и легирующих элементов.

Образование на поверхности мягких пятен и пониженной твердости является следствием

недостаточного прогрева металла и интенсивного охлаждения или недостаточной выдержки. Иногда образование мягких пятен обусловлено неоднородностью исходной структуры. Этот дефект можно предотвратить, если стальные заготовки перед закалкой подвергнуть нормализации, отжигу или улучшению.

§ 9. Оборудование термических цехов

Все оборудование термических цехов разделяют на основное (термические печи, печи-ванны и др.), применяемое для выполнения технологических процессов, дополнительное (прессы, моечные машины и др.), предназначенное для осуществления дополнительных операций при термической обработке, вспомогательное, используемое для приготовления контролируемых атмосфер, теплоэнергетическое и подъемно-транспортное.

Основное оборудование. Термические печи подразделяют по принципу действия, источнику тепловой энергии, технологическому назначению, по характеру среды в рабочем пространстве. По принципу действия различают печи периодического (камерные, шахтные и др.) и непрерывного действия (конвейерные, карусельные, толкательные и др.). По источнику тепловой энергии печи делят на нефтяные, газовые и электрические. По технологическому назначению разделяют печи для закалки, отпуска, цементации, азотирования и т. п. По характеру среды в рабочем пространстве различают печи с контролируемой атмосферой, вакуумные, печи-ванны и т. п.

Печи периодического действия имеют простую конструкцию. Их используют для различных видов термической обработки. В этих печах можно обрабатывать большое количество деталей, разнообразных по форме, размерам и материалам.

Пламенные и электрические камерные печи с горизонтальным неподвижным подом имеют простую конструкцию. Их применяют для отжига, нормализации, закалки и других операций. На рис. 20 изображена схема универсальной камерной газовой печи с неподвижным подом. Каркас 1 печи сварен из листовой стали и выложен шамотным и доломитовым кирпичом 3. Для уменьшения потерь тепла между футеровкой и каркасом проложен листовой асбест 2.

Печь снабжена четырьмя инжекторными горелками 4, работающими на городском природном газе. Площадь пода 6 печи составляет 0,9 м². Рабочая температура в камере 900°С. Расход газа 18—20 м³/ч. Продукты горения отводятся с пода печи через каналы 8, расположенные в боковых стенках.

Температура регулируется автоматически посредством мембранного клапана 7. Клапан управляется

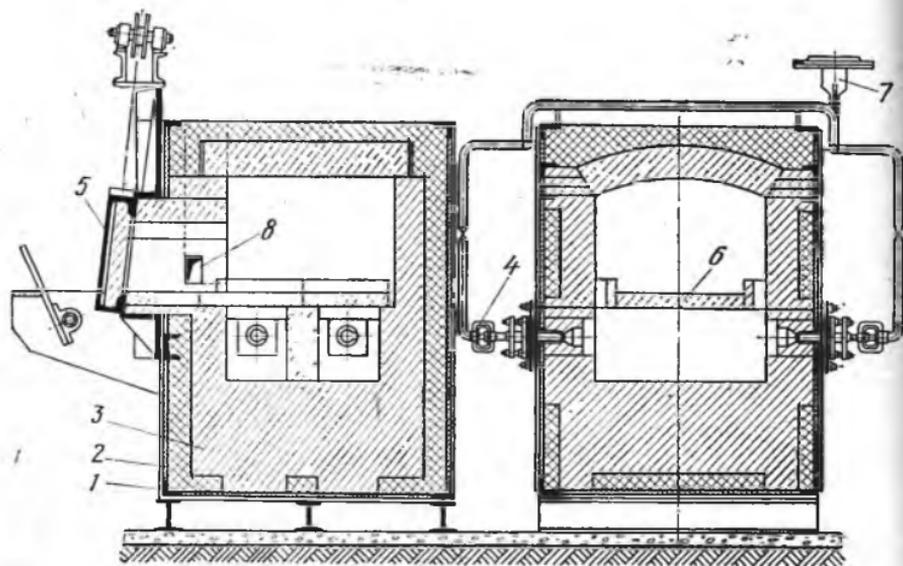


Рис. 20. Схема универсальной камерной газовой печи

импульсом, поступающим от термопары через пирометрический прибор ЭПД-32 с пневматической приставкой. Необходимое давление воздуха на пирометрическом приборе устанавливают посредством редуктора. Подъем и опускание заслонки 5 производится пневматическим подъемником. Производительность печи при закалке 40—45 кг/ч.

На рис. 21 изображена схема механизированной газовой камерной печи, предназначенной для различных видов термической и химико-термической обработки (газовая цементация и нитроцементация). Печь состоит из металлического каркаса 3, футеровки (кладки) 6 из огнеупорного кирпича. В печи имеются две камеры — камера нагрева 4 и камера охлаждения, имеющая заслонку 8. Все операции по передаче деталей в печь, из печи в камеру охлаждения

механизированы и выполняются пневматическими устройствами.

Печь работает следующим образом. Поддон с деталями устанавливается на стол и после поднятия заслонки 2 подъемником 1 проталкивается в камеру нагрева. После нагрева и выдержки открывается промежуточная

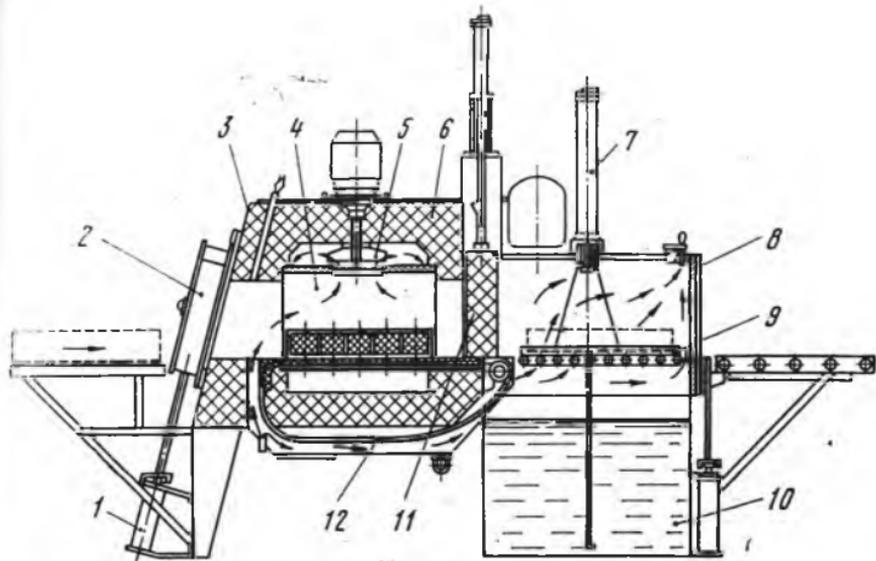


Рис. 21. Схема газовой камерной печи с конвейерным подом

заслонка 11 и поддон цепным конвейером 12 подается на стол 9 закаточного бака 10. Далее подъемник 7 с поддоном опускается в закаточный бак. После закалки открывается задняя заслонка 8 и камера разгружается.

Циркуляция газа в рабочей камере печи осуществляется вентилятором 5. Закаточный бак изолирован от соприкосновения с воздухом. Обогрев печи осуществляется трубами, в которых сжигается природный газ. Максимальная температура в печи 1050°C . Производительность при закалке 125 кг/ч. В качестве защитной атмосферы используют газовую смесь природного газа с эндотермическим.

Широкое применение в термических цехах находят электрические камерные печи различных размеров и мощностей с рабочей температурой до $900\text{--}1000^{\circ}\text{C}$ (электрические нагреватели) и высокотемпературные камерные печи с температурой до 1300°C (карборундовые нагреватели).

На рис. 22 изображена схема камерной электрической печи СНЗ-4,0.80.2,6/10 с защитной атмосферой. Буквы означают: С — нагрев сопротивлением, Н — камерная нагревательная печь, З — защитная атмосфера. Цифры после букв: в числителе — ширина, длина, высота рабочего пространства в дециметрах, в знаменателе — температура рабочего пространства сотнях градусов Цельсия.

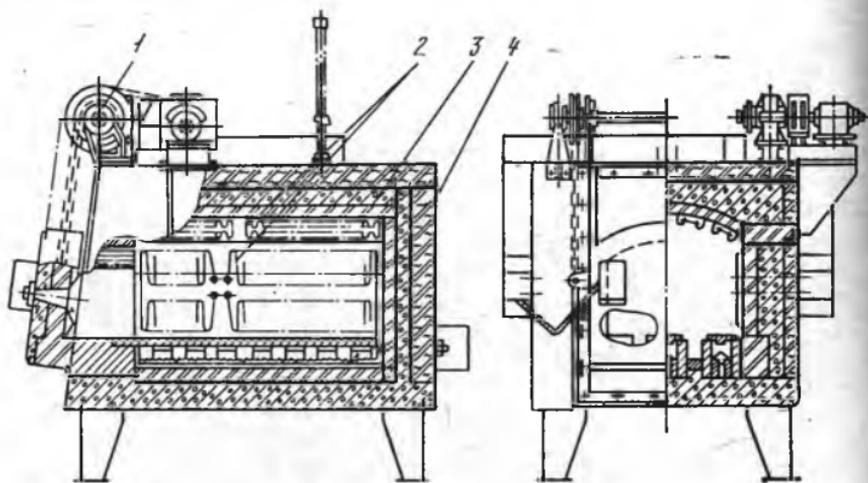


Рис. 22. Схема камерной электрической печи СНЗ-4,0.80.2,6/10:
1 — механизм подъема двери, 2 — нагревательные элементы, 3 — футеровка, 4 — металлический кожух

Для отжига крупногабаритных и тяжелых блоков кузнечных штампов, для искусственного старения чугунных отливок применяют камерные печи с выдвижным подом. Выдвижной под печи изготовлен в виде тележки на колесах, футерованной изоляционным и огнеупорным кирпичом. Такое устройство пода позволяет загружать и выгружать детали вне рабочего пространства печи мостовым краном или другими подъемно-транспортными средствами. Печи с выдвижным подом работают на мазуте, газе и электроэнергии. Рабочая температура в печи 650—850°C.

В шахтных электрических печах рабочая камера расположена вертикально, что позволяет использовать их для нагрева под закалку и отпуск валов, осей, протяжек и других аналогичных деталей в подвешенном состоянии, а также обрабатывать и не-

большие детали, размещая их на специальных приспособлениях в сетчатых металлических корзинах.

Шахтные электропечи выпускаются различных типов: высокотемпературные Г-65 и Г-95, среднетемпературные СШО-4.8/7, СШЗ-4.4/10, низкотемпературные СШО-4.8/3, СШО-6.12/3, для газовой цементации СШЦ-4.6/10, СШЦ-6.12/10 и для азотирования деталей СШЛ-2.3/6 и др.

Газовые и электрические колпаковые печи представляют собой футерованный колпак, изготовленный из жароупорной стали, установленный на неподвижный под печи.

В электрических колпаковых печах применяют никромовые нагреватели, в газовых печах газ сгорает в излучающих трубах. Печи работают с защитной атмосферой. Рабочая температура 900°C. Применяют колпаковые печи для отжига проволоки и ленты.

Вакуумные печи предназначены для нагрева деталей из титановых, магниевых и других сплавов под закалку и для дегазации. Вакуумные камерные печи представляют собой герметичный, охлаждаемый проточной водой кожух, в котором размещена нагревательная камера. В камере размещаются зигзагообразные никромовые нагреватели. Мощность печей 137 кВт. Максимальная рабочая температура 1150°C. Применение вакуумных печей позволяет получать детали с чистой поверхностью без применения защитной атмосферы.

Печи-ванны применяют для нагрева деталей и инструмента под закалку, отпуск, для цианирования, жидкостного азотирования и для охлаждения при ступенчатой и изотермической закалке. В этих печах нагрев деталей производится в расплавленных солях, щелочах, масле и других жидких средах. Наиболее распространенные составы солей для ванн с указанием температуры их плавления приведены в табл. 1.

Часто применяют калиевую (KNO_3) и натриевую ($NaNO_3$) селитры — соли азотной кислоты, представляющие собой бесцветные кристаллы, легко растворимые в воде. К селитрам также относят азотистокислый натрий $NaNO_2$ и азотистокислый калий KNO_2 . Селитры и их смеси в основном используют для отпуска закаленных деталей при температуре 180—540°C.

Для нового прогрессивного процесса — жидкостного азотирования используют цианосодержащие соли. При-

1. Составы солей для закалочных соляных ванн

Наименование солей	Химическое обозначение	Состав соляных смесей, % по массе	Температура, °С	
			плавления	рабочая
Хлористый барий	BaCl ₂	78	654	675—900
Поваренная соль	NaCl	22		
Кальцинированная сода	Na ₂ CO ₃	50	560	580—820
Хлористый калий	KCl	50		
Хлористый кальций	CaCl ₂	33,0	570	600—870
Хлористый барий	BaCl ₂	33,5		
Поваренная соль	NaCl	33,5		
Поваренная соль	NaCl	37	552	590—880
Хлористый калий	KCl	41		
Хлористый барий	BaCl ₂	22	1400	1100—1350
Хлористый барий	BaCl ₂	100		

мерный состав ванн: 66—68% KCN и 29—32% KCNO. Жидкостное азотирование производят при температуре $570 \pm 5^\circ\text{C}$.

Основными преимуществами печей-ванн является высокая скорость и равномерность нагрева деталей, а также удобство выполнения местной термической и химико-термической обработки частичным погружением деталей в расплав солей. К недостаткам следует отнести необходимость периодической смены солей и наличие в солях соединений циана.

Нагрев печей-ванн осуществляется электродами, электронагревателями и природным газом. Различают печи-ванны с внешним обогревом и электродные.

Ванны с внешним обогревом представляют собой литой жароупорный тигель толщиной 15—25 мм, установленный в печь с пламенным или электрическим обогревом. Тепло передается расплаву через стенки тигля. В пламенных печах-ваннах горелки и форсунки установлены тангенциально к поверхности тигля. Продукты горения отводятся через дымовые каналы. Над ванной установлен вытяжной колпак. Средняя производительность этих ванн 50—60 кг/ч.

В электрических печах-ваннах нагреватели размещены на боковых стенках футеровки в несколько рядов по высоте. Такие ванны обозначаются, например, СВГ-10/8,5: С — нагрев сопротивлением, В — ванна, Г — для ванн с наружным обогревом или С — для электрод-

ных ванн, в числителе — мощность ванн в киловаттах, в знаменателе — максимальная рабочая температура в сотнях градусов Цельсия.

В электродных печах-ваннах нагревателем является соль, наполняющая ванну. Электрический

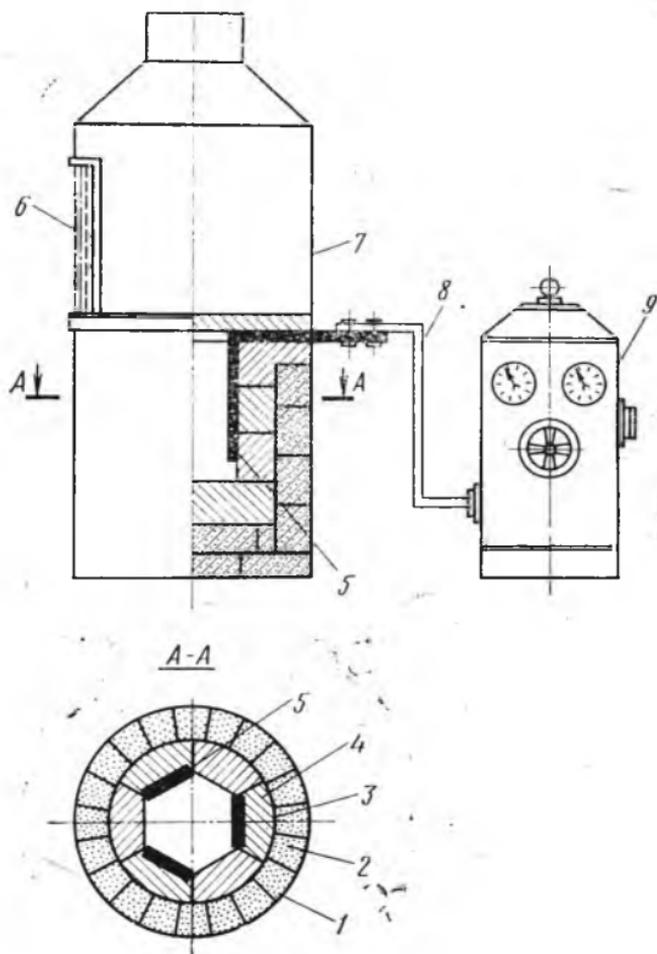


Рис. 23. Схема трехэлектродной соляной печи-ванны СВС-35.2/13

ток низкого напряжения (5,4—24 В) пропускают между железными электродами. Расплавленные соли имеют высокое электросопротивление, поэтому при прохождении через них тока выделяется достаточное количество тепла для разогрева и поддержания требуемой температуры расплава,

На рис. 23 изображена схема трехэлектродной печи-ванны СВС-35.2/13 для закалки инструмента на легированных сталях. Каркас 1 ванны изготовлен из листовой стали с термоизоляционной кладкой 2, внутри которой находится стальной предохранительный кожух 3, выложенный огнеупорным кирпичом 4.

Рабочее пространство ванны имеет вид шестигранной призмы, по бокам которой расположены три желез-

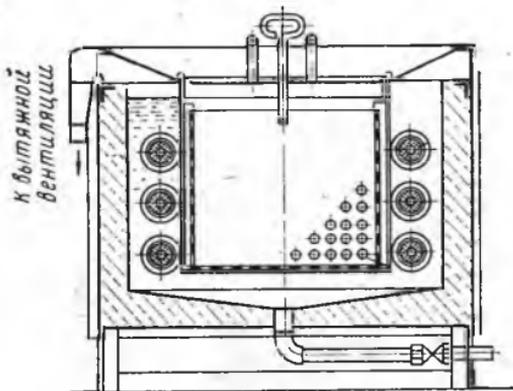


Рис. 24. Схема электрической масляной ванны СВМ-2,5.2.5/3 для низкого отпуска

ных электрода 5. Длина электродов должна быть на 30—40 мм меньше высоты рабочего пространства тигля. В качестве рабочей жидкости применяют расплавленную смесь солей хлористого бария. Ток подается к электродам от трансформатора 9 по медным шинам 8. Удаление соляных паров осуществляется через вытяжной

колпак 7, загрузочное окно которого закрывается цепной занавеской 6, предохраняющей рабочего от брызг расплавленных солей. Средняя производительность ванны составляет 30 кг/ч.

Для термической обработки инструмента из быстрорежущей стали применяют четырехтигельные печи-ванны.

Масляные ванны типа СВМ-2,5.2.5/3 используют для низкого отпуска и искусственного старения (рис. 24). В качестве рабочей среды применяют минеральное масло. Мощность ванны 10 кВт. Максимальная температура 240°C. Производительность 80 кг/ч.

К печам непрерывного действия относят конвейерные, толкательные, карусельные, барабанные, с шагающим подом и др. Такие печи применяют для термической обработки однотипных деталей на предприятиях массового производства.

Конвейерными называют печи, в которых детали при термообработке передвигаются горизонтальным

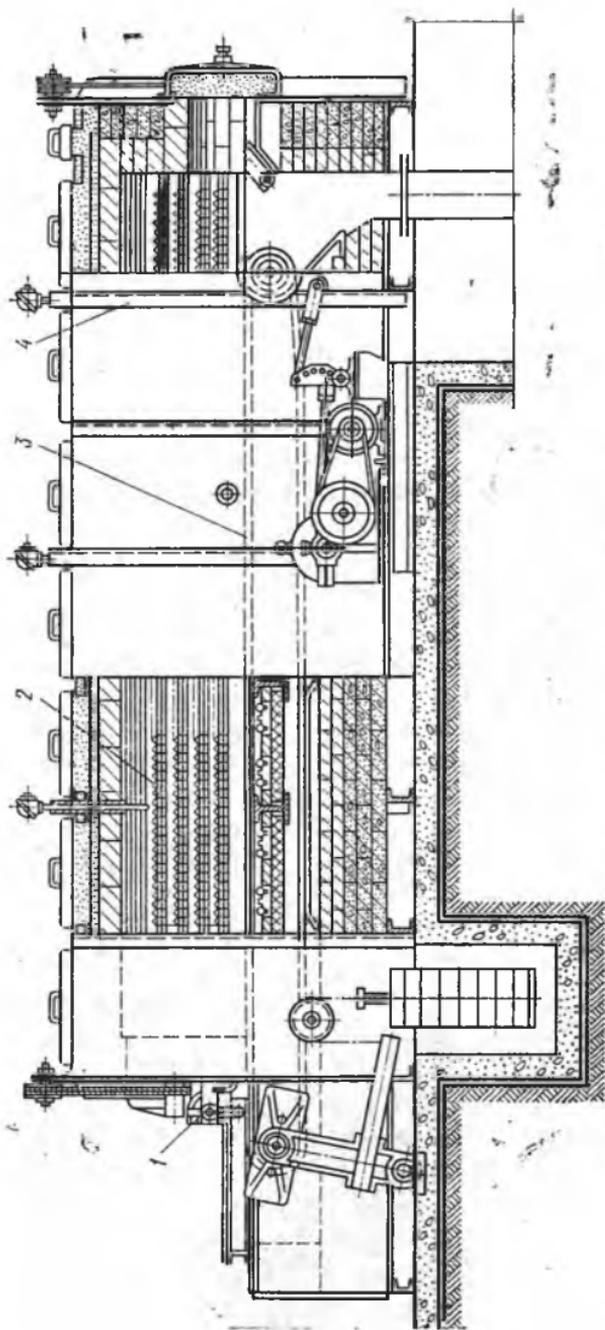


Рис. 25. Конвейерная печь типа СКЗ-4.30.1/9:

1 — каркас, 2 — нагревательные элементы, 3 — конвейер, 4 — загрузочное окно

конвейером. На рис. 25 изображена схема закалочной печи типа СКЗ-4.30.1/9. Печь состоит из герметически плотного каркаса, изготовленного из листовой стали. Рабочее пространство печи выложено огнеупорным шамотом. Нагревательные элементы 2 расположены на боковых стенках и на поду печи под конвейером.

Конвейер 3 печи изготовлен из панцирной ленты, на краях которой имеются борта, предохраняющие детали от падения при движении конвейера. Лента передвигается электродвигателем, соединенным с ведущим барабаном, расположенным у разгрузочного конца печи. Ведомый барабан находится у загрузочного окна 1 печи. Скорость движения конвейерной ленты можно изменять в пределах 0,02—0,21 м/мин.

Печь имеет две зоны: подогрева (800—820°C), нагрева и выдержки (840—850°C). При движении конвейера детали нагреваются до температуры закалки и у разгрузочного конца печи через люк сбрасываются в закалочный бак. Контроль и регулирование температуры в печи осуществляется автоматически.

Карусельные закалочные печи имеют цилиндрическую форму рабочего пространства. Детали двигаются по кругу на вращающемся поду 5 (рис. 26). Вращение пода осуществляется приводным механизмом. Печь имеет полусферический свод 6, обогреваемый трубами 7. В центре расположен вентилятор 8, предназначенный для перемешивания атмосферы в печи. Загрузка и выгрузка производятся через загрузочную камеру с двойными заслонками, имеющими наружную 3 и внутреннюю 4 дверцы, приводимые в действие гидроподъемником 1. Детали для нагрева загружают в печь загрузочным устройством 2. Рабочая температура печи 950—1100°C, производительность 150—200 кг/ч.

Барабанные электрические печи типа СБЗ (рис. 27) применяют для нагрева под закалку шариков и роликов подшипников качения, гаек, болтов и т. д. Основным узлом в барабанных печах является вращающийся жароупорный муфель 3, обогреваемый электронагревателями. Вращение муфеля осуществляется электродвигателем через зубчатую червячную передачу. Внутренний диаметр муфеля 310 мм, длина 2000 мм. Средняя производительность печи 180 кг/ч.

Толкательные электрические печи СТЗ-6.24.4/10 применяют для отжига, нормализации,

закалки и отпуска коленчатых валов, осей, колец шарикоподшипников. Рабочее пространство таких печей имеет вид коридора, вдоль которого нагреваемые детали, загруженные на жароупорные поддоны, передвигаются пневматическим толкателем. Длина одного перемещения поддонов по жароупорным направляющим, расположенным в печи, составляет 5—10 мм. Рабочая

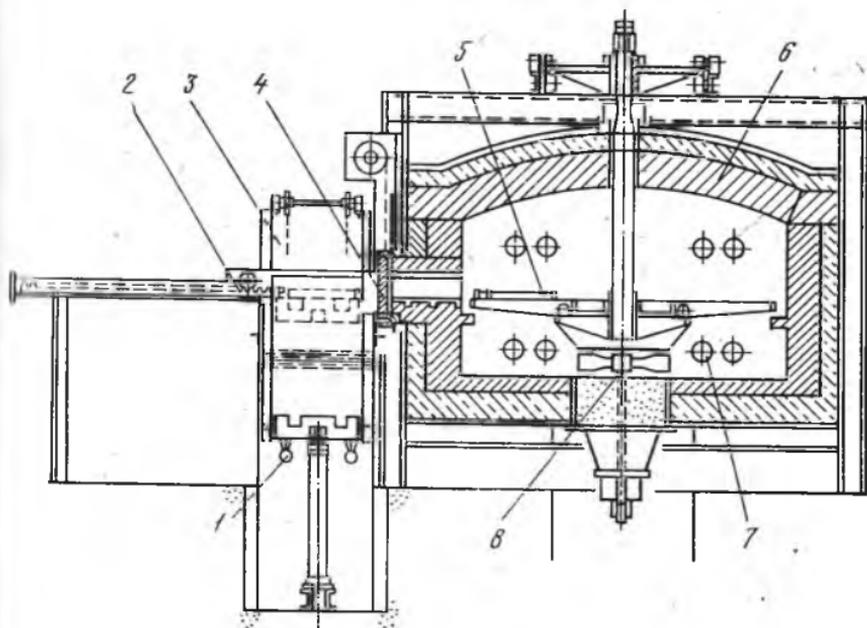


Рис. 26. Схема печи с круглым вращающимся подом и закалочным баком

температура до 1000°C . Средняя производительность печи 300 кг/ч.

Печи с шагающим подом относят к группе проходных печей. Их применяют в основном для нагрева под закалку осевых деталей. Загрузку заготовок производят с одного конца печи, выгрузку — с другого конца. Перемещение заготовок осуществляется посредством шагающей балки, представляющей металлическую конструкцию, которая перемещается специальным механизмом. Обогреваются печи природным газом. Рабочая температура печи $900\text{—}1050^{\circ}\text{C}$, производительность в среднем 200—300 кг/ч.

На предприятиях массового производства для закалки и отпуска колец подшипников качения, болтов, гаек, шпилек и других мелких и средних деталей применяют

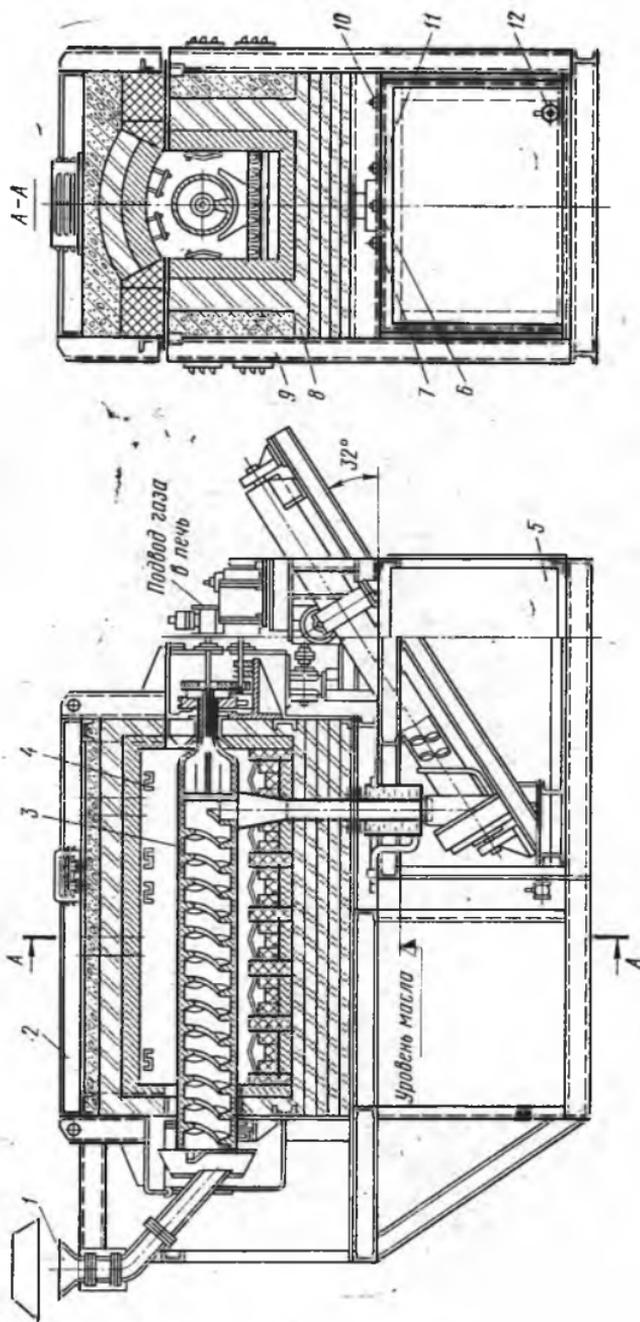


Рис. 27. Схема барабанной электрической печи типа СБЗ:

1 — загрузочное устройство 2 — крышка, 3 — муфель, 4 — нагревательные элементы, 5 — закалочный бак, 6 — па-
 трубок для подвода воды, 7 — место отвода воды, 8 — футеровка, 9 — кожух, 10 — место отвода масла, 11 — мес-
 то подвода закалочного масла, 12 — место слива масла

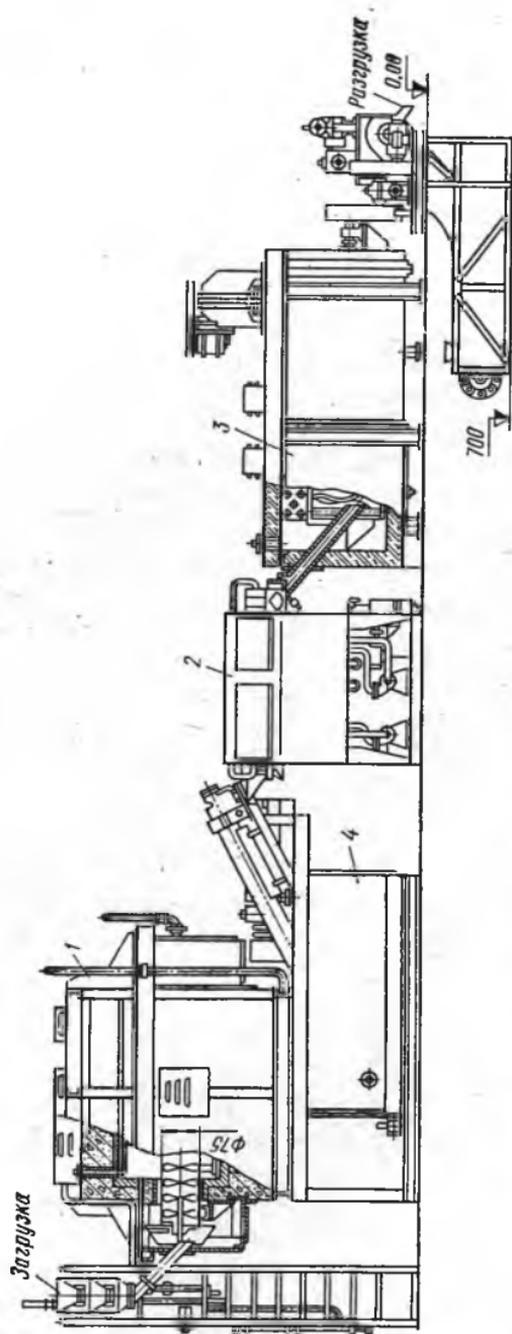


Рис. 28. Схема конвейерного закально-отпускного агрегата типа СБЗА-2,5.12/3

высокопроизводительные закалочно-отпускные агрегаты СБЗА-2,5.12/3. Агрегат состоит из барабанной закалочной печи 1 (рис. 28), моечной машины 2, отпускной электропечи 3 и закалочного бака 4. Барабанная закалочная печь агрегата имеет герметически сварной кожух, к которому спереди и сзади прикреплены короба с установленными в них опорными роликами под муфель.

Закалочный бак состоит из сварного кожуха, внутри которого установлен шнековый барабан. Элеватор барабана поднимает закаленные детали из бака и ссыпает их в моечную машину, в которой детали промываются горячим водно-содовым раствором, а затем водой.

Из моечной машины детали поступают в отпускную барабанную электропечь, представляющую собой сварной кожух с двумя крышками и двойными металлическими стенками, между которыми набит асбест. Нагрев деталей в отпускной печи осуществляется горячим воздухом. Барабан приводится во вращение электродвигателем.

Автоматическое перемещение деталей с одной операции на другую, а также автоматическое регулирование температуры нагрева, осуществляемое электронными потенциометрами, обеспечивают высокую производительность закалочно-отпускных агрегатов и позволяют получать продукцию высокого качества.

Для химико-термической обработки деталей — цементации и нитроцементации — применяют одно-, двух- и трехрядные безмуфельные агрегаты, которые скомпонованы из цементационной, закалочной и отпускной печей и моечной машины.

Для высокочастотной закалки деталей машин применяют установки, состоящие из генератора, преобразующего промышленный ток частоты 50 Гц в ток высокой частоты. На рис. 29 приведена схема установки В. П. Вологодина для нагрева деталей т. в. ч. Она состоит из машинного генератора 1 ПВВ-100/8000, электродвигателя 2, конденсатора 3, трансформатора 4 и индуктора 5.

Трансформатор служит для понижения напряжения и увеличения силы тока, конденсатор — для улучшения работы генератора, индуктор предназначен для передачи энергии от источника питания в нагреваемое изделие 6.

Индуктор изготовлен из медных трубок, охлаждаемых во время работы протекающей внутри трубок проточной водой. Форма и размеры индуктора зависят от условий нагрева, величины и конфигурации нагреваемой поверхности, а также от мощности и частоты источника питания. Охлаждающая вода для закалки изделий подается через отверстия, расположенные в активной зоне индуктора.

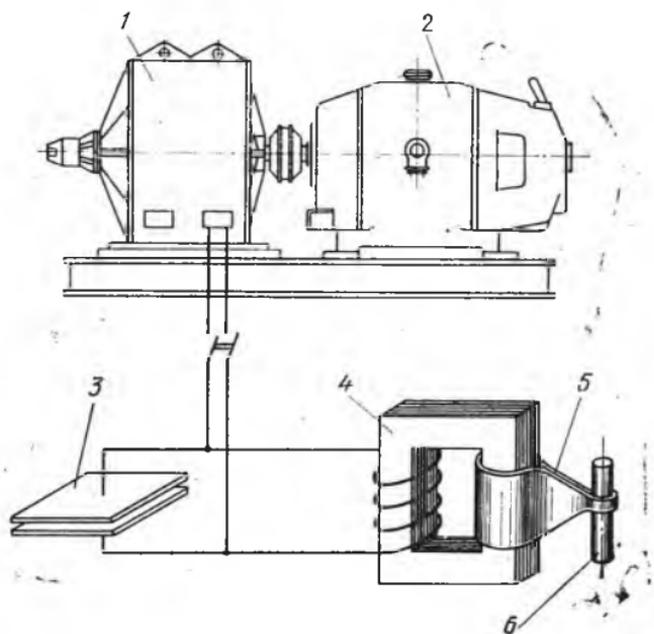


Рис. 29. Схема установки проф. В. П. Вологодина для нагрева деталей т. в. ч.:

1 — машинный генератор, 2 — электродвигатель, 3 — конденсатор, 4 — трансформатор, 5 — индуктор, 6 — деталь

Оборудование для индукционной закалки устанавливается в потоки механообрабатывающих цехов и позволяет создавать комплексные автоматические линии обработки различных деталей. В практике производства для индукционной закалки используется большое количество автоматизированных закалочных станков и установок, автоматизированных и полуавтоматизированных агрегатов.

Закалочные баки подразделяют на немеханизированные и механизированные. Немеханизированные закалочные баки изготовляют из листовой стали без специальных устройств для выгрузки охлажденных де-

талей. Для закалки, например, мелких и средних деталей применяют баки с габаритными размерами $600 \times 700 \times 900$ мм. Иногда изготавливают сдвоенные баки для воды и масла. Баки большой высоты углубляют в землю с таким расчетом, чтобы высота их над уровнем пола равнялась 900—1000 мм. Механизированные баки выпускают с индивидуальным охлаждением закалочной жидкости посредством змеевиков и с централизованной подачей жидкости от станции. По своей конструкции такие баки бывают с опускающимся столом, который вместе с деталями погружается в закалочную среду, и конвейерные, имеющие конвейер для перемещения закаленных деталей.

Для закалки зубчатых колес и уменьшения их деформации в термических цехах применяют пневматические и гидравлические закалочные прессы и машины. Закалка зубчатых колес в прессе осуществляется в специальных штампах для получения равномерной твердости за счет обильного охлаждения маслом и для предотвращения колес от деформации.

Для обработки деталей холодом применяют ванны-камеры и низкотемпературные установки. Ванна-камера состоит из деревянного ящика и камеры, изготовленной из листовой стали, между которыми проложена термоизоляционная прокладка (войлок). Камера заполняется смесью (хладагентом) твердой углекислоты (сухой лед) со спиртом или ацетоном. Температура в камере достигает 200 K (-73°C).

При больших объемах обработки, предназначенной для стабилизации размеров деталей точных станков, калибров, используют холодильные машины ТКСП-0,1-70 с полезным объемом $0,1 \text{ м}^3$ и температурой в рабочей камере 203 K (-70°C) — 173 K (-100°C). Хладагентом служит фреон-22.

Дополнительное оборудование. К нему относят правильные прессы, травильные установки, моечные машины, дробеструйные и дробеметные установки и другое оборудование.

Правильные прессы предназначены для правки стержней, осей, валов, протяжек и других осевых деталей и инструмента. Наибольшее распространение получили гидравлические прессы усилием от 49 кН до 2 МН (от 5 до 200 тс).

Травильные установки применяют для очистки деталей от окалины. Они выполняются в виде специальных ванн, в которых содержится 3—5%-ный водный раствор серной кислоты, имеющий температуру 40—50°C. Подогревается раствор сжатым паром, вводимым в ванну.

Моечные машины применяют для очистки деталей и инструмента после термообработки от солей, масел и грязи. В качестве моющих средств используют 3—4%-ный водный раствор каустической или кальцинированной соды. Для очистки применяют также промывочные баки, подобные закалочным немеханизированным бакам, и моечные машины конвейерного типа МКП-0620. В этих машинах детали поступают на движущуюся ленту, где и подвергаются воздействию сильной струи горячего содового раствора. Производительность таких машин 200—500 кг/ч.

Принцип действия ультразвуковой установки состоит в том, что на погруженные в ванну с жидкостью детали воздействуют ультразвуковые колебания. Под действием ультразвуковых волн в жидкости возникают сильные гидравлические удары, которые воздействуют на поверхность очищаемых деталей и отрывают от нее окалину, частицы жира и грязи. Производительность такой установки до 450 кг/ч.

Дробеструйная установка предназначена для очистки деталей массового производства. Детали очищают струей чугуновой или стальной дроби (0,2—2,0 мм), направленной на поверхность деталей сжатым воздухом. Под действием ударов дроби окалина и грязь на закаленных деталях разрушается.

В дробеметной установке очистка от окалины производится потоком металлической дроби, выбрасываемым на детали лопатками рабочего колеса турбинки. Скорость летящей дроби достигает 60 м/с. Для дробеметной очистки используют также дробеметные барабаны периодического и непрерывного действия. На рис. 30 изображена схема дробеметной установки модели 323М с автоматической загрузкой и выгрузкой деталей. Производительность установки 1,5—1,7 т/ч.

Вспомогательное оборудование. Основным видом такого оборудования являются установки или эндотермические генераторы для приготовления контролируемых

атмосфер. В настоящее время в термических цехах часто применяют эндотермические генераторы конструкции ЗИЛ — НИИТАвтопром. В этих генераторах городской газ после очистки от серы в регуляторах «газ — воздух» смешивается с воздухом в определенной пропорции, э

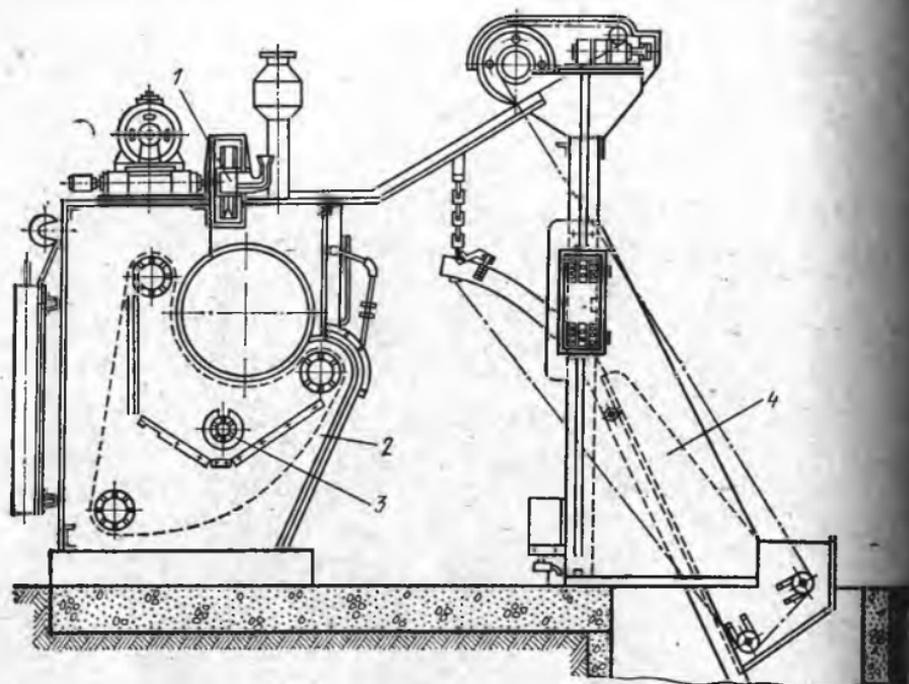


Рис. 30. Схема дробеметной установки модели 323М:

1 — дробеметная турбинка, 2 — пластинчатый транспортер, 3 — шнековый транспортер, 4 — скиповый подъемник

тем поступает в генератор, представляющий собой шахтную ретортную электропечь. Полученная газовая смесь (20% окиси углерода, 40% водорода и 40% азота) проходит систему охлаждения, затем поступает в общий коллектор и далее по трубам направляется к термическим печам.

§ 10. Приборы для измерения температуры

Для контроля и регулирования температуры в нагревательных печах, установках и соляных печах-ваннах применяют контрольно-измерительные и регулирующие приборы: термопары, милливольтметры, потенциометры, пирометры и др.

Термометры. Это приборы для измерения температуры, принцип действия которых основан на свойстве тел увеличивать объем при нагревании. Термометры могут быть биметаллическими стержневыми и жидкостными стеклянными.

Биметаллические термометры (рис. 31) состоят из чувствительного элемента в виде плоской или спиральной пружины, спаянной из двух разнородных металлических пластин *A* и *B*.



Рис. 31. Биметаллический термометр

При нагревании обе пластины удлиняются, но не одинаково, и пружина изгибается в сторону металла с меньшим температурным коэффициентом расширения. По величине изгиба, т. е. по отклонению стрелки *C*, определяют температуру нагрева.

Стержневой термометр состоит из трубы *1* (рис. 32) и расположенного в ней стержня *2*, изготовленных из разнородных материалов. Один конец стержня жестко прикреплен ко дну трубки, другой упирается в рычаг *4* с зубчатым сектором. Труба и стержень не одинаково удлиняются при нагревании. Отсчет температуры производят по отклонению стрелки *3* на шкале прибора.

Применяются дилатометры в качестве сигнализаторов и регуляторов температуры при изменении ее в охлаждающих и закалочных средах.

Жидкостные стеклянные термометры основаны на объемном расширении ртути или окрашенного спирта, заключенных в закрытом стеклянном резервуаре. Резервуар соединен с капилляром (трубкой),

имеющим небольшой внутренний диаметр. При нагревании резервуара объем жидкости в нем увеличивается и она поднимается по капилляру. По высоте столбика жидкости определяют температуру. Термометр с ртутью

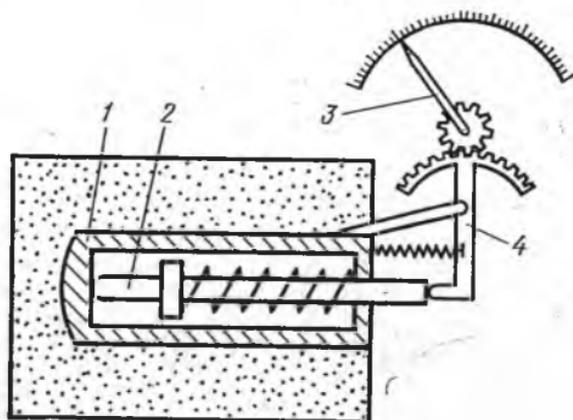


Рис. 32. Стержневой термометр (дилатометр)

ным заполнением, снабженный электроконтактами, называют контактными. Такие термометры сигнализируют о предельных значениях температуры.

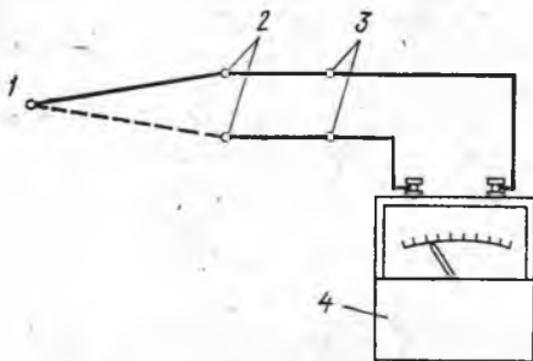


Рис. 33. Схема термопары:
1 — горячий спай, 2 — холодный спай, 3 — медные провода, 4 — милливольтметр

Термопары. Термопары предназначены для измерения температуры выше 600°C . Термопара (рис. 33) представляет собой прибор, в котором имеется два разнородных проводника, сваренных с одного конца. В цепи

на двух разнородных проводников при нагреве возникает термоэлектродвижущая сила (термо-э. д. с.), величина которой зависит от рода сваренных металлов и возрастает с увеличением температуры нагрева в месте спая проводников. Конец 1 термопары называют горячим спаем (рабочим концом), а конец 2 — холодным спаем (свободным концом). Результирующая термо-э. д. с. равна разности термо-э. д. с., возникающих в горячем и холодном спае.

Если свободный конец термопары имеет постоянную температуру, например 18°C, то для любого типа термопары величина термо-э. д. с. зависит от того, до какой температуры нагрет рабочий конец термопары. Если температура свободного конца будет изменяться, то величина термо-э. д. с. термопары также изменится. Следовательно, о температуре печей, ванн и других устройств, к которым прикреплены термопары, судят по величине термо-э. д. с., которую определяют милливольтметром 4, присоединенным проводами 3 к свободному концу термопары. Термопары изготавливают из различных металлов и сплавов (табл. 2).

2. Стандартные термопары

Материал для изготовления термопар	Условное обозначение	Температура, °C	
		предельная	применяемая
Хромель-копель	ХК	800	600
Хромель-алюмель	ХА	1100	1000
Платина-платинородий	ПП	1600	1300

В термопарах ПП применяют проволоку диаметром 0,5—0,6 мм, в остальных — диаметром 2—3 мм. Проволоки в термопарах, имеющие длину 500—2000 мм, изолируют друг от друга фарфоровыми бусами и вставляют в кварцевую трубку. Для защиты термопар от механических повреждений их помещают в жароупорные чехлы с цилиндрической головкой.

Свободные концы термопары удлиняют компенсационными проводами. Для хромель-алюмелевых термопар применяют медно-константановые провода, назначение которых — компенсировать термо-э. д. с., вызываемую нагревом холодного спае. Для обеспечения постоянной температуры свободных концов термопары их помещают

в специальные коробки, в которых поддерживается постоянная температура. Для правильного измерения температуры в нагревательных печах термопару 2 при помощи метристы устанавливают сбоку от нагреваемых деталей 1 (рис. 34, а) или сверху (рис. 34, б). Рабочий конец термопары должен отстоять от стенки печи не менее чем на 250—300 мм, чтобы не подвергаться тепловому воздействию.

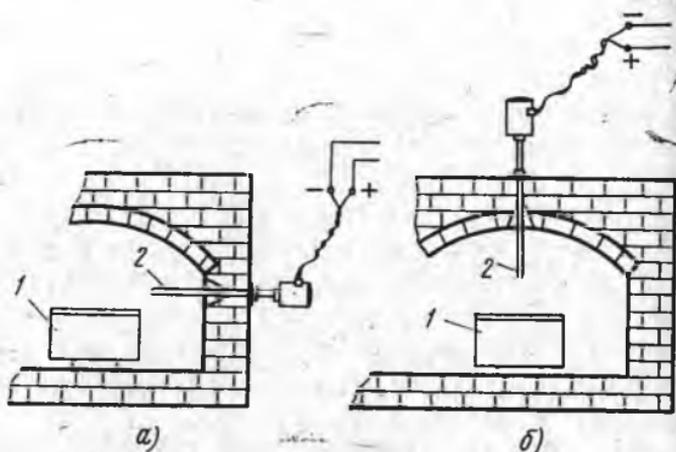


Рис. 34. Установка термопары в печи:
а — сбоку нагреваемых деталей, б — сверху; 1 — детали, 2 — термопара

Милливольтметры и потенциометры. В качестве вторичного измерительного прибора в комплекте с термопарой могут применяться показывающие и самопишущие или контактные милливольтметры и автоматические потенциометры.

Показывающий милливольтметр состоит из постоянного магнита 1 (рис. 35) с полюсными башмаками 2 из мягкой стали и сердечника 3, на который надета бескаркасная рамка 4, вращающаяся в кольцевом зазоре. Ток термопары подводится через спиральные пружины 5, которые создают противодействующий момент. Внутренний конец пружин прикреплен к рамке, а наружный — к коллектору 6, соединенному со стрелкой 7. Проходя через рамку, ток взаимодействует с магнитным потоком постоянного магнита и создает магнитное поле, которое стремится повернуть рамку против действия пружин таким образом, чтобы ее плоскость была перпендикулярна магнитным линиям.

постоянного магнита. Чем выше температура рабочего конца термопары, тем больше термо-э. д. с. и тем на больший угол поворачивается рамка и прикрепленная к ней стрелка 7.

Самопишущие милливольтметры применяются в тех случаях, когда нужно знать не только температуру в данный момент, но и весь режим нагрева

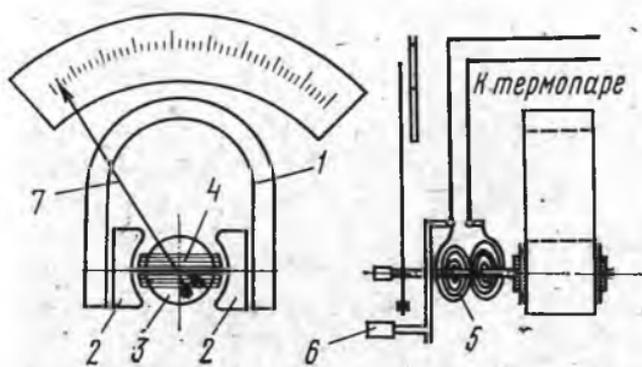


Рис. 35. Схема показывающего милливольтметра

на длительный период времени. Такие милливольтметры отличаются от показывающих тем, что их стрелка через определенные промежутки времени касается движущейся с постоянной скоростью рулонной бумаги. Между стрелкой и бумагой находится красящая лента. От периодических ударов дужки прибора по стрелке движущий ролик оставляет на бумаге след от красящей ленты в виде ряда точек. Эти точки образуют температурную кривую. Температуры, измеряемые разными термопарами, записываются различными цветами. Передвижение бумаги и периодический удар стрелки осуществляются часовым механизмом или моторчиком.

Для измерения, записи и автоматического регулирования температуры применяют электронные потенциометры КСП-3 и уравновешивающие мосты КСМ-3 с полупроводниковыми усилителями, а также электронные потенциометры типов ПСР-1 и ПСР-1Т.

Потенциометры КСП-3 и уравновешивающие мосты КСМ-3 представляют собой стационарные одноточечные показывающие и регистрирующие приборы. Запись показаний осуществляется на дис-

ковой диаграмме Д1250 с длиной отчетной дуги 95 мм. Привод диаграммы от синхронного электродвигателя. Полный оборот диаграммы происходит за 24 ч. Питание силовой части прибора 220 В, 50 Гц. Потенциометры работают в комплекте с термоэлектрическими термометрами, а уравновешивающие мосты — с термометрами сопротивления. Пределы измерения температуры от 500 до 1300°C.

Потенциометры типа ПСР-1 и ПСР-11 предназначены для работы в стационарных условиях, как и приборы КСП-3. Они имеют регулирующее устройство и одновременно с измерением и записью производят автоматическое регулирование. Приборы работают в комплекте с термопарами или датчиками, являющимися источниками э. д. с. или напряжения постоянного тока. Запись показаний этих приборов производится на диаграммной ленте шириной 160 мм. Пределы измерения температуры от 500 до 1300°C.

Пирометры. Для измерения и контроля температуры используют также пирометры излучения, позволяющие производить замеры температуры в пределах 20—6000°C, оптические пирометры ОППИР-017, радиационные пирометры РАПИР и др.

РАПИР предназначен для бесконтактного измерения температур по суммарному тепловому излучению. Пределы измерения температуры 400—2500°C.

ОППИР-017 предназначен для измерения температуры нагретых тел по их яркости и является визуальным пирометром с исчезающей нитью переменного накала. Пределы измерения температуры 800—6000°C.

Пирометр ОППИР-017 (рис. 36, а) состоит из зрительной трубы, внутри которой находятся объектив 3, ослабляющий светофильтр 4, электролампа 2 накала, окуляр 7 и красный светофильтр 6. В комплект входят реостат 5, измерительная шкала и батарея питания 1. Объективом 3 и окуляром 7 производят наведение пирометра на закаливаемую деталь и настройку четкости изображения, реостатом регулируют яркость накала нити (рис. 36, б, в) электролампы до тех пор, пока верхняя часть нити не сольется с фоном излучения нагреваемой детали и перестанет быть видимой. В этот момент яркость накала нити, зависящая от силы тока и измеряемая по шкале милливольтметра в градусах, будет равна яркости нагретой детали (рис. 36, в).

По отклонению стрелки пирометра определяют температуру нагрева.

Для непрерывного контроля температуры нагретых деталей применяют пирометр излучения

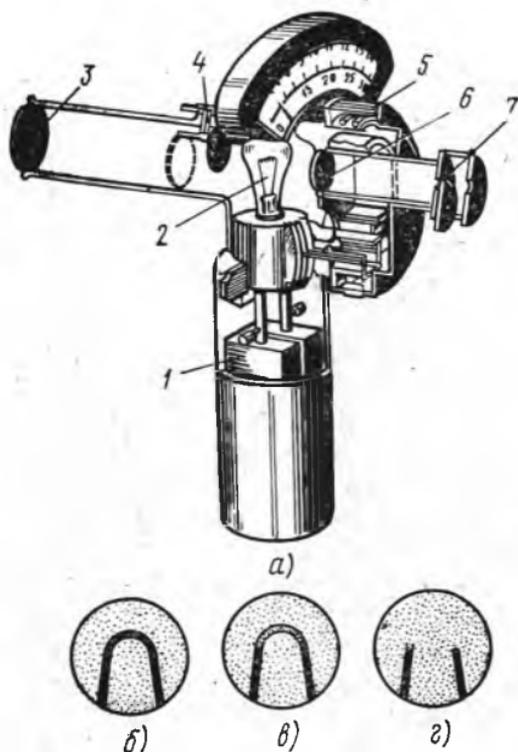


Рис. 36. Оптический пирометр ОППИР-017 с исчезающей нитью:

а — устройство, *б* — нить накалена слабо, *в* — нить накалена соответственно температуре нагретого тела, *г* — нить накалена слишком сильно

ФИТ-028М с пределами измерения температуры от 500 до 1600°C.

§ 11. Приборы для контроля расхода и состава газа

Приборы для контроля расхода газа. В термических цехах для контроля и регулирования подачи газа и газовых смесей применяют флоскопы, ротаметры и регуляторы постоянного расхода.

Флоскопы показывают расход газа в единицу времени ($\text{м}^3/\text{ч}$). Флоскоп состоит из чугунного корпуса

1 с боковым отверстием 2 (рис. 37), в который поступает поток газа. Войдя в корпус прибора, поток поворачивается на 90° . Верхняя часть 3 флюскопа имеет коническую форму. В нижней цилиндрической части смонтирована камера 4 со стеклянной трубкой 5, заполненной вазелиновым маслом. В смотровой камере

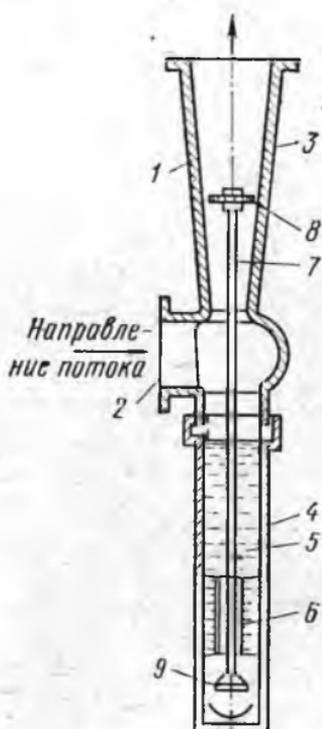


Рис. 37. Схема прибора флюскоп:

1 — чугунный корпус, 2 — отверстие для поступления газа, 3 — коническая верхняя часть прибора, 4 — камера, 5 — трубка стеклянная, 6 — шкала, 7 — стержень, 8 — диск верхний, 9 — диск нижний

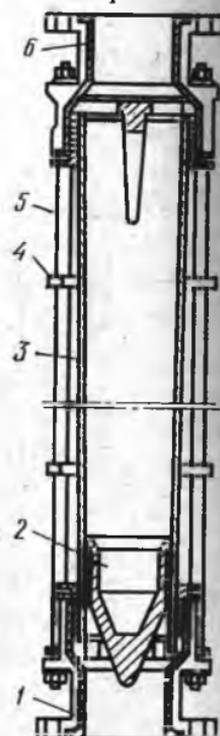


Рис. 38. Рота-метр:

1 — стеклянная трубка или входной штуцер, 2 — поплавок, 3 — конусная трубка, 4 — крепежное кольцо, 5 — шпильки крепления, 6 — выходной штуцер

нанесена шкала 6, указывающая расход газа. Внутри стеклянной трубки расположен стержень 7, на котором укреплены два диска 8 и 9. Стержень может перемещаться по вертикали и положение его зависит от величины давления газа. При пуске газа стержень поднимается и нижний диск 9 устанавливается против какого-нибудь деления шкалы. С увеличением расхода это

диск будет передвигаться вверх, а при уменьшении — вниз. Если расход газа постоянный, то диск будет находиться на одном и том же уровне.

Ротаметр служит для измерения мгновенного расхода газов или жидкостей. Его действие основано на прохождении газа (или жидкости) через кольцевое отверстие переменного сечения. Конструктивно ротаметр представляет собой вертикально расположенную стеклянную трубку 3 (рис. 38) конического сечения. В трубке свободно перемещается поплавок 2, диаметр которого меньше диаметра трубки, а нижняя часть имеет коническую форму. При поступлении в трубку газа поплавок поднимается вверх. Это происходит в связи с тем, что в кольцевом зазоре между поплавком и стенкой трубки образуется перепад давлений, зависящий от скорости (расхода) газа и величины зазора. Давление на поплавок снизу больше, чем сверху. При подъеме поплавка зазор увеличивается, так как трубка имеет коническое сечение, перепад давлений уменьшается. Поплавок остановится на том уровне, при котором его вес будет уравновешен перепадом давлений. Чем больше расход, тем выше поднимается поплавок. Значение расхода отсчитывают по положению поплавка относительно шкалы, нанесенной непосредственно на стенке стеклянной трубки. Ротаметр может работать только в вертикальном потоке газа при рабочем давлении до 6 атм (606 кПа).

В термических цехах применяют ротаметры РС-3, РС-5 и РС-7. Максимальное рабочее давление газа 4 атм (404 кПа). Пределы измерения по воздуху: РС-3—0,04—0,35 м³/ч, РС-5—0,2—1,0 м³/ч, РС-7—1,6—10,0 м³/ч. Материалом для поплавка служит эбонит.

В настоящее время внедряются новые типы измерительных расходомеров и дозаторов, основанных на индукции, ультразвуке и других явлениях.

Газоанализаторы. Это приборы для измерения содержания газов в газовых смесях. В производственных условиях, особенно в термических цехах, для контроля газовой среды применяют газоанализаторы абсорбционного типа конструкции ЗИЛ. На этом газоанализаторе можно определять процентное содержание в газовых смесях отдельных компонентов (СО₂, О₂, СО, СН₄, N₂ и др.) последовательным их поглощением растворами кислот и щелочей. По сокраще-

нию объема смеси определяют процентное содержание в ней газа.

На рис. 39 изображена схема газоанализатора абсорбционного типа. Он состоит из поглотительных сосудов 1, электропечи 2, кварцевой трубки 3, уравнительного сосуда 4, измерительной бюретки 5, холодильника 6, газовой пипетки 7 и склянки 8 для стока.

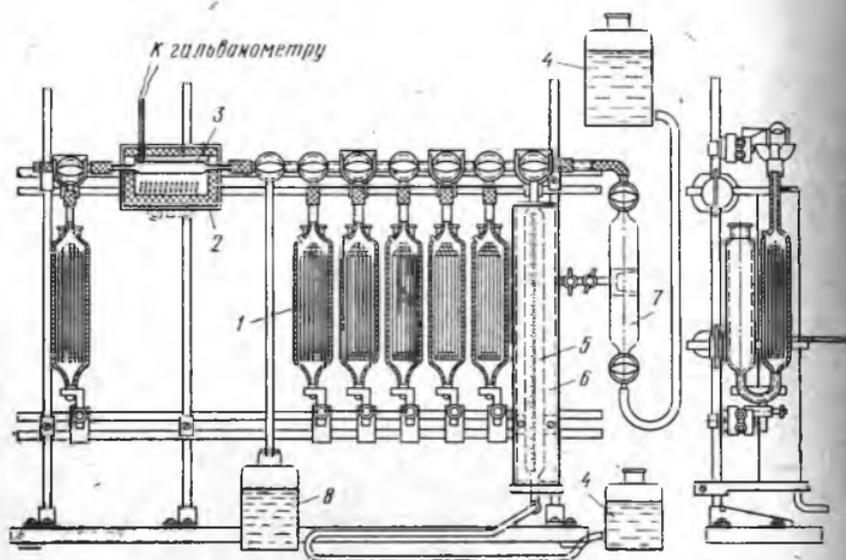


Рис. 39. Схема газоанализатора абсорбционного типа.

В качестве поглотителей используют растворы кислот и щелочей. Так, например, первый сосуд, заполненный раствором КОН, служит для поглощения CO_2 , второй сосуд, заполненный 20%-ным водным раствором бромистого калия, насыщенного бромом, служит для поглощения неопределенных углеводородов C_nH_{2n} , третий сосуд с хлористым хромом предназначен для поглощения кислорода O_2 , четвертый сосуд, заполненный аммиачным раствором полухлористой меди, служит для полного поглощения окиси углерода CO . При определении содержания водорода газ пропускается через пятый сосуд с аммиачным раствором полухлористой меди, а затем дожигается в кварцевой трубке, нагретой до $280\text{--}300^\circ\text{C}$. После сжигания контролируемый газ проходит шестой поглотительный сосуд, содержащий раствор едкого кали и поступает в измерительную бюретку. Погрешность измерения газоанализатора состав-

днет 0,5—1,0%. Измерения на флюскопах, ротаметрах, газоанализаторах и других приборах выполняют лаборанты химической лаборатории термического цеха.

§ 12. Приборы для определения атмосферы по точке росы

Точкой росы называют температуру, при которой газ определенного состава, охлаждаясь при постоянном влагосодержании, становится насыщенным. Содержание водяных паров в газе называют влажностью.

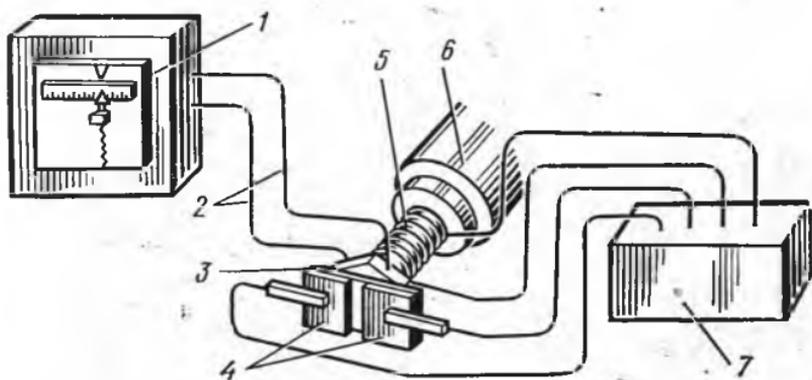


Рис. 40. Схема прибора «Дьютроник» для контроля точки росы:

1 — шкала с обозначениями точки росы, 2 — медно-константановая термопара, 3 — изоляция, 4 — электроды, определяющие точку росы, 5 — нагревательный элемент, 6 — медный охлаждающий стержень, 7 — электронный датчик

Определение влажности газов по температуре точки росы проводят приборами автоматического действия, в которых металлическая зеркальная поверхность охлаждается двуокисью углерода или жидким азотом. Шкала прибора градуируется по изменению точки росы до 223 К (-50°C). По точке росы можно с достаточной точностью рассчитывать содержание углерода в поверхностном слое нагреваемой стали, т. е. определить так называемый углеродный потенциал атмосферы.

На рис. 40 изображена схема прибора «Дьютроник» для контроля точки росы — влажности газа. Прибор имеет печной терморегулятор. Газ пропускается через холодильник. Проходя через щель между двумя плати-

новыми электродами, смонтированными на конце холодильной камеры, газ конденсирует находящуюся в нем влагу. Electroды присоединены к проводам, проходящий через эти электроды ток испаряет влагу. Температуру испарения влаги фиксируют и по ней определяют точку росы.

В практике термических цехов применяются приборы, основанные на изменении электрического сопротивления датчиков при поглощении ими влаги. В качестве поглотителя влаги обычно используют гигроскопическую соль (хлористый литий), которую наносят на специальный датчик.

На рис. 41 изображена схема датчика для контроля точки росы конструкции НИИТАвтомпрома. Датчик состоит из кварцевой трубки 1, покрытой слоем стеклоткани 2, пропитанной концентрированным раствором хлористого лития. Поверх стеклоткани размещены спиральные электроды 3 и 4 из золотой или платиновой проволоки. При контакте датчика с газом хлористый литий поглощает его влагу и превращается в электролит. Между электродами 3 и 4 начинает протекать электроток, который нагревает датчик. При этом поглощенная влага испаряется. Когда содержание влаги в датчике станет меньше, чем в газе, вновь начнется процесс поглощения водяных паров хлористым литием. Этот процесс поглощения и испарения влаги датчиком будет продолжаться до тех пор, пока между влажностью газа и количеством влаги в хлористом литии не установится равновесие. Температуру равновесия (точку росы) зафиксирует термометр сопротивления 5, вмонтированный в кварцевую трубку датчика.

Рис. 41. Схема датчика для контроля точки росы конструкции НИИТАвтомпрома:

1 — трубка кварцевая, 2 — стеклоткань, 3, 4 — электроды, 5 — термометр сопротивления

Приборы с хлористолитиевыми датчиками находят практическое применение и для контроля влажности эндотермической атмосферы, и для регулирования углеродного потенциала печной атмосферы по точке росы. Это имеет важное значение для проведения процессов

ционной цементации и закалки без окисления поверхности обрабатываемых деталей.

В оптико-акустических или инфракрасных газоанализаторах используется свойство газов поглощать лучистую энергию в определенных для каждого газа участках инфракрасной области спектра. Газоанализаторы широко применяют для контроля и регулирования состава газа при цементации и нитроцементации. Отечественной промышленностью выпускаются оптико-акустические (или инфракрасные) газоанализаторы типа ОА для определения содержания CO, CO₂ и CH₄. Погрешность измерения газоанализаторов $\pm 2,5\%$, инертность 0,5 мин.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о структуре закаленной стали.
2. Для каких целей применяют отпуск?
3. Назовите основные виды поверхностного упрочнения деталей.
4. Перечислите основные признаки классификации нагревательных печей.
5. Какие средства механизации применяют в печах непрерывного действия?
6. Расскажите об устройстве и работе приборов для контроля и регулирования температуры.

ГЛАВА III. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ

§ 1. Понятие о производственном и технологическом процессах

Производственный процесс представляет собой совокупность взаимосвязанных действий людей и машин, в результате которых исходные материалы и полуфабрикаты превращаются в готовую продукцию. Производственный процесс включает изготовление заготовок деталей машин (отливок, поковок), различные виды их механической обработки и термического упрочнения, контроль качества, транспортирование и хранение деталей, сборку и испытание машин.

Технологическим процессом термической обработки называют ту часть производственного процесса, которая связана с изменением физичес-

ких и механических свойств обрабатываемых изделий. Технологический процесс состоит из ряда последовательных, выполняемых одна за другой, операций: подготовительных, основных, отделочных и вспомогательных.

К подготовительным операциям технологического процесса относят мероприятия, необходимые для качественного выполнения основных операций термической обработки, а также подготовки материала к работе. Так, к подготовительным операциям перед закалкой относят укладку деталей в приспособление, засыпку их в закалочные ковши, обвязку резьбы, отверстий, разных неровностей тонких сечений шнуровым или листовым асбестом для предохранения деталей от возможного образования закалочных трещин и т. п. Перед цементацией или нитроцементацией и другими видами химико-термической обработки производят подготовительную операцию местной защиты отдельных поверхностей деталей от науглероживания. Детали обмазывают защитной пастой или слоем меди, нанесенным электролитическим способом в гальванических ваннах. Если на деталях после механической обработки имеются остатки масла, эмульсии или загрязнений, то производят промывку в 3—5%-ном горячем водном растворе кальцинированной соды. Промывка является подготовительной операцией.

К основным операциям термической и химико-термической обработки относят нагрев деталей, нормализацию, отжиг, закалку, отпуск, старение, диффузионное насыщение деталей углеродом, азотом, бором и другими веществами.

Под отделочными операциями понимают операции, проводимые для улучшения состояния поверхности и формы деталей после термической обработки. К таким операциям относят очистку деталей от окалины травлением в водных растворах серной или соляной кислот, очистку стальной или чугунной дробью, промывку от закалочных солей и масла в моечных машинах, рихтовку и правку деталей на гидравлических прессах и т. д.

К контрольным операциям термической обработки относят визуальный контроль поверхности деталей на наличие трещин, забоин, отслоений, определение твердости на поверхности и в сердцевине зака-

ленных и отпущенных деталей, контроль глубины и расположения закаленного и науглероженного слоя; контроль макро- и микроструктуры, контроль размеров и форм деталей и т. д.

§ 2. Основные правила разработки технологических процессов термической обработки

Разработку технологического процесса термической обработки деталей начинают с установления маршрутной технологии изготовления деталей. За основу такой разработки берут чертеж и технические условия (ТУ), которым должна отвечать изготавливаемая деталь. Обычно техническими условиями задаются глубина цементованного или закаленного слоя, его твердость, допустимая деформация, шероховатость поверхности и другие показатели.

Затем определяют основные операции и режимы термической обработки, устанавливают дополнительные и вспомогательные операции. Далее выбирают термическое оборудование, приспособления и устанавливают последовательность механической и термической обработки, т. е. определяют место термической обработки в общем производственном цикле изготовления детали. Операции механической обработки при этом не описывают. После выбора основных операций технологического процесса термической обработки составляют последовательный перечень этих операций.

Для получения деталей с заданными свойствами разрабатывают конкретный режим для всех операций с указанием температуры и времени нагрева, времени выдержки и скорости охлаждения.

Кроме основных операций термической обработки в технологическом процессе предусматривают вспомогательные операции — очистку деталей от окалина и масла, правку и контрольные операции. Для отделочных и контрольных операций устанавливают порядок обработки и указывают вид оборудования и приспособления.

§ 3. Выбор оптимальных режимов термической обработки

Для выбора оптимального режима термической обработки деталей намечают несколько технологических

вариантов. Выбранный способ или режим термической обработки должен быть технически и экономически обоснован. Принимают тот режим, который позволяет с наименьшими затратами ручного труда, материалов, энергии и времени получать детали высокого качества. Режимы термической обработки устанавливают в зависимости от того, какими свойствами должно обладать то или иное изделие после термообработки, а также с учетом имеющегося в цехе оборудования и других факторов. Так, после термического упрочнения валы и отверстия, работающие на истирание, измерительные части калибров должны обладать высокой поверхностной твердостью при сохранении вязкой сердцевины. Это требование в условиях конкретного производства может быть выполнено одним из двух вариантов термической обработки: цементацией с последующей закалкой и отпуском или поверхностной индукционной закалкой. По первому варианту калибры изготавливают из цементуемой углеродистой стали 20. После механической обработки их подвергают газовой цементации на глубину 1,0—1,2 мм с последующей закалкой и отпуском до твердости рабочей части HRC62—65. Продолжительность такой обработки более 12 ч. По второму варианту калибры изготавливают из инструментальной углеродистой стали У12А и подвергают индукционной закалке на глубину 1,0—1,2 мм. Полученная твердость рабочей части калибра после низкого отпуска HRC62—65. Общее время обработки при этом составляет 1,5—2 ч.

При выборе режима и способа термообработки предпочтение следует отдать второму варианту, так как при одинаково высоком качестве упрочнения измерительных калибров трудоемкость второго варианта намного ниже трудоемкости первого. После разработки оптимального варианта составляют необходимую технологическую документацию.

§ 4. Технологическая документация и ее виды

Основным документом является технологическая карта процесса термической обработки (табл. 3). В ней приводятся название детали, ее эскиз, марка стали, масса детали, номера и перечень операций, режимы нагрева, среда охлаждения, глубина упрочненного слоя, твердость, указывается оборудова-

3. Типовая технологическая карта термической обработки

Вид цеха	Наименование детали	№ детали	Марка стали	Масса детали, кг	Количество деталей на машину, шт.	Маршрут детали			
Эскиз детали	Технические требования к детали				Расход карбуризатора, м ³ /ч				
	Глубина слоя, мм	HRC	Допустимая деформация, мм	% проверки	Природный газ	Эндотермический газ	Аммиак		
№	Наименование операций	Наименование оборудования	Температура по зонам, °C	№ приспособления	Количество деталей на приспособл.	Темп толкания, мин.	Среда охлаждения	Примечание	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Технолог цеха
Начальник термического цеха

Начальник технической части цеха
Начальник БТК

Утверждаю: Главный металлург завода

ние, приспособления и инструмент, приводятся сведения о длительности технологического процесса. Для особо сложных деталей, подвергаемых термической или химико-термической обработке, разрабатывают карту технологического контроля.

§ 5. Типовые технологические процессы термической обработки осей и валов

Технологические процессы термической обработки коленчатых валов, осей, шпинделей роторов электродвигателей и других подобных деталей назначают в зависимости от формы и размеров деталей, марки стали и от требуемых свойств.

Коленчатые валы автомобильных и тракторных двигателей работают при больших нагрузках, а коренные и шатунные шейки подвержены интенсивному износу. Для повышения прочности и износостойкости

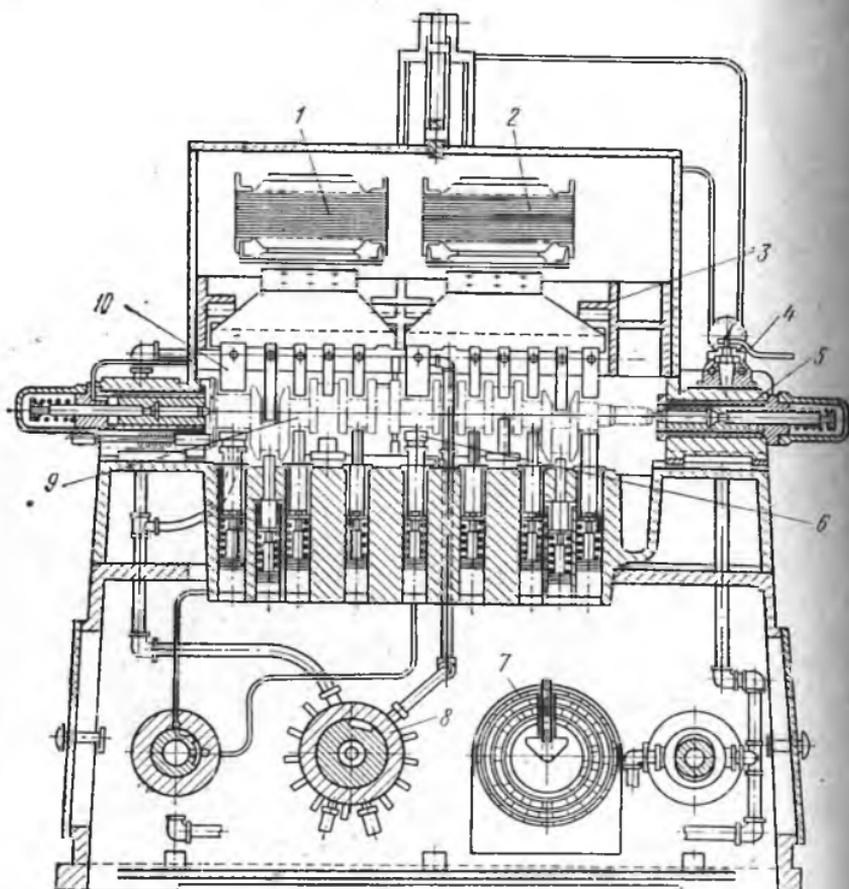


Рис. 42. Схема полуавтоматического закалочного станка:

1, 2 — трансформаторы, 3 — верхняя часть станка, 4 — рукоятка для зажима индукторов, 5 — фиксатор, 6 — нижняя половина индуктора, 7 — коммутатор, 8 — гидравлическая схема, 9 — коленчатый вал, 10 — верхняя половина индуктора

валы подвергают нормализации, а шейки — индукционной закалке.

Закалку коренных и шатунных шеек автомобильных коленчатых валов осуществляют на специальном закалочном полуавтоматическом станке (рис. 42). Станок имеет разъемные части 6 и 10 индуктора, питаемые от трансформаторов 1 и 2, и коммутатор 7. Каждый индук-

пр состоит из двух половин: одна находится в нижней неподвижной части станка, другая — в верхней откидной 3. Закаливается вал 9 укрепляют в центрах фиксатором 5 и зажимают рукояткой 4. При соприкосновении обеих половин индукторов образуется полный магниток, охватывающий шейку вала. Посредством контактов автоматически включается ток и происходит нагрев вала. После отключения тока в индуктор через гидравлическую систему 8 подается вода. Продолжительность нагрева каждой шейки составляет 3,8—7,0 с, а охлаждения — 7—8 с. Процесс нагрева и последующей закалки всех шеек вала продолжается 2,5 мин, глубина закаленного слоя равна 3,5—4,5 мм. При такой закалке происходит самоотпуск шеек, что сокращает время термической обработки валов.

Станок устанавливают в общей технологической линии в потоке обработки коленчатых валов моторного цеха. Производительность станка 20—25 валов в час.

Оси, шпиндели (валы) роторов электродвигателей и другие осевые детали изготавливают из сталей 45, 50Г, 40Х и подвергают термической обработке при нагреве т. в. ч. и газовым пламенем.

§ 6. Типовые технологические процессы термической обработки зубчатых колес

Для изготовления зубчатых колес легковых и грузовых автомобилей применяют легированные цементуемые стали 35Х, 18ХГТ, 12Х2Н4А, 20ХНМ; зубчатые колеса металлорежущих станков и кузнечно-прессового оборудования изготавливают из углеродистых сталей 45, 45Л, 40Х, 40ХН. Целесообразность использования тех или иных сталей объясняется технологическими или эксплуатационными условиями. Обычно мелко модульные колеса автомобилей подвергают химико-термическому упрочнению, крупномодульные (с модулем 10 мм и более) — поверхностной закалке с нагревом т. в. ч. или газовым пламенем.

Термическое упрочнение мелко модульных зубчатых колес из стали 20ХНМ. Зубчатые колеса с модулем 2,5—4,0 мм из стали 20ХНМ подвергают нитроцементации в безмуфельном агрегате, состоящем из однорядной печи с тремя зонами нагрева, закалочного бака, про-

мывочной машины, отпускной печи и камеры для охлаждения колес после отпуска.

Температура нитроцементации в I зоне составляет 770—780°C, во II и III зонах — 840—850°C. В качестве карбюризатора применяют газовую атмосферу, состоящую из смеси эндотермического газа, аммиака и городского природного газа. Расход смеси, м³/ч: эндотермического — 20—21, аммиака — 2,0—2,5, городского — 1,5—2,5. Глубина нитроцементованного слоя за 8 ч достигает 0,9—1,2 мм.

Закалку осуществляют в масляном баке непосредственно после нитроцементации при 840—850°C в масле нагретом до 170—180°C.

Промывку колес для удаления остатков закалочного масла производят в моечной камере 3%-ным водным раствором кальцинированной соды при 80°C.

Отпуск производят в печи при 180—200°C с выдержкой 90 мин. Охлаждение после отпуска — в камере охлаждения агрегата.

Контроль качества включает внешний осмотр (100%), проверку твердости тарированным напильником по вершинам зубьев (100%), проверку на приборе типа Ровелла (5% от числа принятых колес по напильнику), проверку шлицевых отверстий (5—8%).

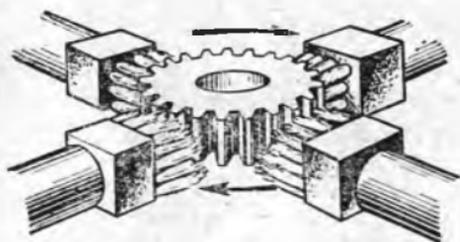


Рис. 43. Закалка зубчатого колеса методом вращения

HRC30—35. Структура слоя: мелкоигльчатый мартенсит, мелкие карбиды и небольшое количество остаточного аустенита, сердцевина зуба — троостосорбит.

Термическая обработка зубчатых колес при газопламенном нагреве. Газопламенная закалка зубчатых колес может осуществляться двумя основными способами: вращательным и поступательным в зависимости от модуля.

На рис. 43 изображена схема закалки зубчатых колес с модулем 4—8 мм из стали пониженной прокаливаемости 55ПП методом вращения. Зубчатое колесо в промытом и очищенном виде устанавливают на рабочий стол закалочной машины между четырьмя

газовыми инжекторными горелками, работающими на пропан-кислородной смеси. Окруженное пламенем горелок колесо быстро вращается и во время вращения нагревается по всему контуру. При достижении 860—870°C рабочий стол с колесом опускают вниз в закалочную воду и нагретые зубья закаляются. Отпуск после закалки производят в электрической печи при 230—

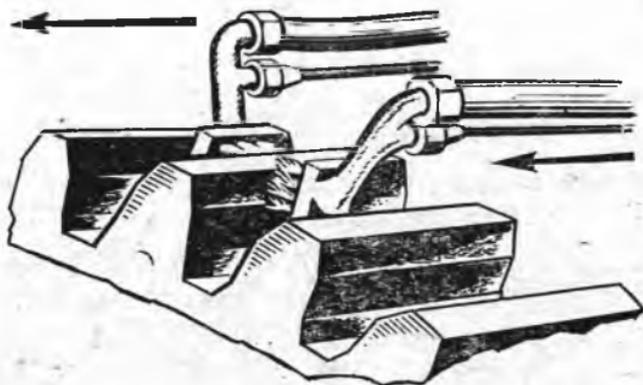


Рис. 44. Закалка зубчатого колеса методом «зуб за зубом»

250°C с выдержкой 90 мин. Глубина закаленного слоя может быть равна от 2,5 до 4,5 мм и зависит от скорости вращения колеса и температуры газового пламени. Твердость поверхности зуба HRC58—60, а сердцевины HRC28—32. Микроструктура закаленного слоя — мелкокогальчатый мартенсит, сердцевины — пластинчатый перлит и феррит.

Крупные зубчатые колеса с модулем 10—30 мм изготовляют из конструкционной литой стали 45Л и закаляют последовательным методом «зуб за зубом» посредством модульной газовой горелки. На рис. 44 изображена схема закалки зубьев зубчатых колес из стали 45Л с модулем 30 мм, диаметром начальной окружности 3120 мм, длиной зуба 330 мм и числом зубьев 102.

Термическую обработку колес выполняют в такой последовательности:

1. Устанавливают колесо на стэнд мостовым краном.
2. Подогревают зубья до 200—250°C пламенем горелки для снятия внутренних напряжений после механической обработки. Скорость подогрева 280—300 мм/мин.

3. Окончательно нагревают до 860—880°C. Скорость нагрева 90—95 мм/мин. Давление кислорода 5 атм (505 кПа), ацетилена 1,1 атм (111,1 кПа).

4. Охлаждают водой из спрейера. По окончании закаливания одного зуба колесо поворачивают на второй зуб, третий и т. д.

5. Производят отпуск при 180—200°C пламенем горелки. Скорость нагрева 550—600 мм/мин.

6. Проверяют твердость закаленного зуба тарированным напильником. Твердость закаленного зуба HRC56—58, микроструктура — мартенсит тонкого строения, глубина закаленного слоя 4,5—5,5 мм.

§ 7. Типовые технологические процессы термической обработки инструмента

Для механической обработки металлов резанием, горячей и холодной штамповки применяют разнообразные инструменты: режущий, измерительный и штамповый.

К режущему инструменту относят резцы, сверла, метчики, фрезы, протяжки и т. п.; к измерительному — скобы, калибры, плитки, пробки; к штамповому — ковочные штампы, пуансоны, матрицы и т. д.

Материалами для изготовления инструмента служат инструментальные и штамповые углеродистые и легированные стали. Для повышения прочности и износостойкости инструмент подвергают термическому упрочнению.

Термическая обработка сверл из стали 9ХС. Закалку сверл производят ступенчато в соляных печах-ваннах посредством приспособлений (рис. 45). Состав расплавленной соли: 78% хлористого бария и 22% хлористого натрия. Термическую обработку ведут в такой последовательности.

1. Подогревают до 350—400°C в приспособлениях по 15 сверл и выдерживают их 1,5—1,6 мин. Окончательно нагревают до 840—850°C и выдерживают 1,2—1,4 мин. Охлаждают сверла в масле.

2. Промывку от остатков солей и масла производят в моечных машинах 3%-ным водным раствором кальцинированной соды при 80°C.

3. Отпуск для снятия внутренних напряжений осуществляют в шахтных электропечах СШО-6.6/7 в сетчатых металлических корзинах. Масса одной партии сверл 50—60 кг. Выдержка 90 мин при температуре 180°C,

4. Для улучшения чистоты поверхности сверла подвергаются очистке мелкой стальной или чугунной дробью.

5. Сверла контролируют по биению и на твердость по Роквеллу. Твердость рабочей части HRC62—65, хвостовика HRC35—45.

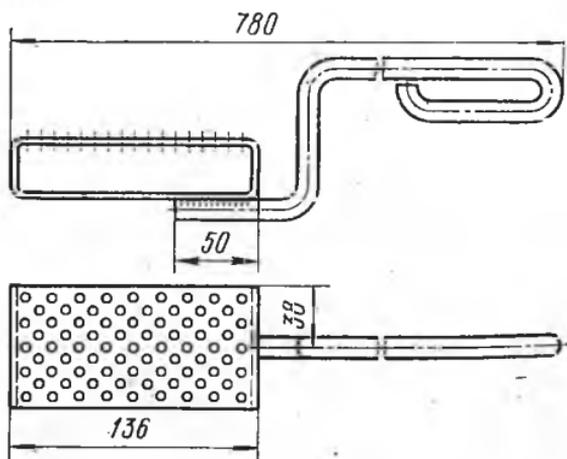


Рис. 45. Приспособления для закалки сверл

Термическая обработка калибров из стали ХГ. В процессе эксплуатации калибры подвергаются интенсивному износу, так как их рабочая часть непосредственно соприкасается с поверхностью проверяемой детали. Изготавливают калибры из стали 20, 20Х, ХГ, ХВГ. Рассмотрим этапы термической обработки калибров диаметром 25—30 мм из стали ХГ.

1. Закалка: подогрев до 350—450°C в соляных ваннах в приспособлениях по 10 шт., время подогрева 12—14 мин. Окончательный нагрев до 840—850°C, выдержка 5,5—6,0 мин. Охлаждение в масле.

2. Промывка от остатков солей и закалочного масла в моечных машинах 3%-ным водным раствором кальцинированной соды при 80°C.

3. Отпуск в сетчатых металлических корзинах. Масса одной партии калибров 100—120 кг. Выдержка 90 мин при температуре 180—190°C.

4. Старение производят после предварительной шлифовки калибров для снятия внутренних напряжений и для стабилизации размеров инструмента. Старение осу-

ществляют в масляных ваннах при 150°C в течение 18—24 ч.

5. Калибры контролируют визуально на наличие микротрещин и на твердость по Роквеллу. Твердость рабочей части HRC62—65, сердцевины HRC35—45, микроструктура — мелкозернистый мартенсит и мелкие, дисперсионно распределенные карбиды.



Рис. 46. Защита ковочных молотовых штампов от окисления и обезуглероживания

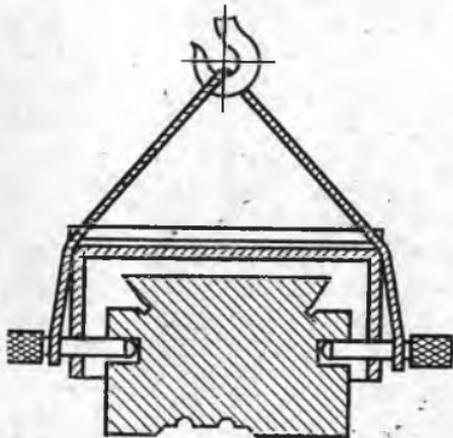


Рис. 47. Схема подвески ковочных молотовых штампов при закалке

5ХНМ достаточно сложная и состоит из следующих основных операций.

Закалку производят с подогревом до $600\text{--}650^{\circ}\text{C}$ в камерных электрических печах. Для уменьшения окисления и обезуглероживания рабочую поверхность штампа защищают. На поддон или железную коробку 1 насыпают отработанный твердый карбюризатор 2 и на него укладывают штамп 3 (рис. 46). Затем окончательно его нагревают до $830\text{--}860^{\circ}\text{C}$ и охлаждают в масле, имеющем температуру $120\text{--}150^{\circ}\text{C}$. Погружение

Термическая обработка кованых штампов из стали 5ХНМ. Кузнечные молотовые штампы деформируют металл, нагретый до $1150\text{--}1250^{\circ}\text{C}$. В процессе горячей штамповки штампы испытывают ударные нагрузки и постоянное воздействие горячего металла. Поэтому для изготовления кованых штампов применяют разгаростойкие штамповые стали 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХГТ, обладающие достаточным сопротивлением пластической деформации, высокой теплостойкостью и разгаростойкостью, т. е. высоким сопротивлением термической усталости. Термическая обработка кованых штампов из стали

штампа в масляный бак производят на тросе рабочей поверхностью вниз (рис. 47). Во время охлаждения штамп находится на весу. После закалки штампы немедленно загружают в отпускную печь. Продолжительность нагрева и выдержки при закалке зависят от размеров штампов и колеблются для штампов со стороной 600 мм в следующих пределах: выдержка после загрузки в печь 60—90 мин, нагрев до температуры закалки 12—13 ч, выдержка при этой температуре 2,5—3,0 ч.

Отпуск рабочей части штампа осуществляют при 630—550°C в электропечи. Продолжительность нагрева при отпуске (общая) 15—18 ч. Хвостовую часть штампов дополнительно отпускают на металлической плите или в специальном приспособлении при температуре 630—650°C. Твердость рабочей части штампа HRC39—43, хвостовика HRC25—28.

Контроль качества на наличие поверхностных микротрещин производят на магнитном дефектоскопе, контроль твердости — на приборе Роквелла и тарированным напильником.

§ 8. Технологические процессы термической обработки отливок и поковок

Термическая обработка чугунных отливок находит все большее применение. Важным параметром термической обработки чугуна является скорость нагрева и охлаждения. Для чугунных отливок рекомендуется пониженная скорость нагрева и охлаждения, особенно в интервале температур от 20 до 500°C. Продолжительность выдержки чугунных отливок после достижения заданной температуры должна быть минимальной, но достаточной для протекания превращений. Увеличенная выдержка может привести к разложению цементита и ухудшению качества чугуна. Термической обработке подвергают в основном отливки из серого и высокопрочного магниевого чугунов.

Термическая обработка отливок из серого чугуна СЧ 18—36. В чугунных отливках после затвердевания остаются внутренние напряжения. Эти напряжения вызывают коробление и трещины в деталях при их эксплуатации. Для снятия внутренних напряжений отливки подвергают термической обработке.

Низкотемпературный отжиг или искусственное старение проводят в камерных и методических электрических печах для снятия внутренних напряжений и придания металлу стабильных свойств. Температура отжига 500—600°C. Скорость нагрева от 70 до 100°C/ч. Выдержка 3—12 ч в зависимости от конфигурации и массы отливки. Охлаждение в печи 20—50°C/ч до 230—250°C, далее — на спокойном воздухе.

Отжиг графитизирующий высокотемпературный осуществляют в пламенных конвейерных печах для снижения твердости, повышения пластичности и улучшения обрабатываемости режущим инструментом. Температура нагрева 880—950°C, скорость нагрева 90—100°C/ч до 550°C, далее скорость увеличивается. Время выдержки 1—5 ч. Охлаждение вместе с печью для получения структуры ферритно-перлитовой смеси и графита.

Закалку чугуна производят при 860—930°C. Выдержка 0,5—3 ч после прогрева; охлаждение в воде или масле. Отпуск при температуре 250—500°C в зависимости от требуемой твердости. Структура — мелкоигольчатый мартенсит и графит, твердость HRC55—60.

Кроме объемной закалки изделия из серого и высокопрочного чугуна с шаровидным графитом подвергают поверхностной индукционной закалке, газопламенной закалке, а также азотированию, алитированию и диффузионному хромированию.

Термическая обработка стальных отливок. Стальные отливки подвергают первичной термической обработке: нормализации, отжигу и улучшению и окончательной цементации, нитроцементации и поверхностной закалке. Наиболее распространенным видом термической обработки стальных отливок является нормализация.

Нормализацию отливок из стали 45Л, получаемых литьем по выплавляемым моделям, применяют для снятия внутренних напряжений, улучшения обрабатываемости отливок режущим инструментом и для подготовки структуры к дальнейшей термической обработке.

Литьем по выплавляемым моделям для легкового автомобиля «Москвич-2140» получают свыше 70 деталей: храповик, коромысло толкателя, шаровую опору

стойки передней подвески, зубчатое колесо стеклоподъемника и др. Все эти отливки подвергают в основном нормализации в конвейерных электрических и пламенных газовых печах. Температура нагрева в I зоне $900 \pm 10^\circ\text{C}$, II зоне $850 \pm 10^\circ\text{C}$. Общее время нагрева 90—100 мин. Охлаждение на спокойном воздухе. Структура после нормализации состоит из сорбитообразного перлита или сорбита и свободного феррита. Твердость HB193—208. Отливки из легированных сталей (40ХЛ, 40ХНТЛ, 30ХГСЛ и др.) подвергают полному отжигу.

Термическая обработка поковок. Кузнечные поковки автомобильных и тракторных деталей изготавливают из углеродистых и легированных сталей. Поковки штампуют на паровоздушных молотах и кривошипных коночно-штамповочных прессах при температуре 1150—1250°C. Поковки подвергают обязательной термической обработке — нормализации или отжигу.

Нормализации подвергают все поковки из углеродистых (20, 35, 45) и низколегированных (40Х, 40ХН и др.) сталей, которые затем проходят улучшение или поверхностную закалку. Нормализацию проводят в термическом отделении кузнечного цеха в конвейерных электропечах или печах, обогреваемых природным городским газом; печи имеют две зоны нагрева. Технологический процесс нормализации состоит из следующих основных операций: укладки 100—120 кг поковок на поддон печи, нагрева в I зоне до 870—890°C, нагрева во II зоне до 840—860°C, охлаждения на спокойном воздухе, контроля качества твердости (выборочно 3—5% от партии) по Бринеллю или на приборе ЭМИД-4 и внешний осмотр. Твердость HB196—210.

Изотермическому отжигу подвергают поковки зубчатых колес, коробки передач, заднего моста, крестовины кардана, валов сошки рулевого управления и др. Такие поковки изготавливают из легированных сталей 20ХГНМ, 19ХГМ, 30ХМ, 20ХНМ. Основной целью изотермического отжига является снятие внутренних напряжений, улучшение структуры и придание металлу определенной твердости. Изотермический отжиг поковок проводится на линии непрерывного действия, состоящей из высокотемпературной печи аустенизации, холодильника, томильной печи или печи изотермической выдержки с холодильной камерой и устройства возврата пустых поддонов от выгрузки из томильной печи до заг-

рузки в печь аустенизации. Линия полностью автоматизирована.

Последовательность отжига следующая.

1. Укладывают поковки на поддон. Масса загрузки на поддон составляет 110—120 кг.

2. Поддон с поковками поднимают до уровня толкача печи аустенизации.



а)



б)

Рис. 48. Микроструктура поковок зубчатых колес из стали 20ХГМ
а — до изотермического отжига, б — после изотермического отжига

3. Поддон загружают в аустенизационную печь на трехрельсовом пути. Время загрузки составляет от 10 до 12 мин.

4. Нагревают поковки до 870—890°C и выдерживают 45—60 мин.

5. Проталкивают поковки на поддонах в холодильную камеру и охлаждают их до 600—620°C.

6. Передают поковки в томильную печь, имеющую температуру 620°C, и выдерживают их 50—60 мин.

7. Проталкивают поковки на поддонах в холодильную камеру и охлаждают их до 200°C.

8. Охлаждают поковки на спокойном воздухе.

9. Разгружают поддоны и возвращают их. Поддоны освобожденные от поковок, выходят из камеры охлаждения, устанавливаются на опрокидыватель и посредством специального устройства возврата подаются на позицию загрузки. Загрузку осуществляют вручную. После новой загрузки поддонов цикл отжига повторяется.

10. Поковки после отжига проверяют на твердость (выборочно) на приборе Бринелля и на структуру металлографическим методом. После изотермического отжига поковки имеют равномерную перлитно-сорбитную структуру (рис. 48), твердость HB176—187.

Контрольные вопросы

1. Что такое производственный процесс?
2. Назовите основные правила, применяемые при разработке технологических процессов.
3. Расскажите о типовом процессе термической обработки зубчатых колес.
4. Для чего производят искусственное старение отливок?
5. Укажите назначение нормализации и изотермического отжига поковок.

ГЛАВА IV. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

§ 1. Визуальные методы контроля

Внешний осмотр. Этот метод контроля невооруженным глазом позволяет выявить сравнительно грубые дефекты: волосовины, т. е. продольные трещины, расположенные на поверхности в виде прямых линий по направлению волокон (рис. 49), закалочные трещины — разрывы металла, вызванные перегревом металла или повышенной скоростью охлаждения, особенно деталей сложной формы и др. Отличительным признаком закалочных трещин является извилистая форма (рис. 50).

При осмотре обнаруживают также отклонения от допустимого внешнего вида термически обработанной поверхности. На валах или зубчатых колесах эти отклонения могут представлять собой рябоватость, пятнистую окалину (шагреновая кожа), разъеденные закалочными солями места, забоины, отслоения закаленного слоя и др.

Оптико-визуальный метод контроля. Видимость любого предмета определяется его яркостью, угловыми размерами, четкостью контуров, а также продолжительностью видения и другими факторами. Минимальный различаемый глазом яркостный контраст предмета и фона принято называть порогом контрастной чувствительности зрения. Для большинства людей он составляет 1—2%. Для контролеров, систематически за-

нимающихся контролем, этот порог составляет более 5%. Однако некоторые дефекты имеют контраст менее реального порогового значения, поэтому они не могут быть обнаружены невооруженным глазом. Даже при хорошем контрасте и правильном освещении человеческий глаз способен различать лишь те элементы исследуемого изделия, угловой размер которых выше некоторой величины. Эту величину называют остротой

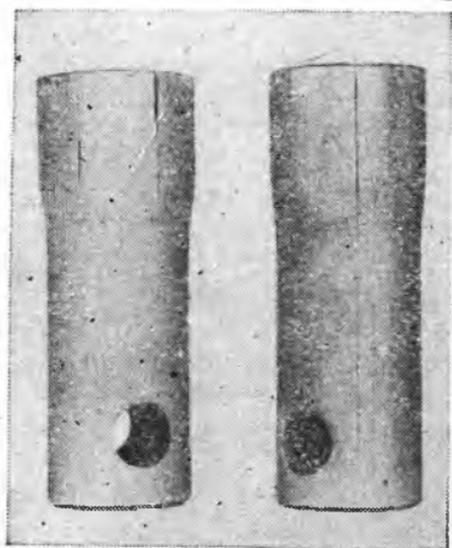


Рис. 49. Волосовины на поверхности заготовок торцовых ключей

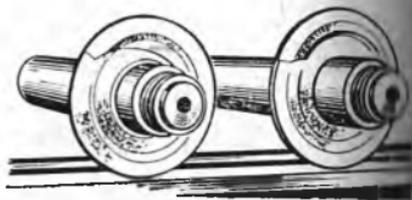


Рис. 50. Внешний вид закалочных трещин, возникших при закалке

зрения. Средняя острота зрения человека составляет $2'$. При остроте зрения, например, равной $2'$, глаз может различать фигуры размером не менее 0,15 мм на расстоянии 250 мм.

Применение оптических приборов позволяет увеличить угловые размеры контролируемого объекта. Остроту зрения при этом увеличивает оптический прибор. Для визуального осмотра изделий применяют различные оптические приборы: лупы, бинокулярные микроскопы, эндоскопы, перископы и др.

Оптической лупой называют увеличительное двояковыпуклое стекло. Применяют лупу при оптико-визуальном контроле близко расположенных объектов, а также для общего осмотра и поиска крупных дефектов — трещин, забоин, пор, коррозионных повреждений и т. д. Оптические обзорные складные лупы (ЛПК-471, ЛП-1 и др.) состоят из линзы с увеличением от 1,5 до

7, заключенной в оправу с ручкой. Для получения стереоскопического изображения применяют бинокулярные линзы типа БЛ-2 (рис. 51). На лупе имеется осветитель,

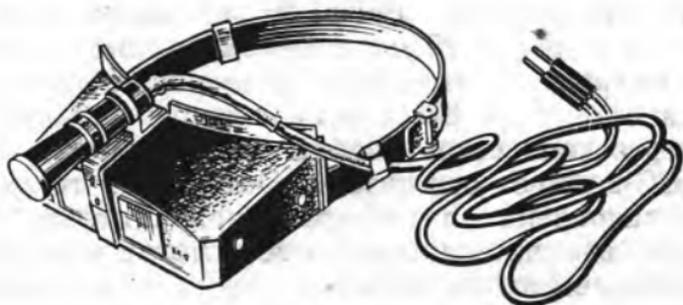


Рис. 51. Бинокулярная лупа БЛ-2

позволяющий осматривать изделие в условиях плохой освещенности.

Контролер, пользующийся лупой, располагает ее у поверхности изделия 2 (рис. 52) так, чтобы расстояние между ними было

немного меньше фокусного расстояния f . При этом он видит увеличенное прямое

мнимое изображение предмета 1, которое получается на расстоянии наилучшего зрения D , т. е. на расстоянии, когда нормальный глаз отчетливо

видит предмет. С повышением увеличения лупы

улучшается разрешающая способность зрения, т. е. возрастает способность глаза различать отдельно близко расположенные точки, линии и другие объекты.

Бинокулярным микроскопом называют оптический прибор, предназначенный для рассматривания малых предметов, невидимых невооруженным глазом. Микроскопы используют в стационарных условиях для определения вида поверхностных дефектов, обнару-

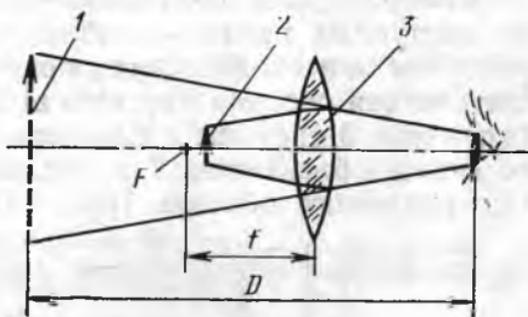


Рис. 52. Схема осмотра с применением лупы:

1 — мнимое изображение, 2 — объект контроля, 3 — лупа; F — фокус лупы, f — фокусное расстояние, D — расстояние наилучшего зрения

женных на изделиях каким-либо методом дефектоскопии, а также для поиска дефектов, если зона контроля очень мала.

В термических цехах в основном применяют бинокулярные микроскопы БМ-51-2, имеющие увеличение $8,75\times$ и поле зрения 25 мм, и бинокулярные стереоскопические микроскопы типа МБС-2, имеющие диапазон увеличения от $3,5\times$ до $88\times$ и позволяющие наблюдать прямое стереоскопическое изображение объекта. Микроскоп МБС-2 имеет осветитель. Оптическая головка прибора установлена на универсальном штативе, который позволяет изменять направление осмотра и осматривать детали диаметром до 400 мм.

Для контроля удаленных объектов в автомобильных и тракторных двигателях, турбинных лопатках применяют телескопические лупы, состоящие из двух частей — объектива и окуляра. Телескопическая лупа является многоцелевым прибором. Она устанавливается на штативе как микроскоп монокулярный. Наибольшее распространение для контроля удаленных объектов находят телескопические лупы ЛПШ-474 и ТЛА.

Контроль деталей и элементов машин и конструкций, не доступных прямому наблюдению, выполняют посредством телескопических приборов — эндоскопов. Оптическая система простого эндоскопа состоит из телескопической системы и плоского зеркала 1, размещенного перед объективом 2 и отклоняющего лучи от рассматриваемого объекта (рис. 53). Изменяя наклон зер-

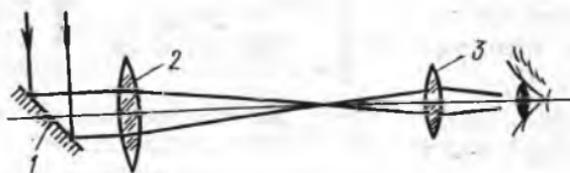


Рис. 53. Оптическая система простого эндоскопа:

1 — зеркало, 2 — объектив, 3 — окуляр

кала, можно изменять угол отклонения лучей. По сравнению с обычными телескопическими системами оптическая система эндоскопов должна удовлетворять двум дополнительным требованиям, усложняющим их конструкцию. Эти приборы должны давать изображение не

перевернутое, а прямое, что достигается применением оборачивающих систем. Второе требование заключается в том, что эндоскоп должен иметь большое поле зрения, хотя его оптическая система заключена в узкую трубу. Обеспечивается это требование тем, что в приборе свет проходит вдоль трубы через систему линз.

По форме корпуса и степени жесткости эндоскопы принято разделять на четыре типа: 1 — жесткие прямые, 2 — жесткие коленчатые с постоянным углом колена, 3 — жесткие коленчатые с изменяемым углом колена, 4 — гибкие.

Жесткие прямые эндоскопы выпускаются без призм или с одной призмой, установленной перед объективом. Призма может быть неповоротной или качающейся.

Жесткие коленчатые эндоскопы с постоянным или изменяющимся углом колена имеют как минимум две призмы: перед объективом (неповоротная или качающаяся) и в средней части оптической системы. В коленчатых эндоскопах предусматриваются однотипные вставки с призмами, дающими отклонение лучей оптической системы на различные углы (40, 45, 105° и т. д.).

К жестким коленчатым эндоскопам относят перископические дефектоскопы. На рис. 54 изображен общий

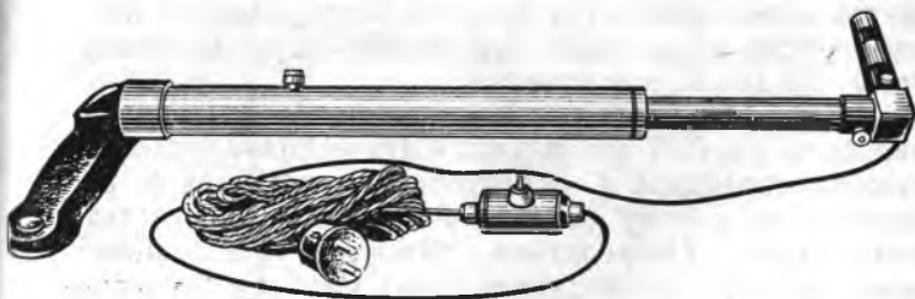


Рис. 54. Перископический дефектоскоп ПДК-60

вид перископического дефектоскопа ПДК-60. В приборе два колена, которые дают изменение хода лучей на 90 или 75°. Объективная часть эндоскопа переменной длины, подобно подзорной трубе. В средней его части имеется подвижная оборачивающая система, перемещением которой обеспечивается наводка на резкость.

Дефектоскоп имеет увеличение до $2,5^x$ и поле зрения 40—110 мм. Конструкция прибора и его оптическая система позволяют производить осмотр скрытых дефектов, например прогаров, трещин и других разрушений в камерах пусковых форсунок, а также исследование болтов шатунной группы автомобильных двигателей и других объектов.

Гибкие эндоскопы содержат жгуты из оптически прозрачных волокон диаметром менее 0,3 мм, называемых световодами. Волокна покрыты оболочкой, хорошо (почти на 100%) отражающей свет, например оболочка из индия (рис. 55). Лучи света, падающие на



Рис. 55. Схема хода луча в световоде:

1—световедущая жила, 2—оболочка

один торец такого волокна, в результате полного внутреннего отражения от поверхности раздела жилы и оболочки распространяются вдоль волокна до противоположного торца. В жгутах, применяемых для передачи света к исследуемому объекту, оптические волокна расположены беспорядочно. В

жгутах для передачи изображения волокна располагаются упорядоченно и идентично на обоих торцах. Следует отметить, что при этом светопропускание не изменяется и не нарушается четкость передаваемого изображения, если радиус кривизны изгиба жгута не превышает 20—30 диаметров волокна.

На рис. 56 изображена схема гибкого эндоскопа. Эндоскоп состоит из жгутов оптических волокон 2, 3, головки объектива 4, окуляра 1, осветителя 6, от которого свет в зону осмотра 5 подается по осветительному жгуту. Посредством рукоятки, расположенной около окуляра, объективная часть прибора может изгибаться в одной плоскости на угол $\pm 120^\circ$. Прибор заключен в защитную оболочку, выполненную из полихлорвинила.

Перед исследованием, например внутренней полости камеры сгорания авиационного двигателя, необходимо проверить готовность эндоскопа и работу источника света, осмотрев на эндоскопе эталон, имеющий характерные дефекты. Убедившись, что прибор работает, контролер приступает к проверке. Для этого, держа в ле-

руке эндоскоп, он посредством рукоятки 2 прибора подводит головку объектива 5 в смотровое отверстие 3 двигателя (рис. 57). Далее нажатием кнопки, вмонти-

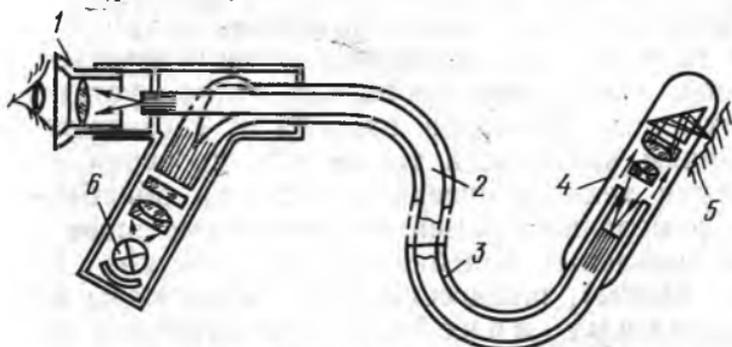


Рис. 56. Схема гибкого эндоскопа:

1 — окуляр, 2, 3 — жгуты волокон регулярной и нерегулярной укладки, 4 — головка объектива, 5 — объект контроля, 6 — источник света

рованной на рукоятке, включает источник света и производит визуальный осмотр участков камеры сгорания. При этом объектив эндоскопа контролер перемещает

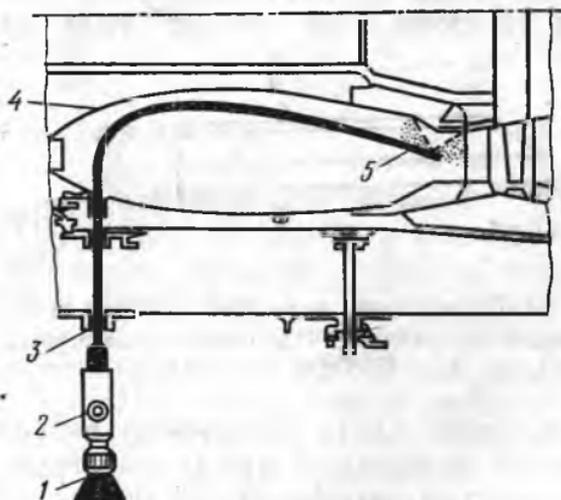


Рис. 57. Осмотр камеры сгорания авиационного двигателя гибким эндоскопом:

1 — окуляр, 2 — рукоятка, 3 — смотровое отверстие, 4 — камера сгорания, 5 — объектив

вдоль камеры и непрерывно поворачивает зеркало, изменяя угол направления осмотра (обзора) от 90 до 360°.

§ 2. Контроль размеров и выявление деформаций деталей

Сущность любого контроля состоит в том, что измеряемая величина количественно сравнивается с другой величиной. Измерения производят для установления действительных размеров изделия и соответствия требованиям чертежа, а также для проверки точности выполнения технологических процессов обработки.

Для измерений применяют различные виды инструментов: лекальные линейки, щупы, жесткие калибры (пробки, скобы), штангенциркули, микромеры и др.

Лекальные линейки используют для контроля прямолинейности и плоскостности небольших поверхностей изделий методом световой щели. Например, посредством линейки проверяют коробление дисков небольших и средних ковочных штампов после закалки. Проверку осуществляют следующим образом. Контролер берет закаленный штамп, очищает поверхность от загрязнений обтирочными концами и прикладывает линейку рабочей кромкой к контролируемой поверхности (рис. 58). За линейкой 1 на уровне глаз контролера

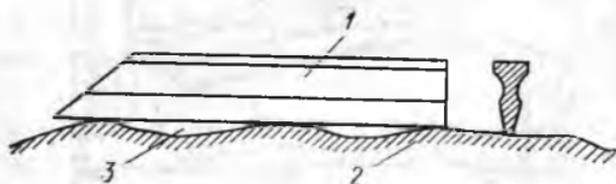


Рис. 58. Определение величины световой щели:
1 — лекальная линейка, 2 — измеряемая поверхность,
3 — величина просвета

расположен источник света. Контролер визуально наблюдает величину просвета 3 между линейкой и проверяемой поверхностью штампа 2. Величина просвета и ее неравномерность показывают степень коробления. Величину этого просвета определяют по «эталоны просвета». При определенном навыке этим методом контроля можно обнаружить коробление в пределах 2—3 мкм.

Щупы предназначены для определения величины зазора между двумя поверхностями контактным методом. Щуп представляет собой стальную с параллель-

ими плоскостями пластинку определенной толщины. Обычно щупы комплектуют в набор в порядке возрастания их толщины. На рис. 59 изображен набор щупов в обойме, а на рис. 60 приведена схема контроля перпендикулярности сторон детали щупом.

Калибрами называют бесшкальные измерительные инструменты, предназначенные для измерения детали по одному и тому же размеру. Наиболее широко

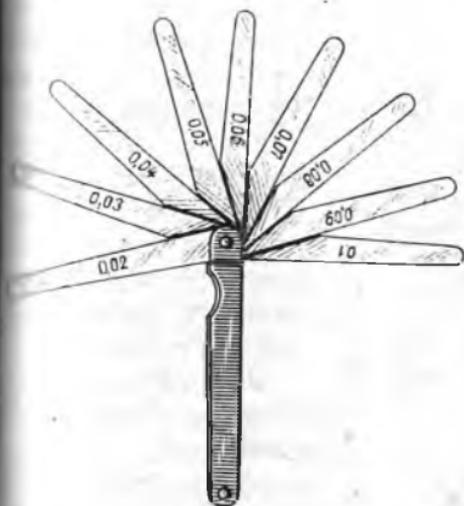


Рис. 59. Набор щупов в объеме

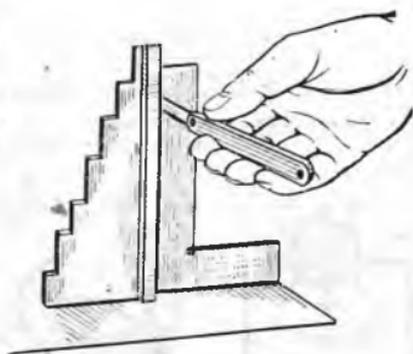


Рис. 60. Схема контроля перпендикулярности щупом

применяют калибры в массовом и серийном производстве для контроля размеров, формы и взаимного расположения поверхностей.

Калибры делят в основном на две группы: пробки для проверки отверстий и скобы для контроля валов. Предельные калибры имеют две измерительные части, из которых одна изготовлена с наибольшим, а другая — с наименьшим предельным размером детали. Одну измерительную часть калибра называют проходной (сокращенно обозначается ПР), другую — непроходной (НЕ).

Проходная сторона ПР скобы имеет размер, равный наибольшему предельному размеру вала, а непроходная НЕ — наименьшему предельному размеру вала. По своей конструкции скобы делят на листовые односторонние (рис. 61, а) и штампованные двусторонние (рис. 61, б). На рис. 62 изображена схема контроля

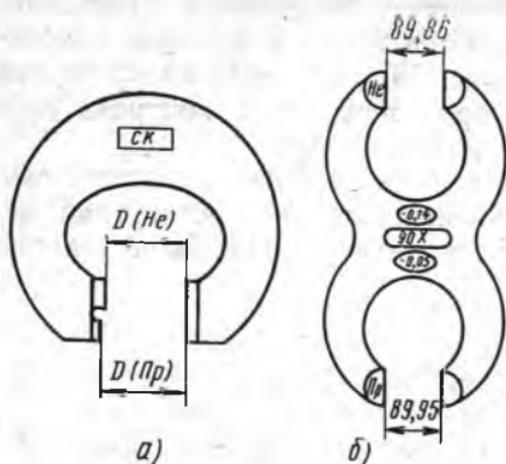


Рис. 61. Скобы для контроля валов: а — листовая односторонняя, б — штампованная двусторонняя

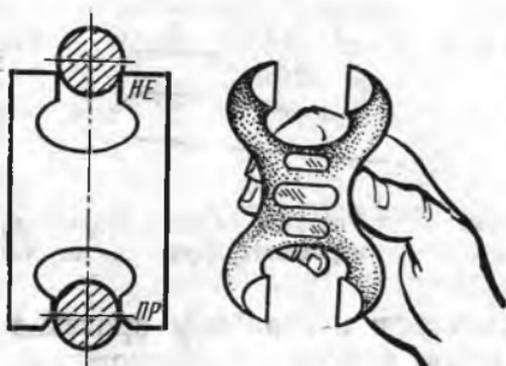


Рис. 62. Прием контроля вала предельной скобой

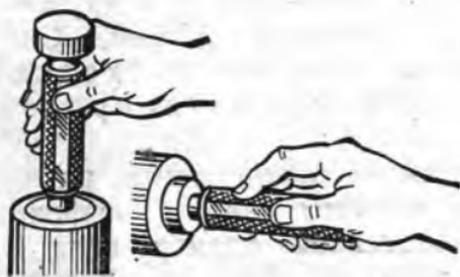


Рис. 63. Приемы контроля отверстия гладкой пробкой

Диаметра вала определенной двусторонней скобой. Вал должен входить свободно, без усилия проходит между концами скобы ПР и не проходит между концами скобы НЕ. При помощи скобы нельзя прикладывать к валу чрезмерных усилий так как это может исказить результаты измерений и привести к преждевременному износу измерительных поверхностей инструмента.

Пробки применяют для измерения отверстий, например, для измерения внутренних отверстий зубчатых колес перед цементацией и после цементации и закалики. Для контроля выбирают 5—10 деталей из партии 200—300 шт. Пропускная сторона пробки ПР должна проходить в отверстие, а непроходная сторона НЕ — не должна проходить. На рис. 63 изображены приемы контроля диаметра отверстия втулки гладкой пробкой. При измерении нельзя

вбивать пробку в отверстие, так как это может вызвать деформацию проверяемого изделия.

В термических цехах предприятий массового производства обрабатывается большое количество зубчатых колес и валов со шлицевыми соединениями. Для контроля таких соединений, как правило, используют жесткие комплексные калибры. Комплексные калибры являются только проходными, ими проверяют взаимное положение (равномерность шага) и перекося шлицев. Такие калибры служат как бы образцом сопряжения

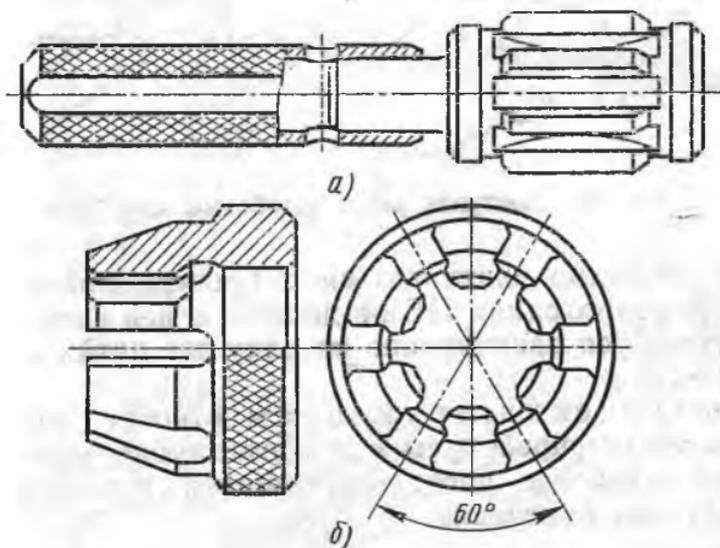


Рис. 64. Комплексные калибры для контроля шлицевых соединений:

а — пробка, б — кольцо

деталей. Шлицевые отверстия зубчатых колес проверяют комплексными калибрами-пробками (рис. 64, а), шлицевые валы — комплексными калибрами-кольцами (рис. 64, б). Методика контроля шлицевых соединений аналогична контролю гладких валов и отверстий. Шлицевая деталь считается годной, если комплексный калибр входит в отверстие или надевается на вал после предварительной проверки по элементам. Наружные диаметры детали измеряют скобами, внутренний диаметр — гладкими пробками, ширину шлиц — скобами и шаблонами.

Для проверки внутренних и наружных резьб применяют резьбовые калибры (пробки и скобы). Резьбовые калибры, так же как и гладкие пробки и

скобы для контроля отверстий и валов, имеют проходные ПР и непроходные НЕ стороны. Проходные резьбовые пробки имеют полный профиль и большую длину. Непроходные резьбовые пробки имеют укороченный профиль и длину. Непроходное кольцо также короткое и имеет посередине выточку. В процессе контроля резьбы (рис. 65) проходная сторона ПР резьбовых калибров



Рис. 65. Контроль резьб резьбовым калибром

должна свободно свинчиваться с проверяемой поверхностью, а непроходная НЕ не должна с ней свинчиваться (допускается ввинчивание на одну-две нитки с торца детали).

К штангенинструментам относят штангенциркули, штангенрейсмусы и штангенглубиномеры. Они являются наиболее распространенными универсальными средствами измерения.

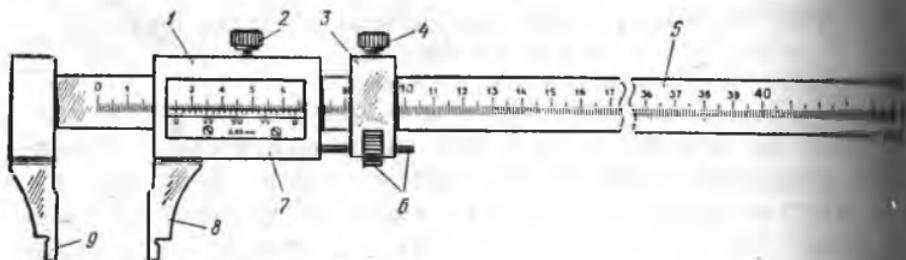


Рис. 66. Штангенциркуль ШЦ-III:

- 1, 3 — рамки, 2, 4 — зажимы рамки, 5 — штанга, 6 — гайка с винтом микрометрической подачи, 7 — нониус, 8 — губка рамки, 9 — губка штанги

На рис. 66 изображен штангенциркуль ШЦ-III с пределами измерений 0—400 мм. Он предназначен для наружных и внутренних измерений и для измерения глубины. Характерной особенностью штангенциркуля является наличие линейного нониуса (дополнительной шкалы) для отсчета целых и дробных величин.

При измерении наружных размеров проверяемое изделие охватывается плоскостями 2 губок 1 и 3 (рис. 67, а), для чего рамку 4 перемещают по штанге 6, затем винтом 7 стопорят на ней хомутик 8 и, вращая

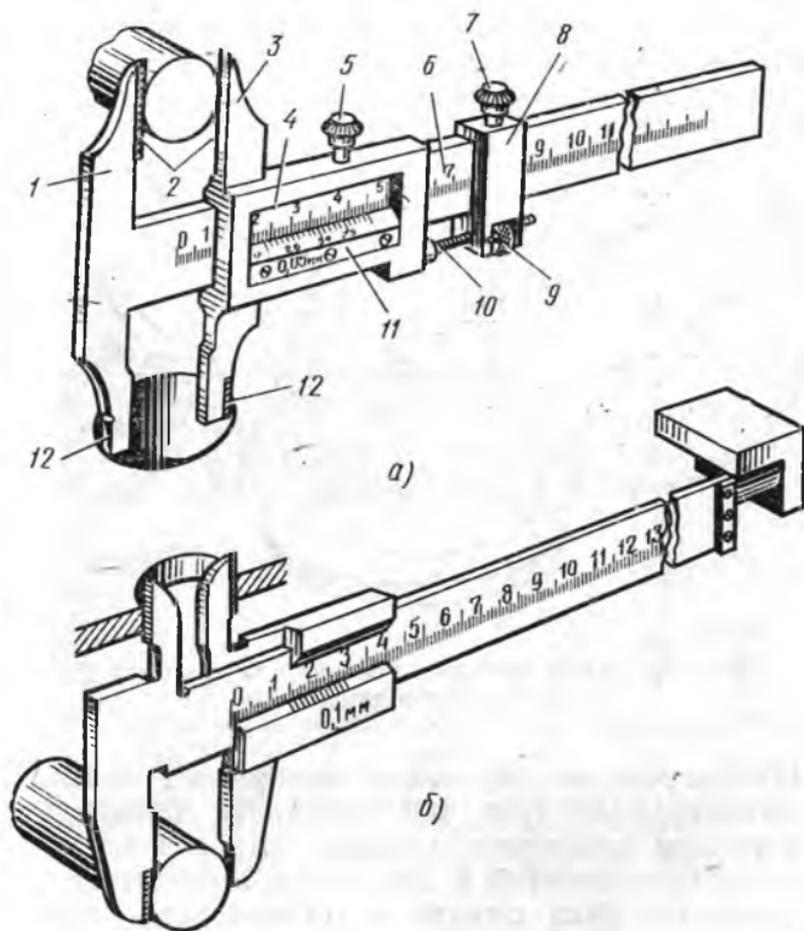


Рис. 67. Штангенциркули:

а — с точностью измерения до 0,05 мм, б — универсальный с точностью измерения до 0,1 мм; 1 — плоская губка (левая), 2 — измерительные плоскости, 3 — плоская губка (правая), 4 — рамка передвигающаяся, 5 — винт, 6 — штанга, 7 — винт стопорный, 8 — хомутик, 9 — гайка, 10 — винт, 11 — нониус, 12 — измерительные плоскости губок

гайкой 9 винт 10, передвигают рамку 4 по штанге до соприкосновения губок с изделием. После этого закрепляют рамку 4 на штанге винтом 5 и производят отсчет полученного результата по показаниям штанги и нониуса 11. При одновременно закрепленных винтах 5 и 7

гайку 9 вращать нельзя, так как это приведет к срыву резьбы гайки 9 и винта 10.

Для измерения внутренних диаметров служат измерительные плоскости 12 губок 1 и 3. В этом случае приемы измерения те же, что и при измерении наружных диаметров, только к полученному отсчету нужно прибавить еще общую ширину губок, которая составляет 10 или 12 мм и обозначается на лицевой стороне нижней части губок.

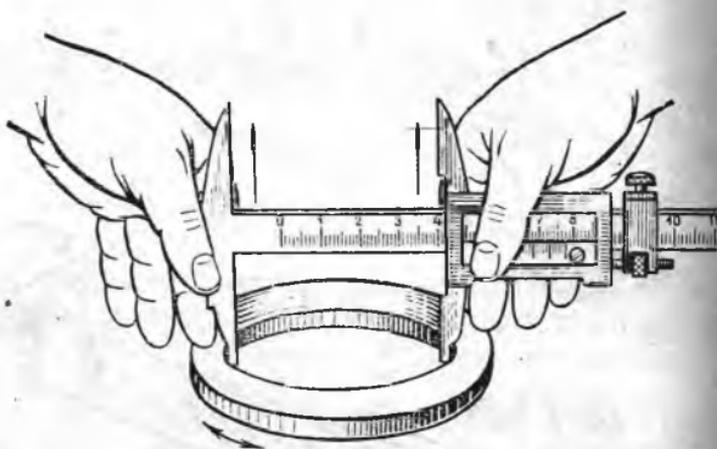


Рис. 68. Схема проверки большого внутреннего диаметра штангенциркулем

При проверке больших внутренних диаметров штангенциркулем (рис. 68) контролер должен установить размер несколько меньше измеряемого, ввести губки штангенциркуля в проверяемое отверстие и слегка прижать губки штанги к поверхности отверстия. Далее с помощью микроподачи и одновременного кругового перемещения губки рамки в горизонтальной плоскости необходимо добиться легкого контакта двух губок с поверхностью измеряемого отверстия. Чтобы избежать перекоса в вертикальной плоскости необходимо опираться при проверке на средние пальцы рук, установив их возле губок.

Штангеннутромеры применяют для измерения глубины впадины и размеров выступов.

Индикаторы относят к рычажно-механическим измерительным приборам, предназначенным для контроля линейных размеров, формы и расположения поверх-

стей. Наибольшее применение находят индикаторы с механизмом часового типа для проверки радиального биения валов, осей, валиков и т. д. На рис. 69 изображена схема (а) и общий вид (б) индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм. Индикатор состоит из корпуса 3, через направляющие отверстия которого проходит измерительный стержень 1 с зубчатой рейкой,

Схема индикатора

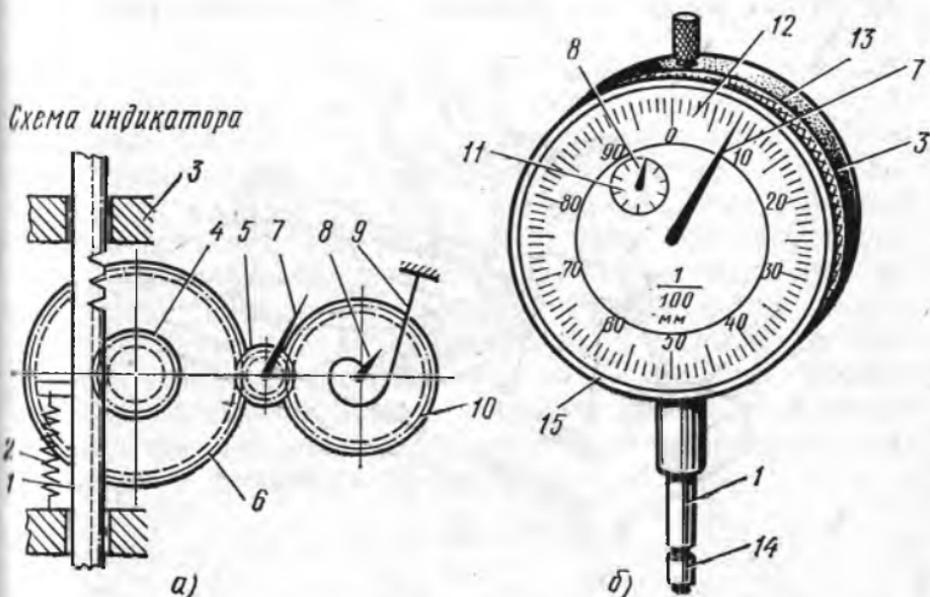


Рис. 69. Схема (а) и общий вид (б) индикатора часового механизма:

1 — стержень с зубчатой решеткой, 2 — пружина, 3 — корпус прибора, 4 — малый венец двойной шестерни, 5 — шестерня, 6 — большой венец, 7 — стрелка, 8 — указатель, 9 — спиральная пружина (волосок), 10 — шестерня, 11 — шкала маленькая, 12 — измерительная шкала индикатора, 13 — стопор, 14 — наконечник стержня, 15 — ободок

сцепленной с малым венцом 4 двойной шестерни. Большой венец 6 этой шестерни входит в зацепление с шестерней 5, на оси которой установлена стрелка 7. Кроме того, шестерня 5 входит в зацепление с шестерней 10, несущей на своей оси стрелку указателя 8. На оси шестерни 10 также закреплена спиральная пружина (волосок) 9, предназначенная для компенсации зазора в передаточном механизме. Для регулирования измерительного усилия установлена пружина 2, одним концом прикрепленная к корпусу, а другим — к стержню 1. Измерительная шкала 12 индикатора имеет по окружности 100 делений и предназначена для отсчета сотых долей

миллиметра. По малой шкале 11 посредством стрелки 8 отсчитывают число целых оборотов стрелки 7. Один оборот стрелки 7 соответствует перемещению измерительного стержня 1 на 1 мм. Шкала 12 укрепленна ободке 15, который можно вращать на корпусе и устремить навстречу в нулевое положение при настройке индикатора и затем закреплять в этом положении стопором 13. В отверстие измерительного стержня ввернут шпindel

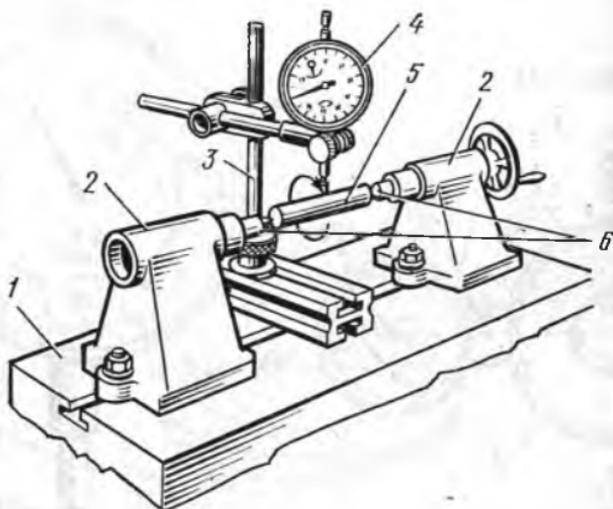


Рис. 70. Схема проверки биения валика в контрольных центрах:

1 — плита чугунная, 2 — бабки, 3 — стойка индикатора, 4 — индикатор часового типа, 5 — контролируемый валик, 6 — центра

нечник 14, который соприкасается с проверяемым изделием. Для удобства работы индикаторы укрепляют на стойках и штативах. Для проверки расположения поверхностей относительно геометрической оси вала закрепляют в центрах, а для проверки расположения поверхностей валов относительно базовых поверхностей устанавливают на призмы.

На рис. 70 изображена схема проверки биения поверхности закаленного валика 5, закрепленного в центрах 6 приспособления. Проверку производят индикатором 4, укрепленным на стойке 3. Биение определяют по наибольшей разности показаний индикатора при одном обороте валика.

3. Определение химического состава и отбор образцов для анализа

Для установления химического состава и определения марки чугуна, стали и других сплавов применяют химический и спектральный анализ, а также пробу на искру.

Химический анализ. Это один из распространенных методов определения содержания элементов в исследуемом металле или сплаве. Химический анализ проводят следующим образом. От исследуемой детали берут пробу в виде мелкой стружки в несколько грамм. Взятую пробу взвешивают на аналитических весах и растворяют ее в какой-либо кислоте. Далее определяемый элемент осаждают из раствора в виде простого вещества (форма осаждения), которое затем отделяют от маточного раствора посредством прокаливания в муфельных электропечах и переводят в устойчивое соединение определенного состава — весовую форму. Заключительной операцией весового анализа является взвешивание весовой формы. Результат анализа обычно выражают в процентах по формуле

$$X = \frac{af}{b} \cdot 100,$$

где X — искомое процентное содержание определяемого элемента, a — масса весовой формы, b — навеска, f — фактор пересчета, представляющий собой отношение атомного веса к молекулярному весу весовой формы. Измерительным прибором служат аналитические весы.

Спектральный анализ. Он основан на изучении спектра паров исследуемого металла. Наличие в спектре характерных линий, присущих атомам данного элемента, свидетельствуют о наличии этого элемента в анализируемом металле. Интенсивность линий спектра элементов служит мерой их концентрации. Для анализа и сортировки металла по маркам применяют специальные визуальные приборы — стилоскопы и стилометры.

Выполняют спектральный анализ следующим образом. Между анализируемой деталью и медным электродом стилоскопа возбуждают электрическую дугу. Свет от дуги проектируется на щель спектрального аппарата, проходит через оптическую систему линз и разлагается

на линейчатый спектр. В спектре наблюдается пять основных цветов: красный, желтый, зеленый, голубой и фиолетовый. Каждый элемент имеет свою линию спектра. По цвету и интенсивности линий спектра, наблюдаемых в приборе, определяют, какой элемент и в каком количестве находится в исследуемом металле.

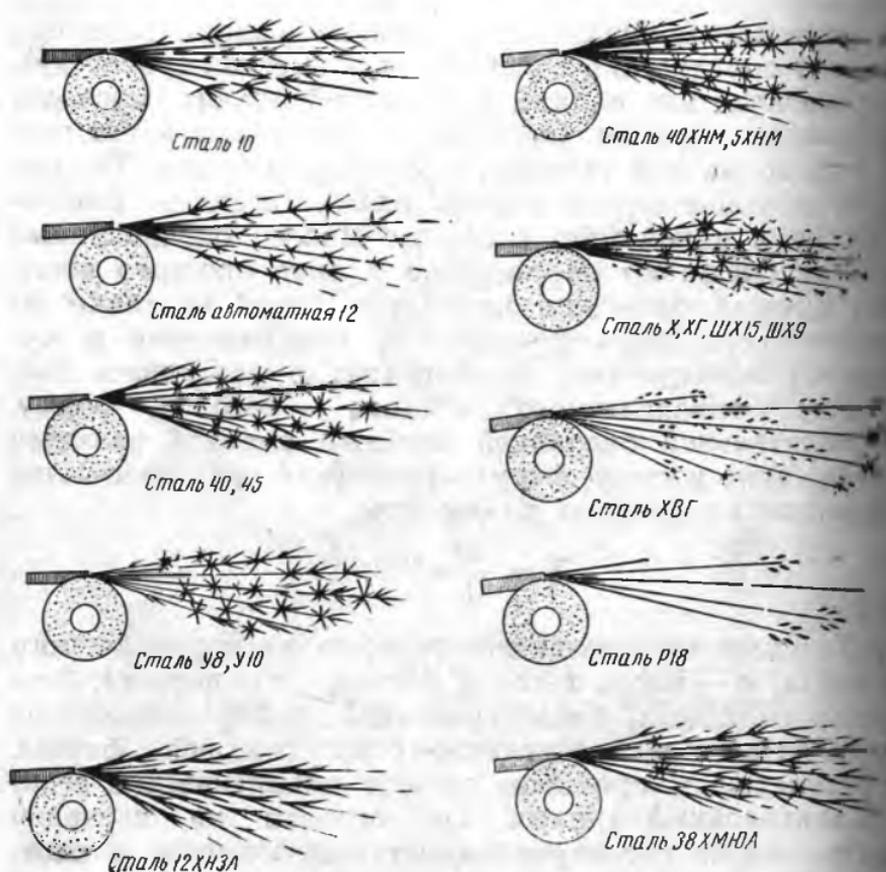


Рис. 71. Виды искр для сталей различного химического состава

Рассматривая спектр анализируемого металла в окуляр прибора, устанавливают наличие аналитических линий, присущих атомам определенного элемента. Если в спектре имеются эти линии, то проба содержит данный элемент. Сопоставляя на глаз интенсивность линий спектра с интенсивностью линий сравнения, принадлежащих спектру основного металла пробы, можно оценить и концентрацию элемента.

Для точного анализа металла помимо визуальных стилоскопов и стилометров применяют более совершенные аппараты — спектрографы. В этом случае спектр исследуемого металла фотографируется на фотопластинку. Основными достоинствами спектрального анализа являются большая скорость, высокая чувствительность и малая погрешность измерений.

Проба на искру. Этот способ применяют довольно широко в термических цехах для приближенного установления содержания углерода и легированных элементов в стали. Пробу на искру производят следующим образом. Стальную деталь прижимают к быстровращающемуся шлифовальному кругу и наблюдают за цветом и формой получающегося пучка искр. Каждая сталь имеет свой определенный вид и форму искр. При наблюдении контролер должен обращать внимание на длину и окраску искр, а также на форму звездочек (рис. 71). Надежность этого метода анализа зависит от опыта контролера.

§ 4. Механические испытания металлов и сплавов

Важнейшими свойствами металлов и сплавов являются механические свойства. К ним относят твердость, прочность, пластичность, ударную вязкость и др.

Контроль твердости. Способность металла сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела называют твердостью. Испытания на твердость производят двумя основными методами: статическим и динамическим.

Статическим методом измерения твердости металлов называют метод, при котором индентор, изготовленный из определенного материала и имеющий определенную форму, медленно и непрерывно вдавливается в испытуемый материал с определенной силой. В результате возникает местная деформация материала, имеющая упругую и пластическую составляющие. Для определения твердости материала имеет значение лишь пластическая деформация. К статическим методам контроля относят методы Бринелля, Виккерса, Роквелла.

Метод Бринелля заключается в том, что стальной закаленный шарик вдавливается в испытуемый материал под действием постоянно увеличиваю-

щейся нагрузки. В результате пластической деформации на поверхности возникает отпечаток сферической формы (рис. 72, а). Процесс измерения твердости на прессе Бринелля состоит из ряда последовательных операций: подготовки изделия к испытанию, выбора диаметра шарика, величины нагрузки и времени выдержки, подготовки пресса к испытанию, проведении испытания и определения твердости.

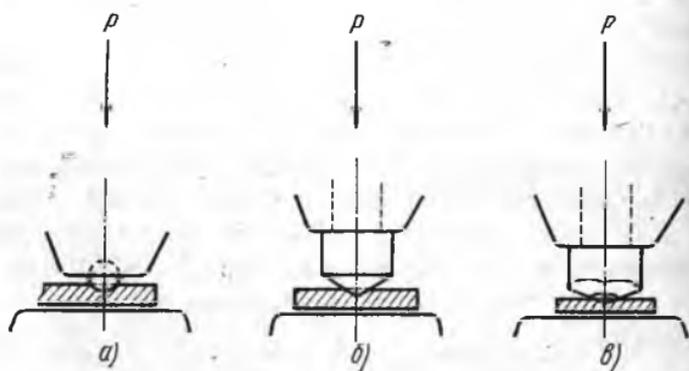


Рис. 72. Методы испытания металлов на твердость:
а — Бринелля, б — Роквелла, в — Виккерса

Контролируемое изделие должно иметь параллельные поверхности (испытуемую и опорную) без окалина и следов ржавчины. Для обеспечения этого требования поверхности подвергают специальной зачистке на абразивном или шлифовальном круге. На изделиях круглого сечения снимают только «лыску», т. е. небольшую площадку на испытуемой поверхности.

Для определения твердости на прессе Бринелля применяют стальные закаленные шарики диаметром 5 и 10 мм и соответствующие им нагрузки 750 кгс (7,35 кН) и 3000 кгс (29,4 кН). Диаметр шарика и величину нагрузки выбирают в зависимости от толщины испытуемого изделия и его материала. Так, испытание изделий из черных металлов толщиной более 6 мм проводят шариком диаметром 10 мм под нагрузкой $P=3000$ кгс (29,4 кН), для изделий толщиной менее 6 мм берут шарик диаметром 5 мм и устанавливают нагрузку $P=750$ кгс (7,35 кН). Выдержка под нагрузкой в том и другом случае составляет 10—12 с. Изделия из цветных сплавов (силумин, бронза, латунь)

испытывают шариком диаметром 5 мм под нагрузкой 750 кгс (7,35 кН). Выдержка под нагрузкой составляет 25—30 с.

Стальной шарик (рис. 73) закрепляют в державке 13 и устанавливают необходимую нагрузку на прессе. Нагрузка создается подвеской 4 со сменными грузами 5 и рычажной системой 7. В зависимости от формы

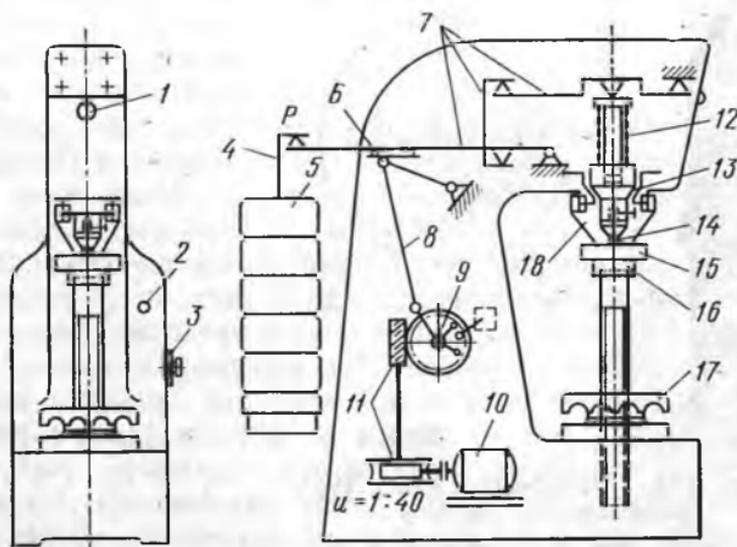


Рис. 73. Схема прессы Бринелля:

1 — сигнальная лампочка красная, 2 — кнопка пуска, 3 — подвижная чашка, 4 — подвеска груза, 5 — сменный груз, 6 — ролик, 7 — система рычагов, 8 — шатун, 9 — кривошипный вал, 10 — электродвигатель, 11 — редуктор, 12 — пружина, 13 — державка, 14 — шарик, 15 — контролируемое изделие; 16 — опорный столик, 17 — маховик, 18 — ограничитель

испытываемого изделия подбирают опорный столик 16. После этого соответствующим перемещением подвижной чашки 3 по отношению шкалы, расположенной на станине прессы, устанавливают время выдержки изделия под нагрузкой. Чашку в нужном положении закрепляют винтом.

Определение твердости осуществляют в такой последовательности. Изделие 15 устанавливают на опорный столик 16. Далее вращением маховика 17 подводят изделие к шарикку 14 до упора изделия в ограничитель 18, а при отсутствии его — до сжатия пружины 12. Нажатием кнопки 2 включают электродвигатель 10,

который через редуктор 11, кривошипный вал 9 и шпунтун 8 отводит ролик 6 вниз. В результате этого нагрузка через систему рычагов 7 и державку 13 сообщается шарикю. Этот момент фиксируется сигнальной красной лампочкой 1. После заданной выдержки изделия под нагрузкой вращение двигателя автоматически переключается на обратное: ролик 6 перемещается вверх, во-

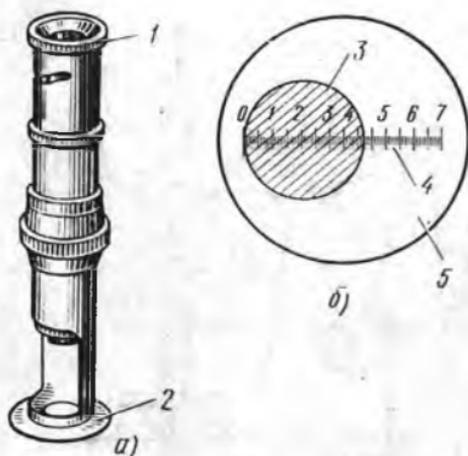


Рис. 74. Измерение отпечатка микроскопом МПБ-2:

а — общий вид, б — измерение отпечатка; 1 — окуляр, 2 — основание, 3 — отпечаток, 4 — шкала, 5 — основание микроскопа

вращая рычаги 7 в исходное положение, электродвигатель автоматически выключается, а сигнальная лампочка гаснет.

После того как погаснет сигнальная лампочка, опускают столик с изделием вниз, вращая маховик 17 против часовой стрелки, снимают со столика изделие и замеряют диаметр полученного отпечатка. Диаметр отпечатка измеряют посредством оптического микроскопа МПБ-2 с погрешностью до

0,05 мм (рис. 74, а). При измерении диаметра отпечатка микроскоп устанавливают на лунку (рис. 74, б) вырезом к свету и, вращая окуляр, добиваются требуемой видимости. Далее один край отпечатка совмещают с началом отсчета шкалы и читают размер (на рисунке этот размер 4,2 мм). После этого микроскоп поворачивают на 90° и повторяют измерение. Окончательный результат принимают как среднее арифметическое двух измерений отпечатка в миллиметрах. Числа твердости в зависимости от диаметра отпечатка находят в специальной переводной таблице.

На прессе Бринелля определяют твердость незакаленных изделий и проката после улучшения, отжига и нормализации.

Метод Роквелла основан на вдавливании испытываемую деталь алмазного конуса с углом при вершине 120° (см. рис. 72, б) или стального шарика диа-

метром 1,588 мм. При этом способе измеряют не диаметр отпечатка, а глубину вдавливания индентора.

Твердость выражают в безразмерных единицах. За единицу твердости принята величина, соответствующая вдавливанию алмазного наконечника на глубину 0,002 мм. Ее читают на циферблате индикатора, установленного на приборе. Твердость указывается стрелкой индикатора сразу по окончании испытания.

Поверхность изделия, подлежащего контролю, должна быть параллельна опорной и не иметь крупных рисок, царапин и забоин. С этой целью испытуемую поверхность подвергают обработке на мягком шлифовальном круге или наждачной бумагой. Следует отметить, что при заточке металла изделия не должен нагреваться более чем до 140—150°C.

Прежде чем приступить к испытанию изделий на твердость, определяют вид наконечника, выбирают общую нагрузку и соответственно им шкалу твердости. Для контроля закаленных деталей с высокой поверхностной твердостью применяют алмазный конус с углом при вершине 120° и нагрузку 150 кгс (1,47 кН). Твердость при этом отсчитывают по шкале С (черная шкала) и обозначают HRC. Для контроля изделий средней твердости после высокого отпуска применяют стальной закаленный шарик диаметром 1,588 мм и нагрузку 100 кгс (0,98 кН). Твердость отсчитывают по шкале В (красная шкала) и обозначают HRB. Для испытания твердых и тонких изделий после нитроцементации, азотирования, борирования используют алмазный конус и нагрузку 60 кгс (0,59 кН). Твердость при этом отсчитывают по шкале А и обозначают HRA.

В соответствии с выбранной шкалой устанавливают в шпинделе прибора (рис. 75) наконечник 4 и предварительно закрепляют его посредством винта. В зависимости от формы испытуемого изделия выбирают и устанавливают столик 6.

При контроле твердости берут испытуемое изделие 5, протирают его от загрязнений и пыли и устанавливают на рабочий столик. Далее вращением маховичка 8 подводят изделие к наконечнику 4 и, продолжая плавное вращение маховичка, сообщают наконечнику предварительную нагрузку 10 кгс (0,098 кН). Такая нагрузка сообщается изделию в момент, когда малая стрелка индикатора на циферблате совпадает с красной

точкой на шкале, а большая примет вертикальное положение (рис. 76, а). После этого наконечнику сообщают основную нагрузку $P=150$ кгс (1,47 кН). Для этого рукоятку 1 (см. рис. 75) следует плавно отвести назад. Если малая стрелка перейдет за красную точку,

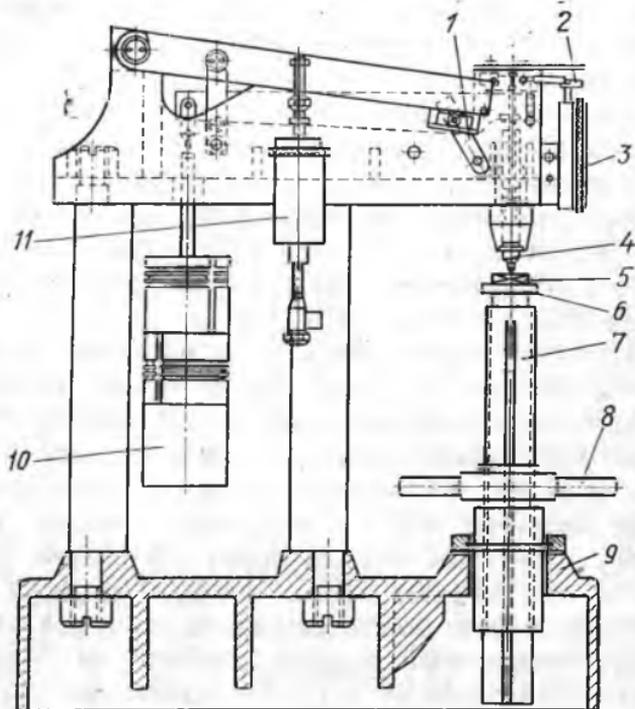


Рис. 75. Схема прибора Роквелла:

1 — рукоятка, 2 — станина верхняя, 3 — индикатор, 4 — наконечник, 5 — испытуемый образец, 6 — рабочий столик, 7 — винт, 8 — маховичок, 9 — станина, 10 — груз, 11 — масляный редуктор

то необходимо выбрать на контролируемом изделии новую точку и испытание начать вновь. Затем поворачивают ободок индикатора 3 до совпадения нуля черной шкалы с большой стрелкой (см. рис. 76, б).

Легким нажатием на рукоятку 1, т. е. отталкивая ее от себя, освобождают грузовой рычаг и тем самым нагружают алмазный конус общей нагрузкой 150 кгс (1,47 кН). При этом рычаг надо медленно опустить до упора и остановить. В этот момент большая стрелка повернется против часовой стрелки и займет положение, указанное на рис. 76, в. После секундной выдержки снимают основную нагрузку возвращением руко-

ятки в начальное положение, притянув ее к себе. Большая стрелка прибора при этом вращается по часовой стрелке и занимает определенное положение, изображенное на рис. 76, г. Цифра, против которой остановится большая стрелка, указывает число твердости.

Вращением маховичка δ против часовой стрелки снимают предварительную нагрузку, опускают столик и снимают изделие. Испытания следует повторять с таким расчетом, чтобы для каждого изделия их было не менее трех.

Для контроля твердости по методу Виккерса применяют алмазный индентор (наконечник), имеющий форму правильной четырехгранной пирамиды с двугранным углом при вершине, равным 136° . Число твердости по Виккерсу (или твердость по отпечатку пирамиды) HV представляет собой среднее удельное давление на поверхность отпечатка.

На практике обычно используют таблицы, составленные для различных величин нагрузок. Чаще всего применяют нагрузки, равные 10, 30, 60 кгс (0,098 кН, 0,294 кН, 0,589 кН). Измерение твердости по Виккерсу может производиться на материалах различной твердости вплоть до измерения твердости, например, серого чугуна.

Поверхность изделия для контроля твердости по Виккерсу должна быть обработана значительно тщательнее, чем поверхность при измерении твердости по Роквеллу. Поэтому контролируемую поверхность подвергают полированию.

Подготовка прибора к испытанию заключается в проверке правильности выбранного груза в зависимости от толщины изделия и его твердости, а также в проверке работы поворотной головки и в закреплении алмазной пирамидки в шпинделе.

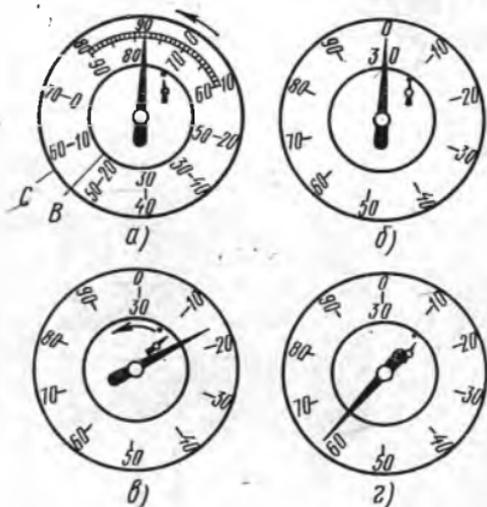


Рис. 76. Схема перемещения стрелок циферблата при испытании твердости на приборе Роквелла

После подготовки прибора к испытанию берут контролируемое изделие 2 и очищают его от загрязнений, а затем устанавливают на предметный столик (рис. 77). Вращением маховичка подводят изделие к алмазному индентору и плавно нажимают рукой на педаль 4. При нажатии на педаль индентор вдавливается в поверхность испытуемого изделия под действием уси-

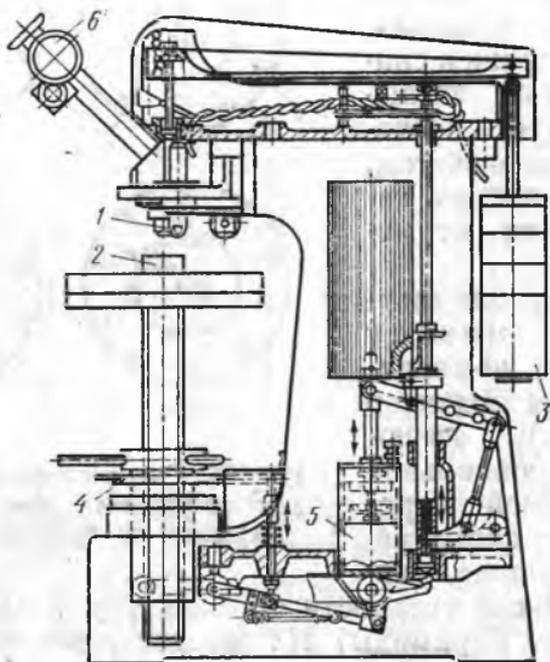


Рис. 77. Схема прибора Виккерса

1 — алмазный наконечник, 2 — изделие, 3 — сменный груз, 4 — педаль, 5 — демпфер, 6 — поворотная головка с измерительным микроскопом

лия, создаваемого сменным грузом 3. Длительность действия нагрузки (обычно около 5 с) устанавливают регулировкой масляного демпфера 5. В результате действия нагрузки на поверхности изделия образуется отпечаток, который с большой точностью измеряют по диагонали поворотной головкой с измерительным микроскопом 6. Определив длину диагонали полученного отпечатка, находят по таблице значение твердости. На рис. 78 изображены отпечатки, полученные на образцах углеродистой стали 45 и легированной стали 50ХФА. Размеры диагоналей должны находиться в пре-

делах от 5 до 15 мкм, поэтому рекомендуется величину нагрузки выбирать в зависимости от вида испытуемого материала.

Приборы для измерения микротвердости наносят на изделия очень малые отпечатки. Испытанию на микротвердость подвергают мелкие детали часов, приборов, тонкие поверхностные слои, от-

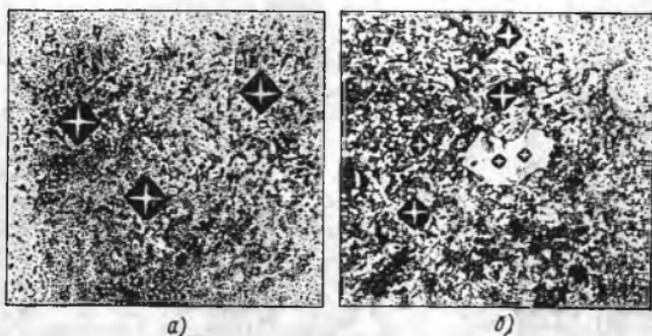


Рис. 78. Схема отпечатков, полученных на приборе Виккерса:

a — на углеродистой стали 45; *б* — на хромованадиевой стали 50ХФА

дельные микроструктурные составляющие и т. д. Для контроля микротвердости применяют настольные приборы ПМТ-2 и ПМТ-3, прибор Ханемана, а также автоматизированные твердомеры типа «Дуриметр», Кнупа и другие приборы.

Динамические методы измерения твердости разделяют на динамически упругие, основанные на измерении высоты отскока индентора (метод Шора и метод бездефектного контроля прибором ПБК-1) и динамически-пластический, в основе которого лежит величина останавленного отпечатка (метод Польди).

Для контроля твердости материалов по методу Шора используют склероскоп (рис. 79). Основными частями склероскопа являются боек 1, алмазный наконечник 2, измеритель высоты отскока бойка 3, трубка 4, укрепленная на стойке с вертикальной рейкой для установки прибора.

Замер твердости осуществляют следующим образом. Хорошо зачищенную поверхность испытуемой де-

тали устанавливают перпендикулярно оси трубки склероскопа. Затем отпускают посредством скобы боек 1, который падает в полости трубки 4 с постоянной высоты и после удара приводит в действие измеритель 2 высоты отскока. Шкала измерителя проградуирована и разделена на 140 единиц.

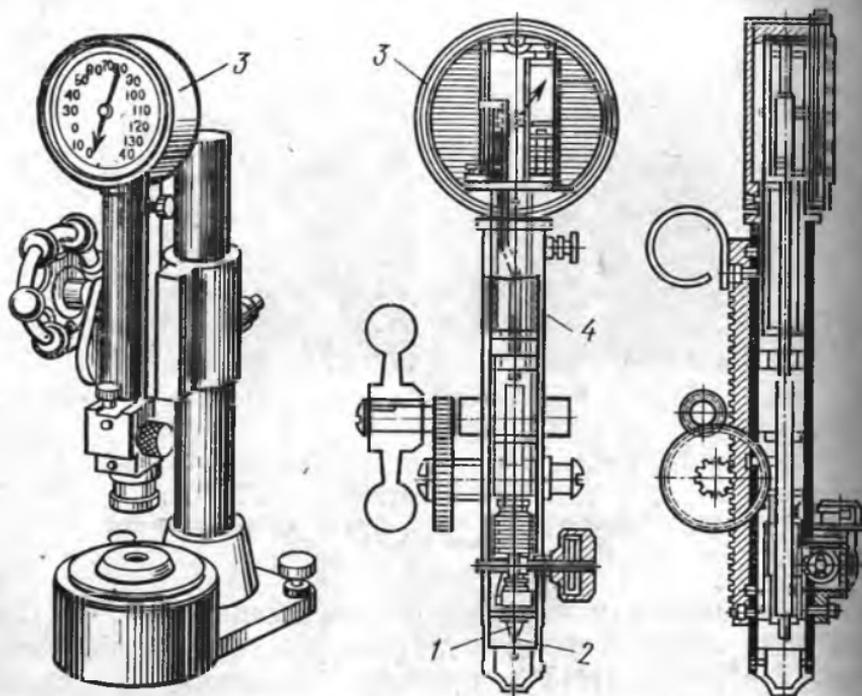


Рис. 79. Склероскоп Шора

Испытание необходимо повторять два-три раза, с тем чтобы для каждого изделия было два-три замера. Результаты испытаний на склероскопе Шора заносят в журнал. Перед испытанием и в процессе контроля проверяют работу прибора по эталону.

Прибор ПБК-1 используют для контроля твердости шлифованных шеек коленчатых валов, распределительных валиков и других деталей. Прибор (рис. 80) состоит из корпуса 5, желоба 4, тензометрической балочки 6, регулятора 3 падения шарика 12, стопора 2, кармана 9, столика 11, стойки 1, усилителя 8 и самопишущего прибора 7.

Методика контроля твердости заключается в следующем. На призму рабочего столика укладывают колен-

чатый вал 10. Далее опускают рабочий орган прибора по стойке 1 до соприкосновения с поверхностью шейки вала, после чего плавно освобождают стопор 2. При этом шарик 12 соскальзывает по желобу, затем ударяется о поверхность шейки и отскакивает, воздействуя при отскоке на тензометрическую балочку 6 и скаты-

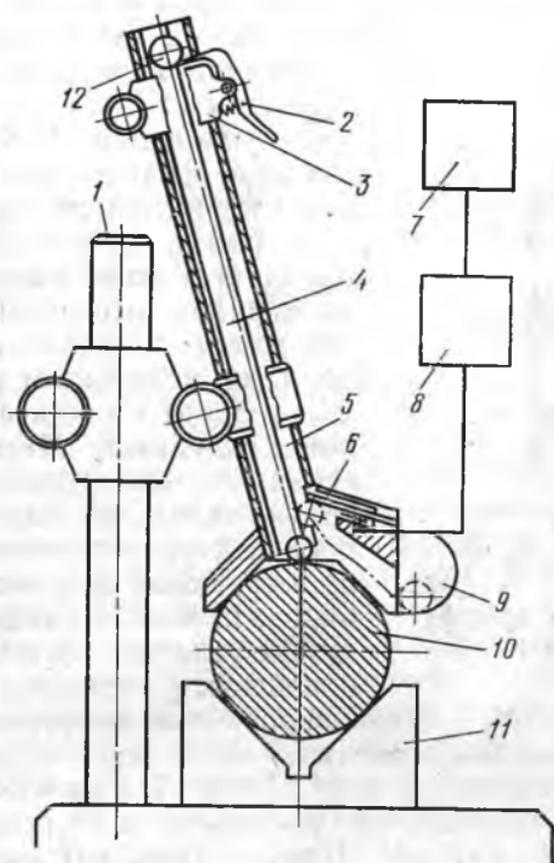


Рис. 80. Схема прибора ПБК-1

вается в карман 9. Чем больше твердость контролируемой поверхности, тем с большей силой шарик при отскоке прогибает балочку, которая через усилитель ТА-5 связана с быстродействующим прибором Н327-1. Прибор Н327-1 фиксирует величину твердости. Пересчет результата измерения на твердость по Бринеллю и Роквеллу выполняют по таблице, составленной на каждый исследуемый материал.

Метод упругого отскока применяют также для кон-

троля твердости закаленных на мартенсит шариков и колец подшипников качения. Контроль твердости шариков после термообработки осуществляют следующим образом. Из бункера, установленного на приспособлении высотой 1300—1500 мм, по желобу скатываются проверяемые шарики. Шарики падают на металлическую шлифованную плиту, на которой установлен ящик

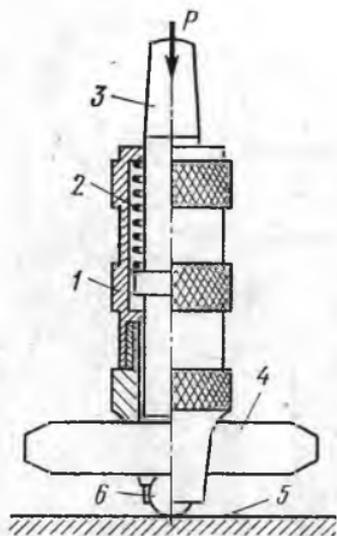


Рис. 81. Схема прибора Польди

с двумя отсеками: один — для годных шариков, другой — для дефектных. Если шарик, например из стали ШХ9, имеет высокие физико-механические характеристики, то после удара о плиту, он отскакивает и попадает в отсек ящика с годными шариками, если же шарик имеет пониженную твердость, он подпрыгнет невысоко и попадает в отсек с дефектной продукцией. Методом отскока можно проверять не только твердость изделий, но и производить отбраковку, например, колец шарикоподшипников, имеющих трещины или другие какие-либо нарушения сплошности металла. На этом

принципе созданы механизированные и автоматизированные контрольные агрегаты.

Контроль твердости методом Польди основан на получении двойного отпечатка — на испытуемом материале и на эталоне. Прибор (рис. 81) состоит из стального корпуса 1, имеющего три пояса с насечкой, пружины 2, бойка 3, эталона твердости 4 и стального закаленного шарика 6.

Методика испытания на приборе Польди заключается в следующем. На зачищенную абразивным кругом поверхность 5 детали устанавливают нормально к ней корпус прибора и в этом положении по бойку 3 прибора наносят молотком удар, достаточный для получения двух отпечатков шарика 6 на эталоне 4 и детали 5. В качестве индентора используют шарик диаметром 10 мм. Твердость определяют по таблицам, которые приложены к прибору.

Испытания на растяжение. При испытании образцов или изделий на растяжение определяют прочностные и пластические свойства материалов. Прочностью называют способность материала оказывать сопротивление действию внешних сил. К прочностным свойствам металла относят предел пропорциональности $\sigma_{пц}$, предел упругости и временное сопротивление $\sigma_{в}$.

Испытание металлов на растяжение проводят на универсально-рычажных маятниковых машинах, прессе

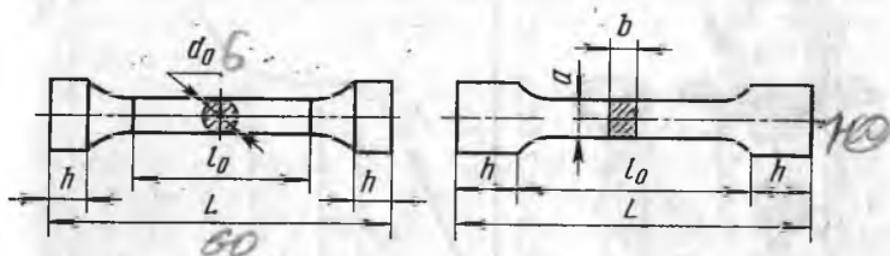


Рис. 82. Стандартные образцы для испытания металлов

Гагарина, машине конструкции ЦНИИТМаш и гидравлических прессах. Все разрывные машины имеют гидравлические или механические устройства для нагружения испытуемого образца, приборы для измерения нагрузок, приложенных к образцу, и самозаписывающие приборы, автоматически вычерчивающие диаграммы растяжения. Для проведения испытания на растяжение из испытуемого изделия (выборочно) изготовляют образцы круглой или плоской формы (рис. 82). Форма и размеры образцов стандартизированы.

Методика испытания на разрывной машине заключается в следующем. Производят замер основных рабочих размеров образца (h, L, a, b, l_0, d_0), затем образец устанавливают в разрывную машину (рис. 83) и включают электродвигатель. Далее следят за деформацией образца и работой самописца, вычерчивающего диаграмму растяжения. Диаграмма строится в координатах $P - \Delta l$ и показывает изменение длины образца в зависимости от величины прилагаемой нагрузки (рис. 84).

Из диаграммы видно, что в начале испытания при небольших нагрузках образец деформируется упруго, удлинение его пропорционально возрастанию нагрузки. На графике это показано прямой линией, доходящей до

точки P . Прямую зависимость удлинения образца от приложенной нагрузки называют законом пропорциональности.

Наибольшее напряжение $\sigma_{пц}$, которое может выдержать образец без отклонения от закона пропорцио-

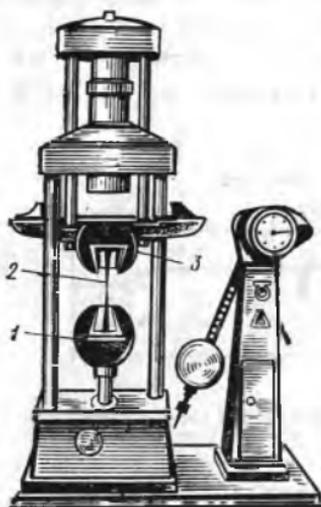


Рис. 83. Универсальная разрывная машина:

1 — нижняя зажимная губка, 2 — испытуемый образец, 3 — верхняя зажимная губка

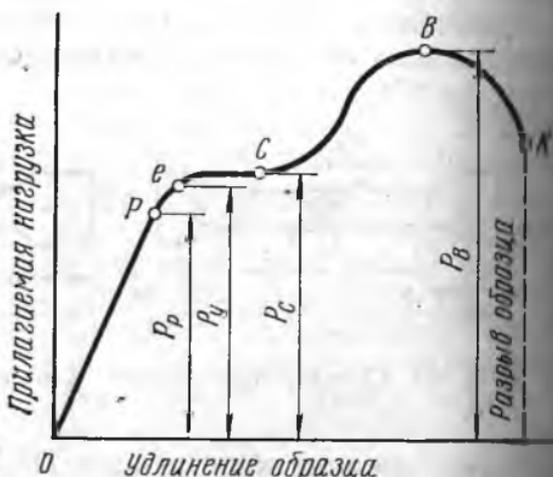


Рис. 84. Диаграмма растяжения для малоуглеродистой стали

нальности, называют пределом пропорциональности:

$$\sigma_{пц} = \frac{P_p}{F_0}, \text{ Н/м}^2,$$

где P_p — нагрузка в точке P , F_0 — начальная площадь поперечного сечения образца.

При дальнейшем увеличении нагрузки закон пропорциональности нарушается. До точки e деформации образца была упругой, т. е. полностью исчезающей после снятия нагрузки. Практически предел упругости для стали принимают равным пределу пропорциональности.

При нагрузке P_c на кривой появляется горизонтальный участок. Наименьшую нагрузку, при которой образец деформируется без заметного увеличения нагрузки, называют пределом текучести:

$$\sigma_T = \frac{P_C}{F_0}, \text{ Н/м}^2,$$

где P_C — нагрузка в точке C , F_0 — начальная площадь поперечного сечения образца.

Для большинства металлов кривая растяжения не имеет площадки текучести. В этом случае условный предел текучести определяют как напряжение, при котором образец получает остаточную деформацию в 0,2% от первоначальной длины. Это напряжение называют условным пределом текучести и обозначают $\sigma_{0,2}$.

После предела текучести нагрузка увеличивается и в точке B она достигает своего максимума. Делением максимальной нагрузки на первоначальную площадь поперечного сечения образца определяют предел прочности, или временное сопротивление:

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}, \text{ Н/м}^2,$$

где P_B — нагрузка в точке B , F_0 — начальная площадь поперечного сечения образца.

В точке K образец разрывается. По изменению образца после разрыва судят о пластичности металла, которая характеризуется относительным удлинением δ и сужением площади поперечного сечения ψ .

Под относительным удлинением δ понимают отношение приращения длины образца после разрыва к его начальной длине, выраженное в процентах:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%,$$

где l_1 — длина образца после разрыва, мм; l_0 — начальная длина образца, мм.

Относительным сужением ψ называют отношение уменьшения площади поперечного сечения образца после разрыва к начальной площади поперечного сечения:

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\%,$$

где F_0 — начальная площадь сечения образца, мм²; F_1 — площадь поперечного сечения образца в месте разрыва (шейки), мм².

Испытание на ударную вязкость. На ударную вязкость в основном испытывают конструкционные стали. Для испытания на ударную вязкость берут образцы стандартной формы и размеров. Образец посередине имеет надрез (рис. 85, а).

Испытание на ударную вязкость осуществляют следующим образом. В начале испытания маятник (рис. 85, б) вручную поднимается на угол α в верхнее исходное положение на высоту h_0 , затем маятник отпущен

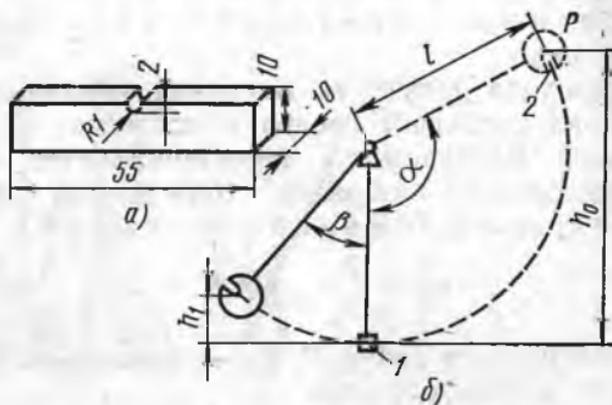


Рис. 85. Испытание на ударную вязкость: а — образец, б — схема действия маятника
1 — образец, 2 — маятник

ускают, он падает и острием ножа разрушает помещенный на его пути образец 1. После удара маятник по инерции отклоняется на угол β , поднимаясь на высоту h_1 . По массе маятника и высоте его подъема до h_1 после разрушения образца и, зная углы α и β , определяют затраченную работу A_n . Цифровые данные работы приведены на шкале копра. Зная работу разрушения образца, можно определить ударную вязкость по формуле

$$a_n = \frac{A_n}{F}, \text{ Дж/м}^2,$$

где A_n — работа, затраченная на разрушение образца, Дж (Н·м); F — площадь поперечного сечения образца в месте надреза, м².

Испытание на сжатие. Пластичный металл при сжатии с большой силой не разрушается, а лишь сильно деформируется — сплющивается. Хрупкий же ме-

или при сжатии можно довести до разрушения и определить предел прочности при сжатии.

При испытаниях на сжатие используют цилиндрические образцы (рис. 86, а). Высота образца равна или равному диаметру ($l_0 = d_0$), или трем диаметрам ($l_0 = 3d_0$). При этом виде испытания определяют пре-

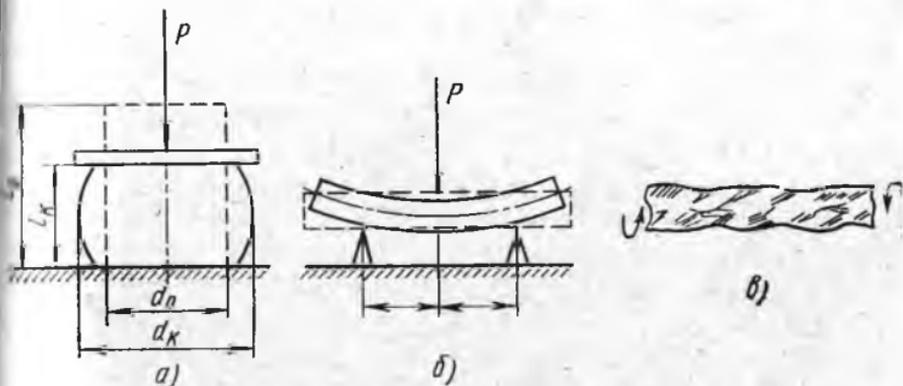


Рис. 86. Схема испытания на сжатие (а), изгиб (б) и кручение (в)

дел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ как отношение разрушающей силы P_{\max} к начальной площади поперечного сечения образца F_0 :

$$\sigma_{сж} = \frac{P_{\max}}{F_0}.$$

Одновременно можно определить относительное укорочение

$$\lambda = \frac{l_0 - l_k}{l_0} \cdot 100\%$$

и относительное уширение поперечного сечения

$$\eta = \frac{F_k - F_0}{F_0} \cdot 100\%.$$

Испытание на изгиб. Такому испытанию подвергают только хрупкие металлы. При изгибе (рис. 86, б) разные части образца деформируются неодинаково: лежащие ниже осевой линии слои металла растягиваются и тем больше, чем дальше они отстоят от нее; лежащие выше — сжимаются тоже в разной мере. Ос-

новными характеристиками при испытании на излом являются предел прочности при изломе ($\sigma_{изг}$) и прогиб при изломе, который характеризует пластичность:

$$\sigma_{изг} = \frac{8Pl}{\pi d^3}, \text{ Н/м}^2,$$

где: l — расстояние между опорами, м; d — диаметр образца, м;

P — сила в момент излома, Н.

Величину прогиба при изломе (наибольшая стрелка прогиба f) определяют по диаграмме, автоматически записываемой на испытательной машине.

Испытание на кручение. Для этого используют цилиндрические образцы диаметром 10 мм и длиной 100 мм (рис. 86, в). Один конец образца закрепляют в неподвижном захвате, к другому концу прикладывают крутящий момент. На испытательной машине автоматически записывается диаграмма. В результате испытаний определяют модуль упругости при сдвиге (G), предел пропорциональности при кручении ($\tau_{пл}$), условный предел текучести при кручении ($\tau_{0,2}$), истинный условный пределы прочности при кручении (t_k) ($t_{п}$) и относительный сдвиг при кручении (γ), характеризующий пластичность. Испытания на кручение проводят в центральной заводской лаборатории.

§ 5. Контроль структуры металлов

Исследование изломов металла. В термических процессах по излому определяют качество цементации, нитрирования, цементации, закалки инструмента (сверл, метчиков, разверток). Так, перед закалкой большой партии сверл из стали Р18 сначала закаливают пробные несколько сверл и одно из них отдают на анализ (чаще всего — сверло, которое было забраковано при механической обработке). Это сверло промывают от остатков солей, протирают поверхность хлопчатобумажной салфеткой и разрушают ударом на специальном приспособлении типа маятникового копра. Если закалка сверл выполнена по заданной технологии, качественно, при температуре 1270—1280°C и сверла правильно охлаждены в масле, то излом с торца сверла будет фарфоровидным и мелкозернистым. Следовательно, по такой технологии

можно закалить всю партию сверл. Если же при заливке была завышена температура закалочных солей или были допущены какие-то другие отклонения от заданного технологического процесса, то излом сверла будет нафталиновый и серый, зерна крупные. Такие сверла бракуются.

По излому определяют также качество и глубину закаленного т. в. ч. или науглероженного слоя, наличие трещин и пустот, размеры зерен и их расположение.

Исследование макроструктуры. Для изучения макроструктуры из контролируемой детали вырезают продольные или плоские образцы. Одну из характерных плоскостей вырезанного образца шлифуют, полируют и подвергают химическому травлению специальными реактивами, которые по разному растворяют отдельные составляющие структуры. Одновременно с этим травление четко выявляет дефекты, нарушающие сплошность металла — рыхлоты, трещины, пористость.

Состав реактивов для травления макрошлифов подбирают в зависимости от металла, из которого изготовлено контролируемое изделие, и с учетом назначения макрошлифа, т. е. тех особенностей строения металла, которые желательно выявить.

Для оценки направленности волокон в поковках из углеродистых и малолегированных сталей макрошлифы протравливают 20%-ным водным раствором серной кислоты (на 100 г воды берут 8-г серной кислоты с удельным весом 1,92). Приготовленный реактив заливают в титановую ванночку, установленную на столике вытяжного шкафа, подогревают до 75—80°C. Затем щипцами в раствор опускают макрошлиф. По истечении 12—15 мин в зависимости от размера макрошлифа его вынимают из ванночки, поверхность протирают щеткой в содовом растворе и после небольшой подсушки подвергают осмотру невооруженным глазом или посредством оптической лупы с увеличением до 30^x.

На рис. 87 изображена макроструктура поковки стойки передней подвески с хорошо видимым расположением волокон металла. При травлении следует быть внимательным и строго выполнять инструкцию по технике безопасности.

Выявление химической неоднородности. Для выявления химической неоднородности, т. е. ликвации фос-

фора и серы в деталях из сталей 35, 45, 65Г, макрошлиф подвергают травлению в растворе хлороаммиачной меди. В процессе травления происходит обменная реакция — железо уходит в раствор, а медь осаждается на поверхности макрошлифа и предохраняет его от дальнейшего травления. В местах скопления фосфо-

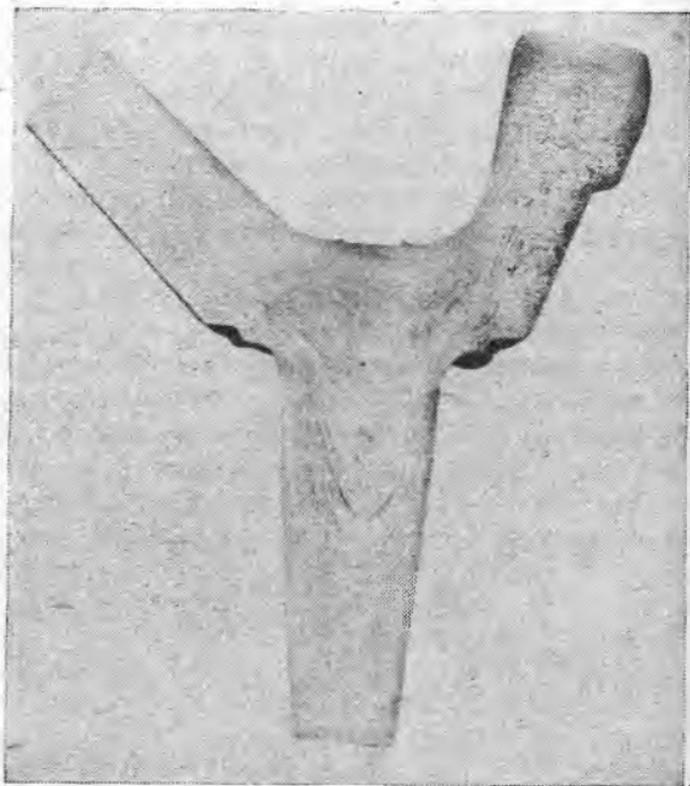


Рис. 87. Макроструктура поковки с оптимальным расположением волокон

ра медь высаживается в меньшем количестве, поэтому в них травление происходит глубже. После травления медь с макрошлифа смывается. Места или области скопления фосфора на протравленной поверхности макрошлифа выглядят более темными, поскольку они протравливались сильнее.

Определение толщины упрочненного слоя. Детали, подвергнутые поверхностной термической обработке (цианированию, цементации, индукционной закалке),

проходят макроанализ для оценки толщины поверхностного слоя, структура которого значительно отличается от структуры основного металла. На рис. 88 приведена фотография травленого макрошлифа в осевой плоскости толкателя клапана, поверхность которого подвергнута цементации. На фотографии четко видна разница в структурах основного нецементированного металла, из которого изготовлен толкатель, и поверхностно-цементированного слоя (темный фон). Толщину этого слоя можно измерить.

Макроанализ является методом исследования внутреннего строения не только исходного металла, но и готового изделия, он достаточно прост и не требует специального оборудования.

Отобранные для контроля образцы или изделия, подвергнутые термической обработке, отправляют в металлографическую лабораторию, где определяют качество термообработки. О полученных результатах анализа контролер информирует термиста-оператора и сменного производственного мастера.

Микроструктурный анализ.

Определение микроструктуры металлов и сплавов, т. е. структуры, видимой под микроскопом, производят следующим образом. Из контролируемого изделия вырезают образец цилиндрической формы диаметром 10—12 мм или квадратного сечения 10×10 мм и высотой 15—20 мм. Место и направление вырезки образца определяются техническими условиями.

Поверхность образца шлифуют вручную или на специальном шлифовальном станке шкуркой различных номеров с постепенно уменьшающимися размерами зерен абразива. При переходе с одного номера шлифовальной шкурки на другой образец надо поворачивать

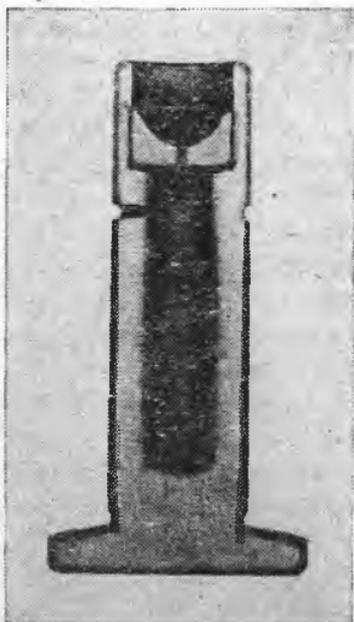


Рис. 88. Макроструктура цементованного слоя толкателя клапана

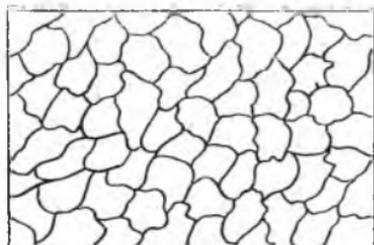
на 90° и шлифовать до полного удаления рисок, образовавшихся в процессе предыдущей обработки.

Далее осуществляют полирование на специальном станке вращающимся кругом, обтянутым сукном и смоченным полировальной жидкостью. Жидкость состоит из воды со взвешенными в ней частицами оксида хрома.

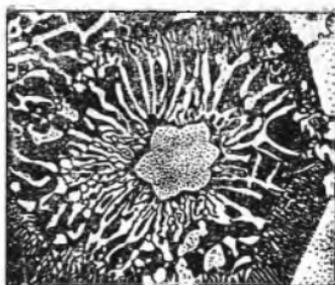
Полирование производят в течение 10—15 мин и считают законченным, когда поверхность образца приобретает зеркальный блеск.

Для выявления микроструктуры полированную поверхность подвергают травлению определенными реактивами. Реактивы для травления выбирают в зависимости от химического состава, структурного состояния металла и цели исследования. Например, для образцов, изготовленных из стали и чугуна, применяют 4%-ный раствор азотной кислоты (HNO_3) в этиловом спирте ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), для травления нержавеющей стали применяют реактивы, составленные из трех частей соляной кислоты (HCl) и одной части азотной кислоты (HNO_3). Для травления медных сплавов применяют 8%-ный раствор хлорной меди; для алюминиевых сплавов используют 0,5%-ный раствор фторной кислоты в воде. Чтобы безошибочно отличить в стальных микрошлифах цементит от феррита, применяют стандартный реактив — нитрат натрия.

Травление поверхности микрошлифов производят до потускнения, т. е. до тех пор, пока поверхность не примет ровный и слегка матовый оттенок без каких-либо пятен. Методика травления микрошлифов состоит в следующем. Полированный шлиф погружают в фарфоровую ванночку, наполненную выбранным реактивом, и выдерживают 5—8 с. После этого протравленную поверхность промывают в спирте и просушивают фильтровальной бумагой. Иногда вместо опускания шлифа в ванночку с реактивом применяют способ протирки поверхности шлифа ватой, смоченной в растворе. В процессе травления составляющие структуры растворяются с различной скоростью и поэтому одни протравливаются больше, а другие меньше. При освещении микрошлифа на микроскопе лучи света по-разному отражаются от различно протравившихся структурных составляющих. Места, протравленные сильнее, больше рассеивают отраженные лучи, поэтому в объективе



a)



b)

Рис. 89. Микроструктура:

a — технически чистого железа, б — молибденового чугуна с 25,13% молибдена и 2,96% углерода

микроскопа они видны более темными, чем слабо протравленные участки (рис. 89).

Для исследования микроструктуры металла и сплавов применяют металлографические микроскопы, позволяющие рассматривать непрозрачные тела в отраженном свете. Различают микроскопы вертикальные (МИМ-7) и горизонтальные (МИМ-8). На рис. 90 изображен современный металлографический МИМ-7. При визуальном наблюдении этот микроскоп обеспечивает увеличение до $1800\times$. Основной частью микроскопа является его оптическая часть. Лучи от источника света 1

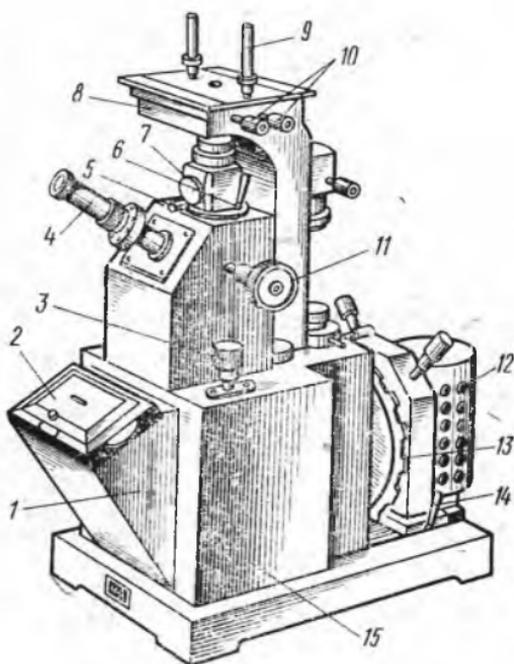


Рис. 90. Металлографический вертикальный микроскоп МИМ-7:

1 — фотокамера, 2 — рамка с матовым стеклом, 3 — винт микроскопической подачи объектива, 4 — визуальный тубус, 5 — анализатор, вставленный в паз под корпус иллюминатора, 6 — рукоятка диафрагмы, 7 — иллюминатор, 8 — предметный столик, 9 — клеммы для крепления микрошлифа, 10 — винты для перемещения предметного столика, 11 — винт грубой подачи предметного столика, 12 — осветитель, 13 — рукоятка диска с набором фильтров, 14 — рукоятка, закрепляющая осветитель, 15 — корпус прибора

(рис. 91), пройдя через коллектор 2, светофильтры 3, пластинки 4 и 5, диафрагму 6, линзы 7, 9, 10 и диафрагму 8, отражаются от пластины 11 и через объектив 12 попадают на шлиф 13. Отразившись от поверхности шлифа, лучи света вновь проходят через объектив 12 и отражательной призмой 14 направляются в окуляр 15. Для перевода изображения на фотокамеру следует отражательную призму 14 отодвинуть рычагом и открыть фотоаппарат.

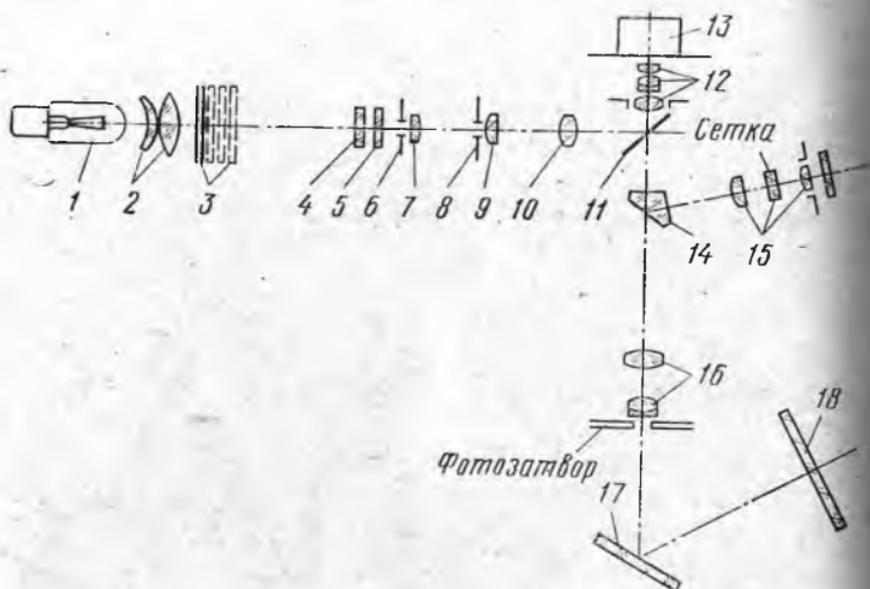


Рис. 91. Схема хода лучей в микроскопе МИМ-7

тозатвор. При этом лучи проходят через фотоокуляр 16 и, отражаясь от зеркала 17, попадают на матовое стекло фотокамеры 18, вместо которого можно вставить фотокассету.

Работают на микроскопе МИМ-7 следующим образом. Микроскоп настраивают на нужное увеличение. Затем микрошлиф устанавливают на предметный столик 8 так, чтобы плоскость шлифа была расположена перпендикулярно оптической оси объектива, и закрепляют микрошлиф держателем 9. Наводку на фокус производят подъемом (или опусканием) предметного столика или тубуса с объективом. Предварительное наведение на фокус осуществляют винтом 11, а точное — микрометрическим винтом 3. Для просмотра микроструктуры различных участков перемещают пред-

метный столик винтами 10 в двух взаимно перпендикулярных горизонтальных направлениях. После того как микроструктура изучена и охарактеризована, результаты микроанализа записывают в протокол.

Если помимо микроструктуры определяют глубину цементованного слоя, то окуляр микроскопа заменяют на окуляр-микрометр, который имеет между линзами стеклянную пластинку с измерительной шкалой длиной 5 мм (цена деления шкалы 0,1 мм).

Для изучения структуры очень тонких деталей применяют электронный микроскоп, на котором можно получить увеличение до 200 000^x. В электронном микроскопе вместо световых волн используют поток электронов. Этот поток фокусируют не стеклянные линзы, а электростатические и электромагнитные поля, при этом рассматривают не микрошлиф металла, а тонкий прозрачный слепок с него.

Определение величины зерна. Величину зерен металла оценивают номерами от 1 (самое крупное) до 8 (самое мелкое). Номер зерна устанавливают просмотром микрошлифа под микроскопом при увеличении 100^x и сравнением его с эталонами, имеющимися в ГОСТе.

§ 6. Основные физические методы неразрушающего контроля

Улучшение качества продукции, повышение надежности и долговечности машин и оборудования можно достигнуть не только внедрением новых материалов, усовершенствованием технологических процессов, но и разработкой и внедрением современных методов контроля.

Например, макро- и микроскопический анализы позволяют контролировать продукцию выборочно, но при этом необходимо разрушать контролируемую деталь. Если же детали (или изделия) работают в ответственных условиях, то партию деталей необходимо подвергать сплошному контролю. В таких случаях старые классические методы разрушающего контроля применять не экономично. Их заменяют физическими методами неразрушающего контроля. Эти методы контроля позволяют объективно с большой скоростью и высокой надежностью обнаружить внутренние трещины, раковины, расслоения и другие скрытые дефекты материала. Наиболее широкое применение получили маг-

нитная дефектоскопия, люминесцентная дефектоскопия, рентгеноскопия, гамма-дефектоскопия, ультразвуковая и электромагнитная дефектоскопии.

§ 7. Магнитная дефектоскопия

Магнитную дефектоскопию применяют для обнаружения мелких трещин, волосовин, шлифовочных трещин, немагнитных включений и других дефектов, залегающих на небольшой глубине под поверхностным слоем изделий, изготовленных из ферромагнитных материалов, а также для контроля качества термической и химико-термической обработки стальных деталей и инструмента. Для обнаружения нарушений сплошности ферромагнитных изделий применяют методы, основанные на исследовании магнитных полей рассеяния, образующихся вокруг этих изделий после намагничивания. Характер магнитного поля рассеяния определяется величиной и формой дефекта, глубиной его залегания, а также его ориентацией относительно направления магнитного поля.

Наиболее широко распространенными методами магнитной дефектоскопии являются магнитопорошковый, магнитографический и магнитоферрозондовый.

Физические основы намагничивания металла. Для намагничивания деталей используют магнитные поля, возникающие между полюсами электромагнита, в соленоидах, вокруг проводника и т. п. Основными величинами при расчете режимов намагничивания являются магнитная индукция B , магнитный поток Φ , напряженность магнитного поля H , магнитная проницаемость μ , относительная магнитная проницаемость

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0},$$

где магнитная проницаемость вакуума $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$.

Магнитная индукция — векторная величина, характеризующая интенсивность и направление магнитного поля в каждой его точке. Магнитная индукция зависит от магнитных свойств металла контролируемой детали. В системе СИ единица измерения магнитной индукции — тесла (Т), в системе СГС — гаусс (Гс), при этом $1 \text{ Т} = 10^4 \text{ Гс}$.

Магнитный поток — величина, равная в однородном поле произведению магнитной индукции B на

площадь S поперечного сечения магнитопровода: $\Phi = B \cdot S$. Магнитный поток измеряется в веберах (Вб).

Напряженность магнитного поля — векторная величина, характеризующая интенсивность и направление магнитного поля в каждой точке без учета магнитных свойств среды; измеряется в амперах на метр (А/м).

Магнитная проницаемость — величина, характеризующая способность материалов намагничиваться; измеряется в генри на метр (Г/м).

Относительная магнитная проницаемость у ферромагнитных материалов достигает десятков тысяч. К таким металлам относят железо, никель, кобальт и др.

Ферромагнитные свойства металлов обусловлены внутренними молекулярными токами, возникающими в основном при вращении электронов вокруг собственной оси. В ферромагнитных телах в пределах небольших областей магнитные моменты молекулярных токов имеют одинаковое направление, поэтому эти области оказываются самопроизвольно намагниченными. Объем области составляет примерно 10^{-3} см³. Если к детали не приложено внешнее магнитное поле, то магнитные поля областей («доменов») направлены произвольно и компенсируют друг друга. Суммарное магнитное поле небольших областей и намагниченность детали J в этом случае равны нулю (рис. 92, а). Если на деталь

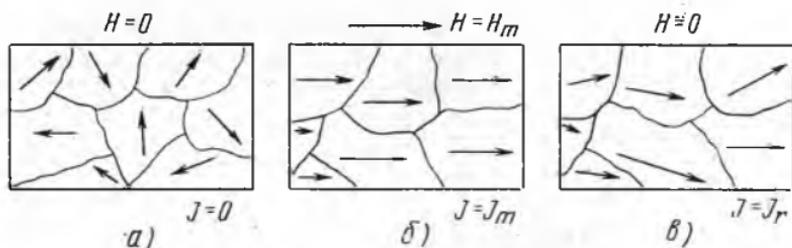


Рис. 92. Направления намагниченности «доменов» в детали: а — размагниченной, б — намагниченной, в — намагниченной до остаточной индукции

действует внешнее магнитное поле напряженностью H , то под его влиянием направление небольших магнитных полей совпадает с направлением приложенного поля (рис. 92, б), в результате образуется суммарное магнит-

ное поле и в детали устанавливается максимальная намагниченность J_m . При снятии внешнего магнитного поля намагниченность детали уменьшается до остаточной намагниченности J_r (рис. 92, в).

Материалы, которые после снятия внешнего поля оказываются слабо намагниченными, называют магнитно-мягкими (чистое железо и железо, легированное кремнием 0,5%, — электротехническая сталь, пермаллой). Материалы, которые после снятия внешнего магнитного поля остаются сильно намагниченными, называют магнитно-твердыми (хромокобальтовая сталь, ферриты и др.).

Способы намагничивания изделий. Одной из важнейших операций магнитного контроля является правильный выбор способа намагничивания проверяемых изделий. Применяют несколько способов намагничивания: полюсное, циркулярное, параллельное и контактное. На рис. 93 изображены схемы различных способов намагничивания.

При полюсном намагничивании контролируемую деталь обматывают кабелем, помещают катушку или зажимают между полюсами электромагнита. В этом случае магнитные силовые линии частично проходят по детали и частично по воздуху. На исследуемой детали образуются магнитные полюса, которые остаются после снятия намагничивающего поля.

При циркулярном намагничивании ток пропускают по детали или ее участку, или по тороидной обмотке. Пропускание тока по детали применяют для выявления дефектов, расположенных вдоль продольной оси (линии), проведенной через точки установки электроконтактов на детали.

Параллельное намагничивание осуществляется кабелем, который располагают параллельно поверхности контролируемого участка. Этот способ эффективен при использовании импульсных магнитных полей и позволяет обнаруживать трещины, идущие параллельно кабелю.

При намагничивании детали способом магнитного контакта производят перемещение по ее поверхности одного полюса электромагнита или постоянного магнита. Этим способом намагничивания выявляют трещины, ориентированные перпендикулярно направлению перемещения полюса магнита.

Магнитопорошковый метод контроля. Он является основным для обнаружения дефектов в деталях, изготовляемых из магнитных сталей. Метод этот позволяет обнаруживать места и контуры нарушения сплошности материала, расположенные на глубине от 0,01 до 2,0 мм и более. При этом методе намагниченную деталь погру-

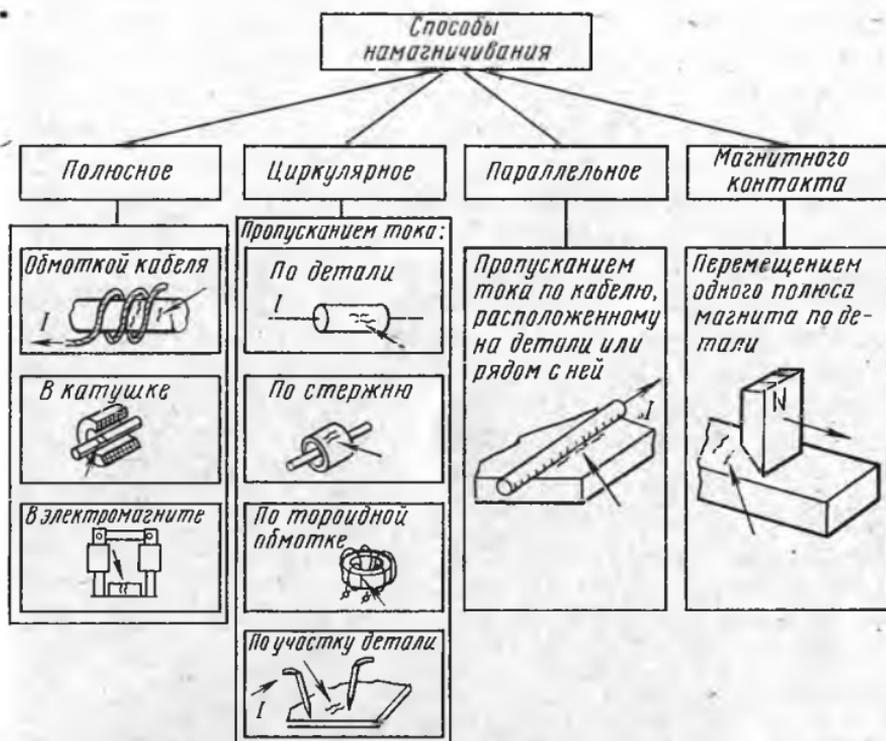


Рис. 93. Способы намагничивания деталей при магнитопорошковым контроле

жают в ванну с магнитной суспензией («мокрый» метод) или посыпают магнитным порошком («сухой» метод). Частицы магнитного порошка, попавшие в зоны магнитных полей рассеяния, оседают на поверхности изделия вблизи мест расположения дефектов. Ширина полосы, на которой происходит оседание порошка, значительно больше ширины «раскрытия» дефекта, поэтому невидимые до этого дефекты можно хорошо видеть даже невооруженным глазом. Основными операциями метода являются намагничивание детали, погружение в магнитную суспензию, исследование поверхности и расшифровка результатов контроля. Намагничивание произво-

дят продольным (полюсным) способом, циркулярным и комбинированным. Продольное намагничивание применяют в тех случаях, когда в контролируемой детали предполагаются поперечные дефекты, когда же в контролируемых деталях возможна различная ориентация дефектов, тогда применяют комбинированное намагничивание, т. е. продольное и поперечное циркулярное намагничивание одновременно. Материалом для магнитного контроля служат магнитные порошки и магнитные суспензии.

Магнитные порошки изготовляют из мелкомолотой закись-окиси железа (магнетит) с размером частиц 5—10 мкм черного или темно-коричневого цвета. При контроле изделий с темной поверхностью применяют цветные магнитные порошки (красный, серебристый, желтый). Вместо обычного порошка применяют также люминесцентный (светящийся), который обеспечивает более высокую чувствительность, так как образуются хорошо видимые скопления, если освещать изделие ультрафиолетовым светом.

Магнитная суспензия — взвесь частиц магнитного порошка в жидкости. В качестве жидкости для приготовления суспензии используют трансформаторное масло, керосин, их смеси, например масло-керосиновая смесь МКС-1 с соотношением масла и керосина 1:1 включает 50—60 г магнитного порошка на 1 л жидкости.

Для контроля изделий магнитным методом применяют дефектоскопы, т. е. установки, основными компонентами которых являются устройства для намагничивания изделий, нанесения магнитной суспензии и размагничивания контролируемых изделий. В зависимости от назначения магнитные дефектоскопы разделяют на универсальные и специализированные, по конструкции могут быть стационарными и переносными. Наиболее эффективны магнитные дефектоскопы универсального типа стационарные УДМ-9000, УДМЭ-10000 (для контроля крупных и средних по разделу изделий) и УМДЭ-2500 (для контроля изделий малого и среднего размера). Такие дефектоскопы снабжены электронным управлением, обеспечивающим плавную регулировку намагничивающего тока. К переносным дефектоскопам относят приборы ПМД-68, к передвижным — ДМП-2.

Методика контроля деталей магнитопорошковым способом требует строгой последовательности выполнения операций. Первой операцией контроля

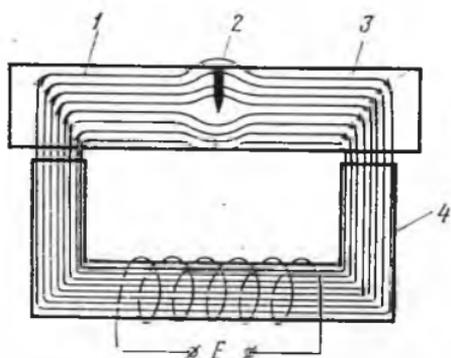


Рис. 94. Схема продольного намагничивания детали

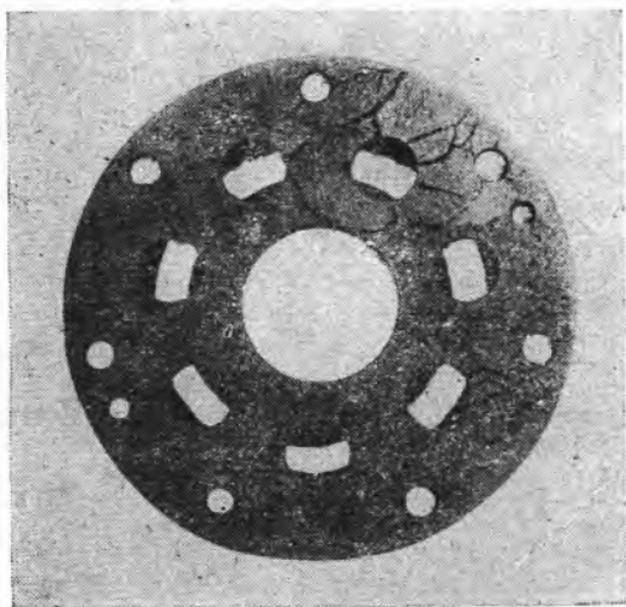


Рис. 95. Осаждение магнитного порошка на шлифовочные микротрещины диска

является намагничивание. Для этого берут очищенную от масла и загрязнений деталь 3 (рис. 94) и устанавливают ее между полюсами электромагнита 4. В тех местах, где имеется трещина 2, магнитный поток рассеивается

вается, часть магнитных линий I выходит на поверхность и образует на краях трещины местные магнитные полюса. После намагничивания деталь снимают с электромагнита и погружают ее в ванну с магнитной суспензией на 2—5 мин. Частицы магнитного порошка, попавшие в зону магнитных полей рассеяния, оседают на поверхности контролируемой детали вблизи места расположения трещины (рис. 95). Далее осматривают поверхности детали и расшифровывают результаты контроля.

Контролируемая деталь после снятия внешнего магнитного поля имеет остаточную намагниченность. Поэтому после контроля принятые годные детали размагничивают. Для этого пропускают детали через диамагнетизатор (соленоид), питаемый переменным током промышленной частоты.

Магнитографический метод контроля. Он предназначен в основном для выявления мест нарушения сплошности материала в сварных швах трубопроводов, резервуаров и листовых конструкций, изготовленных из ферромагнитных материалов. Магнитографический метод контроля включает намагничивание контролируемого участка сварного шва для создания над дефектом магнитного поля рассеяния, запись магнитного поля дефекта на магнитную ленту и последующее считывание полученной на ленте магнитограммы специальными устройствами. На магнитной ленте регистрируются тангенциальные составляющие магнитных полей, содержащие информацию о характере и величине дефектов. Источником информации о дефекте служит электрический сигнал, возникающий в чувствительном элементе (магнитной головке) воспроизводящего устройства. Этот сигнал преобразуется и наблюдается на экране электронно-лучевой трубки дефектоскопа. Намагничивание сварного шва осуществляют постоянным током одним из двух способов: дисковым электромагнитом (рис. 96, а), который перемещают вдоль шва, или соленоидом, который позволяет производить намагничивание части сварного шва или всего шва в зависимости от его протяженности (рис. 96, б).

Магнитографический контроль осуществляют следующим образом. Берут деталь со сварным швом, на шов накладывают магнитную ленту шириной ~ 35 мм и прижимают ее к шву резиновым поясом. Соприкаса-

ясь с намагниченным сварным швом, магнитная лента намагничивается, причем отдельные ее участки намагничиваются неодинаково. Большую остаточную намагниченность приобретают те участки ленты, которые будут находиться в более сильных полях рассеяния, т. е. над дефектом большей величины. После этого производят расшифровку магнитной записи на ленте специальными воспроизводящими устройствами магнитографических дефектоскопов. При движении ленты относительно магнитной головки в механизме воспроизводится сигнал, который после усиления подается на осциллограф. О наличии, месторасположении и характере дефекта судят по длительности, величине и форме импульсов на экране осциллографа.

Для магнитографического метода контроля применяют дефектоскопы МГК-1, МДУ-2У и др. Магнитографический дефектоскоп СГК-1 позволяет производить контроль сварных соединений при толщине материала до 16 мм. На экране электронной трубки одновременно возникают видимое изображение сварного шва с дефектами и импульсное изображение сигналов.

Феррозондовый метод контроля. Он основан на обнаружении и изменении магнитных полей, в том числе и полей рассеяния, которые возникают в зоне дефектов, посредством феррозондов, т. е. высокочувствительных магнитометров — приборов, позволяющих обнаруживать магнитные поля, а также определять степень намагниченности изделия по создаваемому им в пространстве магнитному полю. Обладая высокой чувствительностью, феррозонды позволяют обнаруживать поверхностные

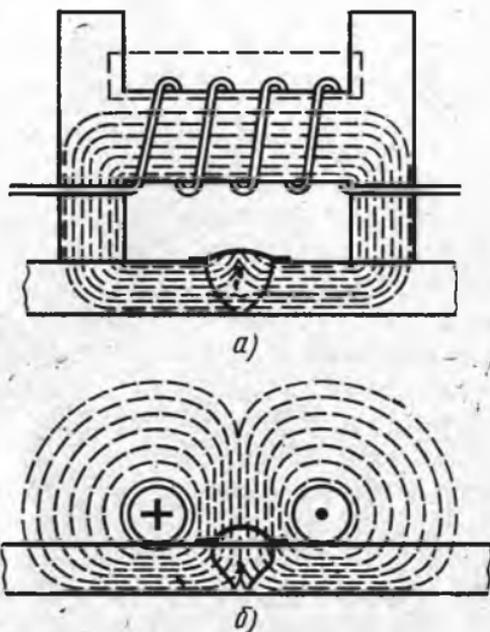


Рис. 96. Намагничивание сварного шва с помощью:

а — дискового электромагнита, б — соленоида

дефекты толщиной около 0,1—0,5 мм, залегающие на глубине 10—15 мм под поверхностью изделий. Контроль изделий феррозондами включает четыре основные операции: подготовку изделия к контролю, намагничивание, собственно контроль и размагничивание. Феррозондовый метод контроля изделий позволяет создавать автоматизированные и механизированные установки высокой производительности.

§ 8. Люминесцентная дефектоскопия

Люминесцентная дефектоскопия — это метод контроля качества материалов и изделий, при котором используют эффект свечения некоторых жидкостей (минеральных масел, некоторых солей и др.) под действием ультрафиолетового света. Люминесцентный контроль выполняют следующим образом. Проверяемую деталь очищают от жира, масел и погружают в ванну с флуоресцирующим жидким раствором, состоящим из 50% керосина, 25% бензина, 25% трансформаторного масла и 0,03% красителя (зелено-золотистого дефектоля). В этой ванне деталь выдерживают 10—25 мин. После выемки из ванны избыточную жидкость с поверхности детали удаляют промывкой в горячей воде (45—50°C). В трещинах жидкость задерживается капиллярными силами. После просушки в струе подогретого воздуха детали подвергают облучению ультрафиолетовым светом от ртутно-кварцевых ламп ПРК-2 или ПРК-4. Под действием ультрафиолетового света флуоресцирующий раствор в местах дефекта начинает светиться зелено-золотистым светом с голубым оттенком. Чувствительность люминесцентного метода позволяет обнаруживать поверхностные трещины не менее 0,02 мм.

Основным преимуществом этого метода перед магнитным и другими является возможность обнаружения тонких дефектов на изделиях из различных магнитных и немагнитных материалов. Аппаратурой для люминесцентного метода контроля служат портативные переносные дефектоскопы ЛЮМ-1 и стационарные дефектоскопы ЛД-2 и ЛДА-1. Метод люминесцентного контроля деталей довольно прост и надежен.

§ 9. Рентгенодефектоскопия

Под рентгенодефектоскопией понимают контроль качества материалов и изделий, основанный

на просвечивании их рентгеновским излучением. Рентгеновское излучение представляют собой электромагнитные волны весьма малой длины (10^{-7} — 10^{-13} м). Рентгеновское излучение не отражается от поверхности, а проникает внутрь вещества. Источниками рентгеновских излучений являются двухэлектродные рентгеновские трубки и бетатроны (электронная пушка с электромагнитным ускорителем электронов и мишенью). Жесткость, или высокая проникающая способность, рентгеновского излучения зависит от величины напряжения, приложенного к трубке.

Рентгенодефектоскопия позволяет выявить раковины, шлаковые включения, рыхлоты, трещины, изучить структуру металла и определить тип кристаллической решетки.

Рентгенодефектоскопия включает следующие основные операции: подготовку рабочего места и деталей к просвечиванию, зарядки кассет, установку аппаратуры, кассет, нумераторов, эталонов чувствительности и других принадлежностей, просвечивания — экспонирования пленки; фотообработки пленки; расшифровки негативов и оценки качества просвечиваемых деталей.

Контроль проводят в соответствии с технологическими картами, в которых указаны оптимальные условия и режимы контроля, т. е. направление просвечивания, тип и размеры пленок, кассет, усиливающих экранов, напряжение и ток на трубке, фокусное расстояние, поле облучения, экспозиция и меры защиты пленки от рассеянного излучения.

На рис. 97 изображена схема установки для просвечивания металла. Рентгеновское излучение 3, проходя по трубке 1, а затем через просвечиваемую деталь попадает на фотографическую рентгеновскую пленку 9, расположенную под усиливающим экраном 8. Интен-

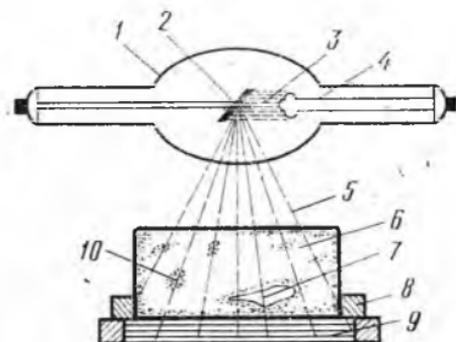


Рис. 97. Схема установки для просвечивания металла рентгеновскими лучами

1 — рентгеновская трубка, 2 — зеркало антикатода (вольфрам), 3 — поток электронов, 4 — катод, 5 — рентгеновское излучение, 6 — мелкие шлаковые включения, 7 — раковина, 8 — усиливающий экран, 9 — рентгеновская пленка в кассете, 10 — плотные шлаковые включения

сивность действия излучения на эмульсию фотопленки различна. Более интенсивными будут лучи, встретившие на своем пути нарушения сплошности (раковины) и на пленке появляются потемнения, соответствующие контуру дефекта 7. Интенсивность излучения, прошедшего через более плотные по сравнению с материалом детали участки (шлаковые включения 10), будет ослаблено и на пленке образуются более светлые участки. По результатам изменения интенсивности рентгеновского излучения, прошедшего через контролируемую деталь, определяют наличие и характер дефектов. Регистрацию изменения интенсивности прошедшего через деталь излучения производят не только фотографически посредством рентгеновской пленки (рентгенография), но и визуально — на флюоресцирующем экране (рентгеноскопия).

При рентгенодефектоскопии применяют рентгеновские аппараты РУТ-60-20-1М, РУП-120-5-1 (анод трубки охлаждается водой), РУП-150/300-10 (передвижной кабельный).

§ 10. Гамма-дефектоскопия

Этот метод контроля широко используют для обнаружения невидимых неметаллических, шлаковых и флюсовых включений, усадочных раковин, непроваров, трещин и т. п.

Наиболее важной характеристикой γ -излучения является энергия кванта. Источниками γ -излучения являются радиоактивные изотопы. В γ -дефектоскопии используют кобальт-60, цезий-137, иридий-192 и др.

Методы контроля. Источник γ -излучения устанавливают на определенном (фокусном) расстоянии от контролируемого изделия, с другой стороны изделия помещают устройство для регистрации излучения — специальную рентгеновскую пленку. Участки контролируемого изделия с дефектами ослабляют поток γ -излучения в меньшей степени, чем участки без дефектов. Изменение интенсивности излучения регистрируется индикатором, что позволяет судить о качестве контролируемого изделия. Такой метод называют радиографическим или фотографическим. Кроме того, существует метод ксерорадиографический, который основан на применении ксеропластики, теряющей

электрический заряд при воздействии излучения, ионизационный, при котором различные электрические индикаторы преобразуют интенсивность в пропорциональные ей электрические сигналы, и визуальный, позволяющий обнаружить дефекты в изделии невооруженным глазом на флюоресцирующем экране.

Гамма-дефектоскопы. Их подразделяют на портативные аппараты для фронтального просвечивания общепромышленного назначения ТУП-21, портативный планговый аппарат РИД-21М с цезиевым или иридиевым источником излучения и передвижной аппарат «Трасса» для просвечивания сварных швов газопроводов с иридиевым источником излучения.

§ 11. Ультразвуковая дефектоскопия

Ультразвуковой неразрушающий метод контроля основан на свойстве ультразвуковых волн с частотой выше 20 кГц проникать в глубь металла и отражаться от границ раздела двух различных сред или нарушений сплошности. Проникающая способность ультразвуковых колебаний (волн) значительно выше, чем рентгеновского и гамма-излучений, и поэтому, применяя ультразвук, можно обнаружить трещины, раковины, внутренние разрывы, шлаковые включения и другие дефекты (в крупных поковках, массивных валах, вагонных осях, лопастях турбин, компрессорах, сварных швах), находящиеся на глубине от нескольких десятков миллиметров до 8—9 м. Кроме того, ультразвуком можно контролировать структуру металла, определять величину зерна в сталях и графитовые включения в чугуне.

В твердом теле могут существовать продольные, поперечные, поверхностные и другие ультразвуковые волны. Скорость распространения этих волн зависит от их типа и свойств среды. Так, скорость поперечных волн для большинства материалов составляет 0,325—0,680 от скорости продольных волн в безграничной среде, скорость поверхностных волн равна примерно 0,9 скорости поперечных волн (табл. 4).

Для излучения и приема ультразвуковых волн используют обычно пьезоэлектрические преобразователи (кварц, титанат бария и др.). Преобразователи монтируют в искательных головках, служащих для поиска дефекта в контролируемом изделии. Различают три ос-

4. Скорость распространения ультразвуковых волн

Материал	Скорость распространения продольных упругих волн в безграничной среде, м/с	Скорость распространения поперечных упругих волн, м/с	Материал	Скорость распространения продольных упругих волн в безграничной среде, м/с	Скорость распространения поперечных упругих волн, м/с
Алюминий	6260	3080	Плексиглас	2670	1121
Железо	5850	3230	Вода	1500	—
Латунь	4430	2123	Воздух	331	—

новных метода ультразвуковой дефектоскопии: импульсный эхо-метод, теневой, резонансный.

Теневой метод. Этот метод основан на ослаблении ультразвука при наличии внутри изделия дефектов, создающих ультразвуковую тень.

При теневом методе используют два преобразователя: один из них излучает ультразвуковые колебания, другой принимает (рис. 98). Ультразвук входит в изделие под определенным, зависящим от толщины и свойств материала углом к поверхности. Для введения ультразвуковых колебаний и приема отраженных сигналов используют специальные искательные головки. Теневой ультразвуковой метод применяют для выявления дефектов (расслоений и закатов) в листовом прокате, плитах, трубах и т. п.

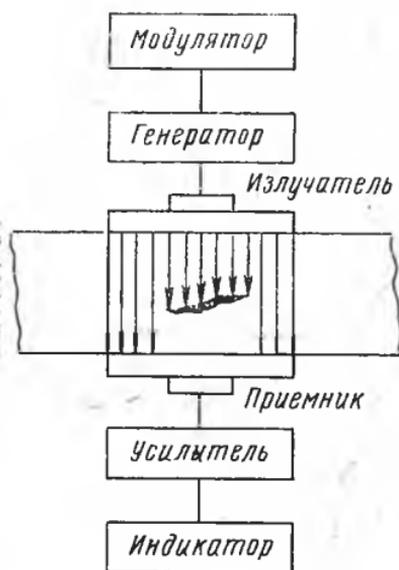


Рис. 98. Принцип действия ультразвукового дефектоскопа, основанный на теневом методе

Промышленные ультразвуковые теневые дефектоскопы представляют собой механизированные полуавтоматические установки, обычно оборудованные системой сигнализации или записи результатов контроля.

Ультразвуковой резонансный метод. Метод основан на использовании незатухающих ультразвуковых коле-

баний. Колебания высокой частоты, вырабатываемые генератором, излучаются головкой в проверяемое изделие непрерывно. Если собственная частота изделия будет равна частоте генератора, то возникает резонанс колебаний. При этом между падающими и отраженными волнами будет наблюдаться интерференция. Если толщина изделия будет равна целому числу полуволн, то возникнут стоячие волны, что и будет свидетельствовать о совпадении резонансной частоты изделия с частотой генератора. Настроив частоту генератора на резонансную частоту изделия определенной толщины, приступают к исследованию других участков этого изделия, при этом можно заметить исчезновение резонанса, что и указывает на изменение толщины или на наличие дефекта. Зная частоту излучаемого ультразвука и скорость его распространения в материале контролируемого изделия, можно определить толщину изделия в проверяемом месте или расстояние до дефекта.

Резонансный метод применяют для измерения толщины стенок труб, резервуаров, баллонов и других пустотелых металлических изделий при доступе с одной стороны.

Импульсный эхо-метод. Метод основан на посылке в контролируемое изделие коротких импульсов ультразвука и регистрации интенсивности и времени прихода сигналов, отраженных от дефекта или границ изделия. При импульсном эхо-методе наиболее часто применяют искательные головки совмещенного типа, выполняющие функции излучателя и приемника ультразвука поочередно. Импульсный эхо-метод является в настоящее время наиболее распространенным методом ультразвуковой дефектоскопии, применяемым для контроля различных изделий, в том числе крупногабаритных и сложной формы. При ультразвуковом импульсном эхо-методе используют дефектоскопы УЗДЛ-61, УДМ-1М, УЗД-7Н с искательными головками АНГ.

На рис. 99 приведены внешний вид ультразвукового дефектоскопа (а) и изображения сигналов на его экране (б). Генератором импульсов является кварцевый пьезопреобразователь искательной головки 2, излучающей импульсы упругих колебаний в контролируемое изделие 1. Этот импульс распространяется в металле, достигает дна детали, отражается от него и возвращается в искательную головку. Пьезоэлемент 3 головки

преобразует часть принятой энергии в импульс электрического напряжения, который усиливается и передается на экран 4 прибора 5 в виде изображения.

Начальный сигнал H (см. рис. 99, б) в левой части экрана соответствует моменту посылки импульса в металл. Донный эхо-сигнал D сдвинут относительно

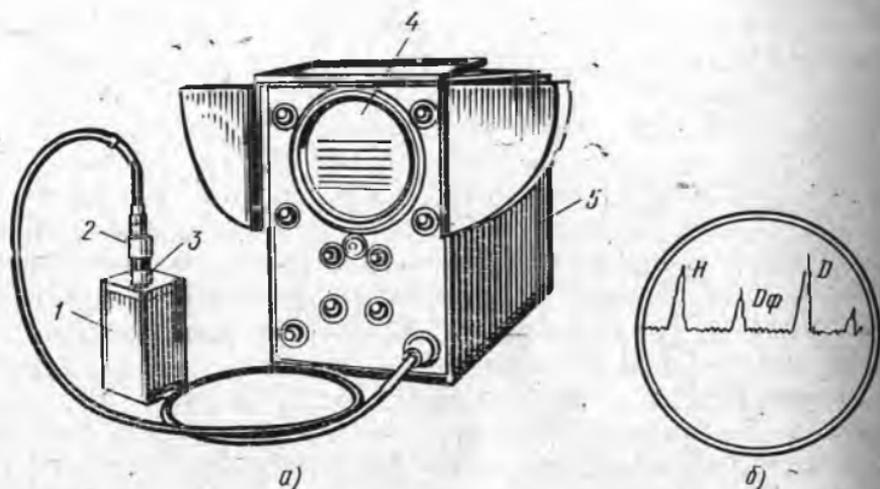


Рис. 99. Импульсный ультразвуковой дефектоскоп:

a — общий вид, b — изображение сигналов; 1 — контролируемая деталь, 2 — искательная головка, 3 — пьезоэлемент искательной головки, 4 — экран прибора, 5 — прибор, H — начальный сигнал, D — эхо-сигнал, D_ϕ — эхо-сигнал дефекта

начального на время, за которое ультразвуковые волны пройдут расстояние до нижней грани и обратно. При наличии дефекта в детали эхо-сигнал от него D_ϕ достигнет головки раньше и будет виден на экране осциллографа между начальным и донным импульсом.

§ 12. Электромагнитный метод контроля

Электромагнитный метод контроля или метод вихревых токов находит широкое применение для контроля качества термической обработки режущего инструмента, молотовых штампов, кузнечных поковок, для измерения глубины цементованного слоя и сортировки металла по маркам, а также для выявления трещин, неметаллических включений и т. д. Этот метод обладает высокой чувствительностью и может быть использован в поточных линиях для автоматического и полуавтоматического контроля.

Датчики вихревых токов. Чувствительными элементами или датчиками, которые позволяют получать сигналы о сплошности, структуре и других свойствах контролируемой детали, являются катушки индуктивности. Эти датчики (рис. 100) могут содержать в качестве концентраторов магнитного поля ферромагнитные (чаще ферритовые) сердечники различной формы. Диаметр и длина датчиков колеблются от 5 до 500 мм. От размеров применяемых датчиков (в основном от диаметра) зависит чувствительность дефектоскопа.

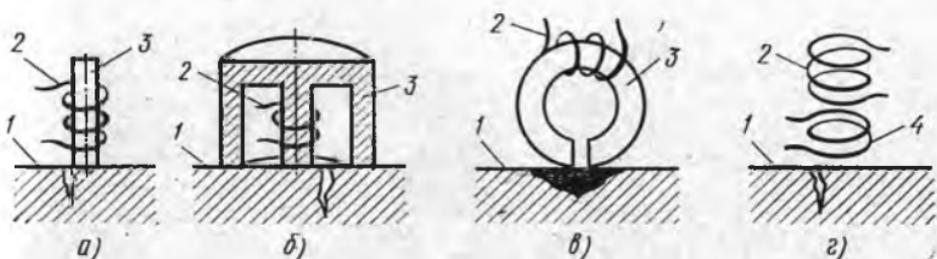


Рис. 100. Основные типы датчиков:

а, б, в — накладные параметрические с сердечником, г — накладной трансформаторный; 1 — деталь, 2 — катушка, 3 — сердечник, 4 — вторичная катушка

Наружные проходные датчики применяют для контроля сортового проката (проволоки, круглых и квадратных профилей, труб), болтов, осей, валиков и т. д. Внутренними проходными датчиками исследуют сварные и цельнотянутые трубы, отверстия машинных деталей. Экранные датчики используют для контроля листового проката (листов, лент, полос).

Возбуждение и распределение вихревых токов. На рис. 101 изображена схема возбуждения вихревых токов накладным датчиком без сердечника в кольце, сплошном материале и в материале, имеющем трещины. Из рисунка видно, что проходящий по обмотке датчика переменный ток I образует в пространстве вокруг него переменное магнитное поле с потоком Φ_0 . Чем больше магнитный поток, тем сильнее вихревые токи в контролируемом металле.

Если в переменное магнитное поле поместить металлическое кольцо шарикоподшипника (рис. 101, а), то в этом кольце по закону электромагнитной индукции наводится э. д. с. и возникает переменный ток i_k . Если в поле датчика поместить часть металлической детали,

то внутри металла во множестве замкнутых контуров, соосных с датчиком, наводятся э. д. с. и возникнут токи i_v (рис. 101, б).

Токи, возбуждаемые в металлических телах переменным магнитным полем, называют вихревыми токами. Траектории этих токов, наводимых полем цилиндрического датчика, представляют собой замкнутые

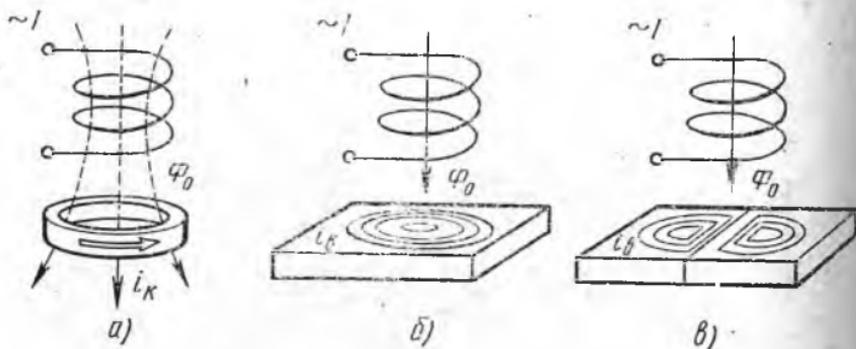


Рис. 101. Возбуждение вихревых токов:

а — в кольце, б — в сплошном материале, в — в материале с трещиной

окружности. Когда же в детали под датчиком оказывается трещина, то токи будут обтекать ее с обеих сторон, трещина разделит контуры вихревых токов на две части (рис. 101, в). При смещении датчика на другой участок контролируемой детали вихревые токи на прежнем месте исчезнут и появятся под датчиком на новом участке детали. Учитывая локальность метода вихревых токов, во время контроля необходимо датчик помещать поочередно в каждую точку контролируемой зоны.

Вихревые токи возбуждаются в металле независимо от положения датчика: прижат ли он к поверхности детали или между ними имеется воздушный зазор, смазка или защитные неметаллические покрытия.

Глубина проникновения магнитного потока и глубина развития вихревых токов при возбуждении их электромагнитным полем зависят от удельного сопротивления и магнитной проницаемости, а также от геометрических форм контролируемых деталей. Следовательно, электромагнитным методом можно исследовать только верхние слои деталей в пределах эффективной глубины проникновения вихревых токов и если электрическое сопротивление изделия велико. При средних условиях проведения испытаний эффективная глубина про-

никновения магнитного потока равна 3—4 мм, но в ряде случаев можно так подобрать режим работы дефектоскопа, что эффективная глубина проникновения даже в ферромагнитные материалы будет равна 8 мм.

При контроле деталей дефектоскопом с двумя катушками в одну катушку вкладывают испытываемую деталь, а в другую — эталон, которым является деталь, максимально соответствующая техническим условиям (рис. 102). Информация из датчиков (катушек) посту-

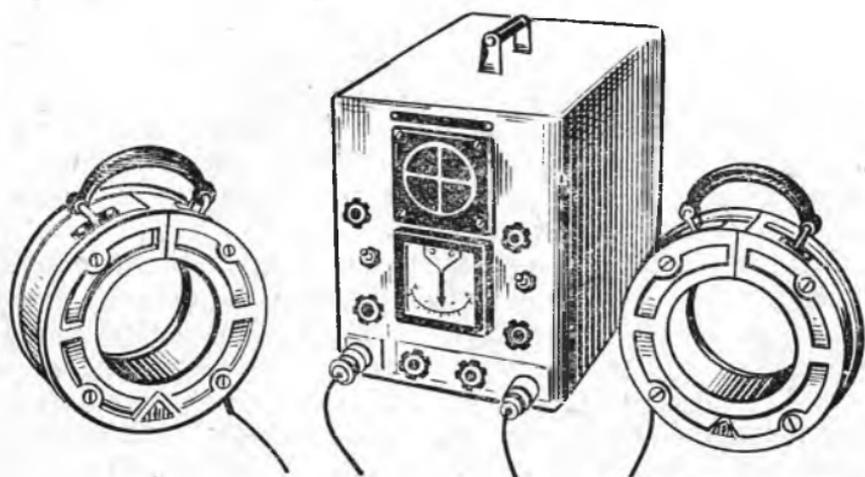


Рис. 102. Электромагнитный индукционный дефектоскоп типа ЭМИД-4

пает в специальный прибор — индуктивный дефектоскоп. Получаемые в обеих катушках сигналы от вихревых токов сравниваются, усиливаются электронным усилителем и подаются на регистрирующее устройство — электронную трубку. Если контролируемая деталь не отличается от эталона, то светящаяся кривая — осциллограмма на экране прибора будет определенной формы, характерной для годной детали.

Оборудование для контроля. Отечественной промышленностью выпускается более 20 типов дефектоскопов и автоматов. Для выявления трещин в прутках, проволоке, трубках малого диаметра применяют приборы ЭМИД-1, ЭМИД-2, для контроля стали, качества шатунных болтов, метчиков, шатунов, осей, прошедших термическую и химико-термическую обработку, широко используют дефектоскоп ЭМИД-4. К дефектоскопу

ЭМИД-4 придаются датчики различных диаметров, что дает возможность контролировать детали в широком диапазоне размеров. Вставляя в датчик специальные оправки, можно использовать датчики для контроля деталей различных форм.

§ 13. Контроль качества химико-термической обработки

В термических цехах качество деталей, подвергаемых химико-термической обработке, оценивают по глубине, микроструктуре и твердости насыщенного слоя после закалки и отпуска. Наряду с этим проверяют структуру и твердость сердцевины деталей.

На деталях, подвергаемых после цементации или нитроцементации шлифованию, глубина слоя, указанная в чертеже или ТУ, должна быть увеличена на величину слоя, снимаемого при шлифовке.

Контроль глубины насыщенного слоя, микроструктуры и твердости сердцевины проводят на «свидетелях» и образцах, забракованных после механической обработки и подвергаемых обработке вместе со всеми деталями. Контроль непосредственно на деталях применяют весьма редко и в исключительных случаях. «Свидетели» применяют только для определения глубины слоя. Обычно их изготавливают из углеродистой нормализованной стали 10 или 20 диаметром 8—10 мм и длиной 150—180 мм. Поверхность «свидетелей» должна быть гладкой и чистой, свободной от следов окалины и масляных загрязнений. Загружают «свидетели» на каждый поддон независимо от типа оборудования, на котором производят химико-термическую обработку. Контроль глубины слоя осуществляют в термическом цехе лупой по излому «свидетеля» после закалки. Часто для отличия насыщенного слоя от сердцевины излом или торец «свидетеля» протравливают раствором двухлористой меди в этиловом спирте или ацетоне.

В практике существует два метода измерения глубины цементованного и нитроцементованного слоя. При первом методе за глубину слоя принимают глубину эвтектоидной зоны и половину глубины переходной зоны. Часто за глубину слоя принимают толщину слоя, содержащего углерода более 0,4% при твердости не менее HRC50 после закалки и низкого отпуска. При втором методе цементованным считается слой до исход-

ной структуры металла. Метод определения глубины слоя до исходной структуры практически применяют на предприятиях автомобильной промышленности. Метод значительно проще, чем измерение до половины переходной зоны. Кроме того, при этом методе учитывается весь слой, полученный при цементации.

Для контроля глубины цементованного или нитроцементованного слоя изготавливают образцы из одноименных деталей, одной и той же марки стали, забракованных в механообрабатывающих цехах по геометрическим размерам. Проверку глубины слоя непосредственно по обрабатываемым деталям применяют лишь в необходимых случаях, когда требуется проверить не только глубину слоя, но и микроструктуру, и твердость поверхности и сердцевины.

Просмотр микроструктуры насыщенного слоя и сердцевины осуществляют в металлографической лаборатории на микроскопе МИМ-7 или МИМ-8 при увеличении 400^x.

§ 14. Контроль качества исходных материалов

Качество термической обработки деталей во многом зависит от качества закалочной среды, печной атмосферы, карбюризатора, состояния поверхности деталей, технологической оснастки и т. д.

Закалочные среды — минеральные масла, вода, водные растворы, расплавы солей и щелочей — проверяют на пригодность их к закалке. Чтобы получить требуемые свойства закаливаемых деталей, измеряют температуру, наличие окислов, охлаждающую способность названных сред. Закалочные расплавленные соли и щелочи (при изотермической закалке) исследуют на наличие вредных выделений и т. д.

Газовые атмосферы проверяют постоянно перед началом работы и в процессе работы печей и агрегатов. Контролю подлежат давление в рабочем пространстве печи, расход и состав газа. Забор газовой атмосферы из рабочего пространства термических печей осуществляют работники газовой лаборатории цеха при помощи герметического насоса.

Для поверхностной цементации и нитроцементации применяют газовые карбюризаторы, состоящие из природного городского газа, эндотермического газа и

аммиака. Проверяют карбюризаторы по химическому составу и науглероживающей способности. Контроль за протеканием цементации (или нитроцементации) ведут по содержанию метана, двуокиси углерода и других компонентов в отходящей атмосфере.

Перед закалкой детали проверяют на наличие окислов, заусенцев, загрязнений, контролируют качество промывки и сушки. Окислы и загрязнения могут вызвать при закалке неравномерную (пятнистую) твердость, острые кромки, заусенцы приводят к их пережогу во время нагрева металла и затем к сколу. При химико-термической обработке, например газовой цементации, тонкая масляная пленка на поверхности детали вызывает неравномерную глубину цементованного слоя.

Технологическая оснастка, состоящая из поддонов, жароупорных корзин, крючков, подвесок, крестовин и других приспособлений, работает в тяжелых условиях. Такие приспособления подвергаются воздействию высокой температуры (900—1000°C) и резкому охлаждению при закалке, что вызывает деформацию приспособлений. Поэтому перед загрузкой деталей необходимо тщательно проверять приспособления. Эксплуатационная стойкость их, как правило, находится в пределах одного года.

Контрольные вопросы

1. Какое значение имеет контроль качества исходных материалов?
2. Какими методами определяют химический состав металлов и сплавов?
3. Расскажите о контроле размеров деталей и укажите способы определения короблений.
4. Перечислите разрушающие и неразрушающие методы контроля.

ГЛАВА V. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

§ 1. Основные объекты контроля на производстве

Контроль качества продукции на предприятии играет первостепенную роль и от его совершенства, технической оснащенности и исполнения в значительной степени зависит эффективность производства.

Основными объектами технического контроля на производстве являются сырье и исходные материалы, технологические режимы и готовая продукция, вырабатываемая в производственном цехе или на предприятии.

В термических цехах входному контролю подвергают металлы, из которых изготавливают изделия и детали, закалочные масла, водные растворы солей и щелочей, науглероживающие контролируемые атмосферы, горючие газы и т. д. Входной контроль позволяет избежать снижения качества термической обработки из-за ошибок поставщика, собрать объективную информацию о поставляемых материалах и принять при необходимости эффективные меры, предупреждающие брак.

Эффективным является контроль технологического процесса, под которым понимается проверка соответствия характеристик, режимов и других показателей технологического процесса установленным требованиям. От правильного выполнения его операций зависит качество изделий, их долговечность и эксплуатационная надежность. Контроль качества изготавливаемых изделий должен непосредственно влиять на регулирование параметров технологического процесса. Так, например, если валики из стали 45 после закалки в камерной электронагревательной печи имеют неравномерную, «пятнистую», твердость на поверхности в результате обезуглероживания металла, то в технологический процесс немедленно вносят необходимые уточнения — например, увеличивают подачу в рабочую зону печи контролируемой защитной атмосферы.

При контроле необходимо точно уяснить разницу между браком и дефектной деталью. Брак — это недоброкачественная деталь. Дефектная деталь имеет отклонения от предусмотренного техническими условиями качества детали или изделия, которые можно исправить повторной обработкой. По обнаруженному в детали дефекту можно быстро определить и предупредить то или иное отклонение в технологическом процессе, которое могло бы в дальнейшем привести к браку.

Большое внимание при контроле технологических режимов следует уделять качеству и состоянию приспособлений, применяемых при цементации, закалке и отпуске, чтобы предотвратить возможные деформации деталей, образование неравномерного насыщения поверхностей углеродом или азотом и т. п.

§ 2. Классификация видов технического контроля

Неотъемлемой составной частью любой системы управления качеством является контроль, в процессе

которого осуществляется сопоставление результатов, полученных в процессе проверки, с запланированными требованиями к изделиям.

Технический контроль в зависимости от технологии и отношения производственных рабочих к производственному процессу можно классифицировать на следующие виды: контроль первичный, операционный, «летучий», активный, приемочный, инспекционный, контроль у потребителя и статистический.

Первичный контроль качества продукции выполняет производственный рабочий при незначительном участии контролера. При этом рабочий осматривает визуально или измеряет с помощью инструмента каждое изготовленное изделие и отделяет годные изделия от дефектных.

Операционный контроль — это контроль продукции, выполняемый после завершения определенной операции технологического процесса, например после закалки перед последующей операцией отпуска производится замер твердости изделия. Такой метод контроля эффективен в условиях, когда для применяемого технологического процесса характерны неуправляемые отклонения, приводящие к браку обрабатываемых изделий. При этом в процессе контроля очень важно своевременно передать информацию о качестве изделий после каждой операции. На рис. 103 приведена схема передачи информации по операциям. После операции *А* изделия поступают на контроль, затем информация о качестве проведенной операции передается на операцию *В*. Передвижение продукции по технологической цепочке и поступление информации должны быть синхронны.

Наиболее распространенным видом проверки качества продукции является «летучий» контроль, или контроль с обратной связью, при котором оценка качества отдельного изделия сообщается рабочему, изготовляющему это изделие (рис. 104). На основе полученной информации рабочий, мастер или наладчик принимает необходимые меры для поддержания заданного уровня качества производимых изделий. Находясь на производственном участке, контролер переходит от одного рабочего к другому, периодически проверяя изготавливаемые ими изделия. Обычно такой контроль проводится выборочно: для контроля берется несколько последних

изготовленных изделий и по ним определяются качество и правильность выполнения технологических режимов обработки. Результаты проверки фиксируются в журнале и обсуждаются на «площадке брака».

Активный контроль является разновидностью «летучего» контроля, но осуществляется он в процессе производства изделий при помощи измерительных инструментов и приборов.

Примером активного контроля может служить контроль газовой атмосферы в безмуфельном цементационном агрегате по показаниям приборов или датчиков для автоматического управления процессами цементации. Применение активного контроля значительно повышает производительность технологического оборудования и исключает влияние субъективных факторов на результаты контроля качества.

Приемочный контроль — это контроль готовой продукции после завершения всех процессов термической обработки. По результатам такого контроля принимается решение о пригодности продукции к поставке или использованию. Приемочный контроль в зависимости от охвата контролируемой продукции разделяется на сплошной и выборочный.

Сплошным контролем принято считать контроль, при котором решение о качестве контролируемой продукции принимается по результатам проверки каждой детали. Однако не всегда экономически целесообразно или возможно применять такой вид контроля, поэтому прибегают к выборочному контролю, при котором решение о качестве всей партии принима-



Рис. 103. Схема передачи информации по операциям



Рис. 104. Схема передачи обратной информации

ется по результатам проверки нескольких деталей, взятых наугад из партии.

Инспекционный контроль — это повторная и выборочная проверка деталей, изделий или машин, принятых на контрольных пунктах контролерами ОТК, специальной комиссией, состоящей из высококвалифицированных конструкторов, технологов и контролеров.

День проведения инспекционного контроля заранее не планируется и до сведения исполнителей не доводится. Назначается он начальником ОТК или главным инженером завода.

Контроль у потребителя занимает небольшой объем в работе контрольной службы. Обычно этот метод используют тогда, когда партия изделий из одного цеха в другой попадает с дефектами. Так, например, после термической обработки в цех моторов были поданы зубчатые колеса с повышенной деформацией шлицев по внутренним отверстиям. В практике производства изделия с обнаруженными дефектами не возвращаются изготовителю — термическому цеху, а перепроверяются контролерами термического цеха на месте.

Для повышения производительности труда с одновременным улучшением качества выпускаемых изделий на предприятиях наряду с разработкой новых технологических процессов применяют прогрессивные методы контроля. Одним из них является статистический метод контроля.

Особенностью статистического контроля качества является его тесная связь с производством. Статистический метод контроля позволяет точно и объективно анализировать качество изделий по ходу производства, своевременно выявлять возникающие отклонения на операциях и проводить необходимое и точное регулирование производственных процессов.

Первая попытка применить математические методы для рассмотрения вопросов, связанных с промышленным производством, принадлежит русскому математику М. В. Остроградскому. В своих работах он указал на возможность применения выборочного метода при контроле качества готовой продукции. В дальнейшем идеи, выдвинутые М. В. Остроградским, были развиты выдающимися отечественными математиками П. Л. Чебышевым, А. М. Ляпуновым и их учениками — академиками А. Н. Колмогоровым, В. И. Смирновым и др.

Статистический метод анализа качества продукции позволяет решать следующие задачи:

1. Выбирать лучший технологический процесс из всех возможных, а потом объективно оценивать стабильность и качество применяемого процесса.

2. Определять погрешности измерительных средств.

3. Получать необходимые данные для получения нужного качества готовой продукции в условиях регулярного наблюдения за ее изготовлением, своевременно информировать исполнителей о появлении каких-либо нарушений технологического процесса.

4. Проводить грань между случайным и неслучайным, между главным и второстепенным, выделять из множества мелких и незначительных погрешностей главные, наиболее опасные отклонения от нормального хода технологического процесса.

В процессе изучения и выявления отклонений все получаемые результаты контроля и измерений изображаются в виде графиков, контрольных диаграмм и гистограмм.

На рис. 105 приведена гистограмма распределения твердости на поверхности валика водяного насоса, изготовленного из стали 40X. Горизонтальная ось делится на интервалы твердости (HRC) и на каждом из них строится прямоугольник, высота которого пропорциональна частоте (m) выборочных проб, откладываемых по вертикальной оси. Из гистограммы видно, что частота отклонений твердости от нижнего и верхнего пределов (52—62) на поверхности валиков незначительна. На основе этой информации технологический процесс закалки необходимо корректировать.

§ 3. Организация технического контроля на предприятии

Технический контроль качества продукции на предприятии является составной частью всего производст-

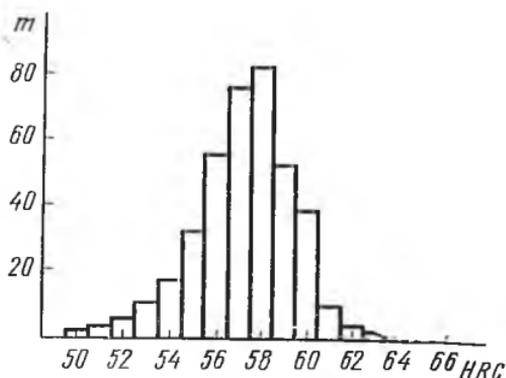


Рис. 105. Гистограмма распределения твердости на поверхности закаленного валика водяного насоса

венного процесса и осуществляется отделом технического контроля.

В настоящее время технический контроль рассматривается как неотъемлемый элемент системы управления качеством продукции, задачей которого является предотвращение выпуска предприятием продукции, не удовлетворяющей техническим требованиям при минимально возможном количестве внутриводского брака. Основные функции по осуществлению на предприятии контроля качества возлагаются на отдел технического контроля — ОТК, который является самостоятельным структурным подразделением предприятия. Руководителем отдела является начальник ОТК. Он осуществляет административно-хозяйственное руководство, отвечает за всю работу отдела и подчиняется непосредственно директору завода. Действующие схемы организации отдела технического контроля различны и зависят от характера и условий производства.



Рис. 106. Типовая схема организации ОТК

На рис. 106 приведена примерная схема ОТК предприятия автомобильной промышленности. Основное направление деятельности аппарата ОТК — наблюдение за качеством продукции в процессе производства, осуществляемое через цеховые бюро технического контроля (БТК). Структура ОТК и основные обязанности работ-

ников технического контроля вытекают из функций, возлагаемых на эту службу на предприятии. Основными функциями ОТК являются входной контроль за качеством поступающего сырья, материалов, комплектующих изделий, сбор информации о стабильности качества продукции, поступающей от предприятий-поставщиков, филиалов завода, оформление соответствующих актов для предъявления рекламаций поставщикам, осуществление приемочного контроля по всем операциям технологического процесса в цехах, изготавливающих детали, узлы, агрегаты и машины в целом в соответствии с требованиями ГОСТ, конструкторской документации и т. д.

Работники ОТК призваны не только проверять изготовленную продукцию, но и активно контролировать технологический процесс, по которому изготавливают изделия, участвовать в проверке оборудования на технологическую точность, контролировать качество изготавливаемых предприятием инструмента и технологической оснастки и т. д. Кроме того, на ОТК возлагается обязанность проводить инспекционный контроль хранения сырья, материалов, полуфабрикатов, следить за упаковкой и консервацией готовой продукции, проверять наличие маркировки, Знака качества на готовых изделиях и участвовать в организационно-исследовательских работах по управлению качеством выпускаемой продукции.

Функции службы ОТК завода разнообразные и ответственные, поэтому каждый контролер должен понимать, что от его работы зависит в целом работа отдела технического контроля завода.

§ 4. Основные функции контролеров в термических цехах

Основными функциями контролеров в термических цехах являются:

1. Предупреждение брака и дефектов деталей, т. е. своевременное обнаружение отступлений от технических условий и требований чертежа, своевременная проверка и изъятие из производства изношенного инструмента, приспособлений и т. д.

2. Изъятие и изоляция брака от годных деталей.

3. Своевременное оформление установленных актов на брак.

4. Контроль качества цементации и нитроцементации, азотирования, закалки и отпуска по глубине цементованного слоя, по твердости, микроструктуре, по деформациям, чистоте поверхности деталей и т. д.

5. Выдача накладных — первичного документа на принятую годную продукцию для отправки ее цеху-получателю. При оформлении контрольных документов контролер обязан четко и аккуратно внести необходимые данные в бланк документов, расписаться и приложить присвоенный ему штамп.

6. Систематически вести учет и анализ причин брака, выявленного внутри термического цеха и у потребителя — в механообрабатывающих цехах.

Большая роль отводится контролеру ОТК при контроле продукции, получаемой после изменения запланированных технологических режимов. Так, например, при переводе нагрева деталей под закалку с нагревательной печи на автоматизированный закалочно-отпускной агрегат контролер должен строго периодически проверять твердость деталей и после закалки, и после отпуска. На основе полученных результатов контроля и их анализа контролер должен сделать вывод о качестве деталей, обрабатываемых по новой технологии на автоматизированном закалочно-отпускном агрегате.

§ 5. Права и обязанности работников ОТК

Права контролера. В процессе производства контролер имеет право:

приостановить обработку продукции и прекратить приемку изделий в случае явного или массового брака, отступления от технологического процесса, работы на неисправном оборудовании и приспособлениях и в других случаях, оговоренных должностной инструкцией для контролера, с немедленным сообщением об этом контрольному мастеру и обязательным предупреждением мастера или старшего по смене производственного участка; требовать от рабочего-оператора, наладчика и производственного мастера устранения причин брака;

не принимать продукцию, если на рабочем месте нет операционных технологических карт; требовать от контрольного мастера или начальника БТК цеха обеспечения рабочих мест контрольно-измерительными сред-

ствами, указанными в технологических картах контроля, и необходимой технической документацией.

При определении качества продукции контролер ОТК выполняет только распоряжения контрольного мастера, начальника БТК цеха и администрации ОТК завода.

Технологи и административно-технический персонал цеха и завода не имеют права давать контролеру какие-либо распоряжения, относящиеся к определению и оценке качества продукции.

Обязанности контролера. Контролер ОТК подчиняется сменному контрольному мастеру, а на заводе, где нет мастера, — непосредственно начальнику БТК цеха и от него получает все указания и распоряжения по работе.

Контролер выполняет технический контроль на порученном ему участке. Он обязан знать установленный порядок предъявления продукции на приемку ОТК и требовать его выполнения. Контролер должен уметь читать чертежи и технологические операционные карты, знать номера, наименования и назначение принимаемых им деталей, уметь правильно выполнять все контрольные операции, указанные в технологии, и определять годность изготовленной продукции, характер и причины возникшего брака. Контролер оформляет документацию на принятую и забракованную продукцию в установленном на заводе порядке. Он производит клеймение проверенной продукции контрольными клеймами. Наличие контрольного клейма является подтверждением того, что принятая продукция прошла контроль ОТК.

Контролер должен постоянно предупреждать появление брака на обслуживаемом участке. Рабочее место контролера должно содержаться в образцовом порядке, на рабочем месте не должно быть посторонних предметов и контролируемых деталей. Чертежная и технологическая документация должна находиться на видном месте и в хорошем состоянии.

Контролер обязан в течение смены проверить всю предъявленную ему на контроль продукцию и оформить на нее документацию. Передача контролером непринятой продукции допускается в тех случаях, когда по производственной необходимости цех или участок работает в три смены. Это в основном относится к предприятиям массового производства.

§ 6. Новые формы организации технического контроля

На предприятиях машиностроительной промышленности Саратова, г. Горького, Тольятти и других разработаны и внедрены новые эффективные формы или системы организации технического контроля продукции.

На предприятиях Саратова впервые в нашей стране внедрена система бездефектного производства продукции. Она основана на организационных, технических и воспитательных мероприятиях. Идеологической основой саратовской системы является воспитание у каждого работника предприятия чувства высокой личной ответственности за качество выполняемой работы. Перед рабочими-операторами ставится задача не допускать дефектов ни на одной из выполняемых операций технологического процесса и сдавать продукцию отделу технического контроля с первого предъявления. При этой системе работы контролер ОТК проверяет предъявленную ему работу рабочим-оператором и принимает ее в случае отсутствия в ней дефектов. Если в процессе проверки обнаруживается первый дефект, приемка прекращается и вся партия изделий, включая и принятые, возвращается к рабочему на доработку. На вторую проверку возвращенная продукция принимается контролером ОТК только после письменного объяснения начальника цеха. В этом объяснении начальник цеха излагает причины появления обнаруженного дефекта и указывает принятые мероприятия по предупреждению такого явления.

Рабочим-операторам, систематически предъявляющим свою продукцию без единого дефекта, предоставляется право работать с «личным клеймом» без проверки ОТК и выплачивается дополнительная премия. Личное клеймо вручается рабочему-оператору начальником ОТК завода по письменному представлению начальника производственного цеха и начальника БТК.

Система мероприятий по повышению качества продукции, разработанная на саратовских предприятиях, позволяет значительно снизить удельный объем операций по приемочному контролю и дает возможность конкретно оценить качество труда каждого рабочего-оператора.

Большое внимание получила внедренная на предприятиях г. Горького система управления каче-

ством продукции и обеспечения качества надежности и ресурса с первых изделий — КАНАРСПИ. Основной особенностью новой системы КАНАРСПИ является доводка до нужного уровня качества изделий до начала серийного производства за счет проведения широкой программы испытаний деталей, узлов и машины в целом на надежность.

Параллельно с этим разрабатываются оптимальные технологические режимы, позволяющие обеспечить требуемую надежность деталей и сопряжений.

При системе КАНАРСПИ работники ОТК совместно с конструкторами и технологами ведут большую работу по совершенствованию методики контроля, проводят тщательный анализ стендовых и дорожных испытаний и внедряют физические неразрушающие методы контроля.

Система КАНАРСПИ предусматривает обязательное внедрение саратовского метода — сдачи продукции с первого предъявления.

На Волжском автозаводе в г. Тольятти внедрен прогрессивный метод контроля всех деталей на линии термической обработки по двум основным параметрам: твердости и глубине цементованного и нитроцементованного слоя. Он принципиально отличается от существующих ныне методов контроля на других предприятиях машиностроения.

По методу Волжского автозавода на каждую деталь составляется карта контроля. В карте указываются технологические операции, подлежащие тому или иному контролю, количество контролируемых деталей, методы разрушающего и неразрушающего контроля деталей, тип приспособления, оснастки, оборудование и приборы для контроля, места контроля на деталях, таблицы и другие технические данные. В соответствии с этими документами и определяется качество деталей после термической обработки. Контроль производится после каждого вида термической обработки.

Твердость поверхности деталей проверяется непосредственно в цехе и на пунктах контроля ОТК неразрушающим физическим методом на приборе типа «Бриро», а глубина закаленного слоя — визуально при помощи увеличительной лупы (25×) с разрушением детали, шлифованием и последующим травлением реактивами. Определение глубины слоя и твердости рабочей поверхности зубчатых колес-шестерен производится в боксе

контроля, где твердость зуба с поверхности и в сердцевине проверяется на приборе Роквелла, твердость сердцевины колеса — методом микротвердости.

Если на контроле деталей в боксе обнаруживаются отклонения от технических условий, то данная деталь отправляется в металлургическую лабораторию цеха для более тщательного контроля. В лаборатории проводится полный анализ детали: определяется марка стали, структура, содержание углерода и т. д.

Контроль деформаций деталей после термической и химико-термической обработки производится в механико-обрабатывающих цехах. На пункте ОТК контролируется лишь коробление ведомой шестерни заднего моста по плоскости. Контроль производится на приборе «Солекс».

На каждую окончательно проверенную деталь составляется карточка, направляемая в бокс контроля, где сведения суммируются и составляется сводка за сутки и за неделю. По составленной сводке начальник производственного участка и технолог анализируют результаты работы по качеству и, если необходимо, вводят соответствующие коррективы.

Внедрение новых форм организации технического контроля на предприятиях характеризуется переходом от отдельных разрозненных мероприятий к разработке прогрессивных систем управления качеством продукции во всех отраслях промышленности народного хозяйства СССР.

§ 7. Клеймение продукции, принятой ОТК

Одной из многих обязанностей контролеров службы ОТК является обязательное клеймение или маркировка продукции, принятой на контрольном участке производственного цеха.

Клеймо или знак, налагаемый на продукцию с целью указания происхождения, принадлежности или для регистрации, ставится для того, чтобы:

1. Отличить годную продукцию от дефектной или от брака.

2. Повысить личную ответственность контролера ОТК за свою работу по приемке продукции.

При клеймении детали или инструмента работники ОТК используют различные виды клейм. Для необработанных (сырых) деталей применяют стальные

закаленные клейма с выгравированными цифрами, заключенными в различные формы. Для термически обработанных деталей, имеющих высокую поверхностную твердость, используют резиновые клейма, смачиваемые серной или соляной кислотой. На инструментах: сверлах, метчиках, червячных фрезах, изготовляемых из высоколегированных сталей Р18, Х12М, Р9 и подвергаемых термической обработке, наносят надписи электрографом.

На детали, на которые нельзя поставить клеймо, например на шатунные болты автомобильного двигателя, наносят водный раствор медного купороса, после чего на зачищенной лыске головки болта отчетливо выделяется медный слой, означающий, что деталь годная.

Место клеймения на изделии указывается в чертеже или технологической карте. Все клейма и штампы выдаются контролерам на основании разрешения начальника БТК цеха. Учет клейм ведется в специальном журнале.

§ 8. Техническая документация контроля и ее оформление

Основной технической документацией контроля на предприятии являются ГОСТы, технические условия, рабочие чертежи, технологические карты, инструкции, технические справочники и т. п.

Государственные общесоюзные стандарты (ГОСТы) обязательны для всех отраслей промышленности. В стандартах даются: основная характеристика продукции, гарантийные сроки, основные требования к качеству изделий, методика испытаний, вид упаковки для внутреннего потребителя, условия поставки и т. д.

Технические условия (ТУ) — документ, входящий в комплект технической документации на промышленную продукцию (изделия), в котором указываются требования к продукции, правила приемки и поставки, метод контроля, условия упаковки, транспортирования и хранения. Технические условия составляются в соответствии с ГОСТом, утверждаются и регистрируются органами Госстандарта СССР. Они имеют ограниченный срок действия.

Рабочий чертеж (изображение на плоскости) является одним из главных технических документов. На

чертеже указываются все размеры, припуски и допуски, необходимые для изготовления деталей и контроля их качества. Кроме того, на чертеже приводятся данные о материале, термической обработке, твердости, чистоте поверхности и т. д.

Система допусков и посадок служит техническим документом, обеспечивающим взаимозаменяемость, виды сопряжений и точность изготавливаемых деталей. Обычно на контрольных участках БТК имеются справочные таблицы и альбомы допусков, посадок и обозначения классов шероховатости в соответствии с ГОСТ 2789—73.

Технологические карты разрабатываются технологом термического цеха, согласовываются с работниками БТК цеха и утверждаются главным металлургом завода.

В своей работе контролер или мастер постоянно руководствуется технологическими картами и инструкциями, так как в них указывается все необходимое для контроля качества продукции. Технология контроля является составной частью всего технологического процесса производства деталей в термических цехах предприятия.

Документом для оформления бракованной продукции в цехе является «Извещение на брак окончательный». В этом извещении имеются два отрывных талона: в корешке дается характеристика брака по видам и причинам, наименование деталей, их количество, дата и шифр брака. Такое извещение вместе с бракованными деталями направляется в «Изолятор брака».

Вторая, отрывная, часть извещения называется «Талоном извещения», в нем указывается наименование деталей, их количество, шифр брака, операция, № цеха. «Талон извещения» направляется в планово-диспетчерское бюро (ПДБ) цеха. Подписывают талон контролер ОТК, контрольный мастер и начальник производственного участка.

Накладные для передачи принятых годных деталей и узлов из цеха отправителю получателю оформляет и подписывает контролер, принявший продукцию, и подпись свою скрепляет штампом ОТК. На крупных предприятиях типа Московского автозавода имени Ленинского комсомола обработка всех данных в накладных осуществляется на станции автоматизированных систем управления (АСУ).

§ 9. Технический учет и анализ брака

Для выработки и проведения действенных мер, направленных на повышение качества промышленной продукции, необходимо вести правильный технический учет и анализ брака, получаемого в производственных цехах.

В термическом цехе, как и в других производственных цехах, ведется достаточно строгий учет брака и рассматриваются его причины. Для этого два-три раза в неделю «на площадке брака» собираются начальник БТК, ведущий технолог и старший мастер производственного участка для рассмотрения или разбора брака, возникшего в процессе работы участка. При рассмотрении или разборе на столе выставляются детали с характерными видами того или иного брака, указывается количество забракованных деталей, в какую смену и фамилия сменного мастера. После обсуждения, выяснения причин возникновения брака намечаются меры по его устранению. Если обнаруживаются недостатки в технологическом процессе, порождающие дефект или брак, технолог, как представитель технической части или технического бюро, безотлагательно принимает меры.

В результате совещания «на площадке брака» выясняются причины брака и намечаются пути его устранения. В протокол совещания заносятся конкретные сроки и фамилия работника, которому поручается провести мероприятия. Ответственность за выполнение принятого решения возлагается на начальника БТК термического цеха.

Бюро технического контроля (БТК) в термическом цехе представляет и защищает интересы цеха. Все претензии по качеству одной или партии деталей, заявленные цехом-потребителем, рассматриваются БТК, который высылает на место своего представителя для рассмотрения существа претензий, их обоснованности и соответствия требованиям технических условий. Рассмотрение претензий проводится совместно с мастером БТК механообрабатывающего цеха.

При заявлении механообрабатывающим цехом обоснованной претензии предъявленную партию деталей рассортировывают, а дефектные детали либо возвращают для исправления в термический цех, либо исправляют их силами цеха-потребителя. На возвращаемую партию

составляют «Акт на дефектные изделия», по которому диспетчерская служба вносит корректив в количественный учет поставок.

В случае получения претензий от внешних потребителей (рекламация брака) к потребителю высылает инспектор по браку, который после разбора претензии подписывает двусторонний акт; в акте излагается совместное решение, принятое по поводу предъявленной партии деталей.

Если детали не могут быть исправлены и не могут быть использованы с имеющимся в них дефектом, они по двустороннему акту списываются в окончательный брак. Акты на брак могут иметь юридическую силу тогда, когда они подписаны представителем ОТК завода поставщика.

Контрольные вопросы

1. Какое значение для роста производительности труда имеет контроль качества?
2. Клеймение продукции, принятой ОТК, и его значение.
3. Назовите основные виды брака в термических цехах и меры его предупреждения.

ГЛАВА VI. СВЕДЕНИЯ О СТАНДАРТИЗАЦИИ И КАЧЕСТВЕ ПРОДУКЦИИ

§ 1. Стандартизация и ее основные задачи

Одной из основных и важных задач по обеспечению качества продукции является стандартизация. Стандартизация — это установление уровня норм и требований к физическим и размерным величинам, сырью и продукции массового производства на основе общих мер, однообразия понятий качественной однородности, взаимозаменяемости и взаимосвязанного размерного ряда. Стандартизация — величайшее изобретение инженерной мысли и ускоритель научно-технического прогресса, охватившее промышленность и технику всех промышленно развитых стран мира.

Стандартизация основывается на объединенных достижениях науки, техники и практического производственного опыта и определяет основу не только настоящего, но и будущего развития, и осуществляется нераз-

равно с научно-техническим прогрессом. Стандартизации отводится весьма большая роль в решении задач по обеспечению качества продукции.

Основными целями стандартизации являются ускорение научно-технического прогресса, повышение производительности труда, повышение качества выпускаемой продукции, обеспечение условий для увеличения экспорта товаров высокого качества, отвечающих требованиям мирового рынка, обеспечение охраны здоровья населения и безопасности труда работающих и т. д.

Из указанного перечня основных задач стандартизации видно, что главные из них связаны с повышением производительности общественного труда и обеспечением качества продукции, выпускаемой нашей промышленностью, а также с обеспечением безопасности труда и охраны здоровья населения.

§ 2. Категории стандартов и объекты стандартизации

Установленные при стандартизации нормы и требования на все товары и продукцию оформляются в виде документов, называемых стандартами. Стандарты лежат в основе всех методов массового производства. В СССР единственной формой стандартов являются Государственные стандарты (ГОСТы), обязательные к применению во всех отраслях народного хозяйства всеми организациями и предприятиями союзного, республиканского и местного подчинения.

Стандарты подразделяются на категории: государственный общесоюзный — ГОСТ; отраслевой — ОСТ; республиканский — РСТ; предприятий — СТП.

Проекты государственных стандартов в нашем народном хозяйстве разрабатываются научно-исследовательскими и проектными институтами, конструкторскими бюро предприятий по заданию Министерств и ведомств в соответствии с ежегодно утверждаемыми планами работ по стандартизации.

Государственные стандарты утверждаются Государственным комитетом стандартов Совета Министров СССР. Отраслевые стандарты утверждаются Советами Министров союзных республик. Стандарты предприятий утверждаются руководством предприятий.

Государственные стандарты устанавливаются на группы продукции или отдельные ее виды и, как пра-

вило, содержат полную техническую характеристику стандартизуемой продукции. Они предусматривают, какие типы, виды, марки, артикулы, формы и размеры изделий и материалов должны выпускаться и с какими качественными показателями и нормами. Одновременно предусматриваются правила приемки и методы испытаний, необходимые для проверки установленных норм, требований и характеристик.

Каждое предприятие, выпускающее продукцию, несет ответственность перед государством и потребителем. За поставку продукции, не соответствующей требованиям стандартов, некомплектной, в ненадлежащей таре и упаковке, с нарушением требований к маркировке, с конструктивными недостатками и другими дефектами предприятие несет ответственность, предусмотренную основами гражданского законодательства. В случае поставки продукции, не отвечающей требованиям стандартов, покупатель или получатель может отказаться от ее приемки и оплаты. Должностные лица промышленных предприятий за выпуск недоброкачественной продукции или несоответствующей ГОСТу также несут ответственность, предусмотренную уголовным законодательством союзных республик.

§ 3. Организация Государственного надзора и ведомственного контроля

Составной частью Государственной системы стандартизации является ее подсистема — государственная система надзора за качеством, внедрением и соблюдением стандартов.

Контроль за внедрением и соблюдением стандартов осуществляется органами государственного и ведомственного контроля за внедрением и соблюдением стандартов и технических условий. Главным в работе этих органов является содействие предприятиям по своевременному внедрению стандартов, соблюдению требований действующих стандартов и технических условий.

Государственный надзор за внедрением и соблюдением стандартов осуществляется Госстандартом СССР, республиканскими, областными (краевыми) и городскими лабораториями Госнадзора за стандартами и измерительной техникой. К участию в Государственном надзоре могут привлекаться работники научно-исследо-

вательских институтов, ведомственные инспекции по качеству, а также работники ОТК передовых предприятий. В основные функции органов Государственного надзора входят:

1. Надзор за выполнением мероприятий, обеспечивающих своевременное внедрение государственных стандартов.

2. Надзор за состоянием, организацией и работой органов стандартизации в отраслевых министерствах.

3. Надзор за состоянием и выпуском информации о действующих, вновь вводимых и отмененных ГОСТах.

4. Внесение предложений о пересмотре устаревших стандартов и технических условий и замене их новыми.

5. Проведение анализа с целью обобщения результатов Государственного надзора и разработки мероприятий по его совершенствованию и т. п.

Министерства и ведомства осуществляют ведомственный контроль за внедрением и соблюдением стандартов всех категорий и технических условий на предприятиях, в научно-исследовательских институтах, конструкторских бюро и других организациях промышленности народного хозяйства.

§ 4. Единая система технической документации

В период ускоренного научно-технического прогресса разработка и внедрение единой системы технической документации на предприятиях и организациях СССР играет большую государственную роль. Эта система способствует повышению эффективности общественного производства, сокращает сроки массового и серийного производства изделий машиностроения в 2—3 раза, ускоряет создание и освоение новой техники в народном хозяйстве страны и улучшает качество товарной продукции.

К Единой системе технической документации относятся: Единая система конструкторской документации, Единая система технологической подготовки производства, Единая система классификации, кодирования и технико-экономической информации и т. п.

Единая система конструкторской документации (ЕСКД) — это комплекс государственных стандартов, устанавливающих взаимосвязанные правила и положения по порядку разработки, оформле-

ния и обращения конструкторской документации, разрабатываемой и применяемой организациями и предприятиями Советского Союза.

Создание ЕСКД — это не просто замена существовавших ранее в этой области стандартов новыми, а введение совершенно новой системы.

Основное назначение стандартов ЕСКД заключается в установлении в организациях и промышленных предприятиях единых правил выполнения, оформления и обращения конструкторской документации, обеспечивающих возможность взаимобмена конструкторскими документами между предприятиями и организациями, стабилизацию комплектности, исключаящую дублирование и разработку не требуемых производству документов, механизацию и автоматизацию обработки технических документов и содержащейся в них информации и т. п.

Установленные стандартами ЕСКД правила по разработке, оформлению и обращению документации распространяются на все виды документов.

Обозначение стандартов ЕСКД строится на классификационном принципе. Так, например, в стандарте ЕСКД «Виды изделий» ГОСТ 2.101—68: «ГОСТ» обозначает категорию стандарта, 2 — класс стандартов ЕСКД, 1 — означает группу, двузначное число, стоящее за ним — порядковый номер стандарта ЕСКД в данной группе (в этом примере 01); двузначное число после тире — две последние цифры года регистрации утвержденного стандарта (в данном случае 1968 г.).

§ 5. Метрологическая служба и ее задачи

Метрология — наука об измерениях, методах достижения их единства и требуемой точности. Она является научной основой всей измерительной техники, применяемой в науке и производстве. Метрологическая служба осуществляет стандартизацию единиц физических величин, их воспроизведение с помощью эталонов, передачу размеров единиц на все применяемые в стране средства измерения, государственные испытания новых образцов средств измерений и надзор за ними, соблюдение стандартов и качества выпускаемой продукции и т. д.

Измерением называют нахождение значения физической величины опытным путем при помощи спе-

специальных технических средств. Вместо определения действительных размеров часто проверяют, находится ли действительный размер или какой-либо другой показатель качества изделия в установленных пределах. Процесс установления соответствия действительных размеров или значений других показателей качества номинальным называют контролем.

Метод измерения — совокупность способов, приемов и условий измерения, характеризуемых видом используемых измерительных средств, методом получения и оценки значений измеряемой величины, базированием измеряемого объекта. Измерения делятся на прямые и косвенные.

Прямые измерения — измерения, при которых искомая величина определяется непосредственно по показанию прибора или по отклонению размера изделия от установленной меры. Так, например, при измерении твердости металла на приборе Роквелла число твердости определяют непосредственно по шкале прибора.

Косвенные измерения характеризуются тем, что искомая величина определяется косвенно по результатам прямых измерений величин, связанных с искомой определенной зависимостью. Например, измерение угла при помощи синусной линейки.

Цена деления шкалы — разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы, например, 0,002 мм при длине (интервале) деления шкалы прибора, равной 1 мм.

Интервал деления шкалы (деление шкалы) — это расстояние между осями симметрии двух соседних штрихов; определяет удобство, точность и надежность отсчета.

Точность отсчета — это точность, достигнутая при отсчете показаний прибора.

Предел показаний шкалы прибора — значение измеряемой величины, соответствующее всей шкале прибора и численно равное произведению цены деления на число делений шкалы.

Пределы измерения прибора в целом — это наибольшее и наименьшее значения размеров, которые могут быть измерены данным прибором.

Чувствительность прибора — это способность прибора реагировать на изменения измеряемой величины, выражаемая отношением линейного или угло-

вого перемещения указателя (или перемещении шкалы при неподвижном указателе) к изменению измеряемой величины, вызвавшему это перемещение.

Погрешности показаний прибора — разность между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины.

Допустимая погрешность — это наибольшая погрешность значения меры или соответственно прибора, регламентируемая нормами.

Контролеры ОТК применяют многие и разнообразные измерительные средства и приборы — от универсальных средств — штангенинструментов, оптико-механических и оптических измерительных приборов, специальных средств измерений до автоматических средств контроля.

Метрология призвана обеспечивать единство и достоверность измерений во всех отраслях народного хозяйства, являющихся важным средством ускорения научно-технического прогресса, повышения эффективности производства и улучшения качества выпускаемой продукции.

Проверка мер и измерительных приборов проводится в соответствии с требованиями ГОСТ 8.002—7 «Организация и порядок проведения проверки, ревизии и экспертизы средств измерений».

§ 6. Система управления качеством продукции

В процессе производственной деятельности коллективов промышленных предприятий создаются материальные ценности, необходимые для удовлетворения потребности общества. Все многообразие создаваемых материальных ценностей принято называть продукцией. Каждый вид продукции обладает большим набором специфических свойств, позволяющих отличить конкретный вид продукции от любого другого. Объективную особенность продукции, проявляющуюся при ее создании, потреблении и эксплуатации называют свойством. Совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением, называют качеством продукции.

Качество продукции закладывается в процессе научных изысканий, конструкторских и технологических

работок, создается в процессе производства, но проявляется или реализуется лишь в процессе эксплуатации.

Качество продукции, как объект управления формируется во всех стадиях производства. Следовательно, управление качеством, как и управление производством, должно охватывать проектную, подготовительную и непосредственно производственную стадии подготовительного процесса.

Для установления уровня качества продукции применяют метод сравнения совокупности показателей качества контролируемой продукции с соответствующей совокупностью базовых (требуемых) показателей. Относительный показатель, полученный сравнением этих величин, называется уровнем качества.

Для объективной оценки качества любой продукции ее свойства необходимо охарактеризовать количественно. Такую количественную характеристику свойств продукции, рассматриваемую применительно к определенным условиям ее создания, эксплуатации или потребления, называют показателем качества продукции.

Если показатель качества отражает одно свойство изделия, например, грузоподъемность, мощность двигателя автомобиля, то его называют единичным.

Показатель качества продукции, относящийся к нескольким ее свойствам, называют комплексным.

При оценке уровня качества продукции приняты следующие технико-экономические показатели: назначения, надежности и долговечности, технологичности, эстетические, стандартизации и унификации, патентно-правовые, экономические и др.

Показатели назначения — одна из важнейших групп показателей качества, характеризующих назначение, область применения, производительность, конструктивные и другие специфические особенности изделия. Показатели назначения часто используются в качестве основы классификации продукции. Так, например, грузовые автомобили классифицируются по грузоподъемности и проходимости по дорогам, легковые — по скорости и мощности двигателя, гидронасосы — по производительности и т. д.

Показатель надежности — главный пока-

затель качества продукции, выпускаемой машиностроительными предприятиями. Надежность определяется четырьмя факторами: безотказностью, долговечностью, ремонтнопригодностью и сохраняемостью.

Показатель безотказности определяет свойство изделия сохранять работоспособность в течение некоторой наработки без вынужденных перерывов.

Показатель долговечности характеризует свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для проведения технического обслуживания и ремонта.

Показатель ремонтнопригодности определяет приспособленность изделия к предупреждению, обнаружению и устранению в нем отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов. Этот показатель характеризуется затратами труда, времени и средств на поддержание и восстановление работоспособности изделия.

Показатель сохраняемости определяет свойство изделия сохранять заданные эксплуатационные показатели в течение и после срока хранения и транспортирования.

Показатель технологичности характеризует соответствие конструкции машины и ее узлов и деталей условиям современного производства, рациональности использования материалов, приспособленности к применению прогрессивных технологических процессов и повышению производительности труда, т. е. требованиям экономичной технологии изготовления.

Эстетические показатели качества характеризуют внешний вид продукции, ее соответствие современному стилю, гармоничность всех частей и деталей спроектированного нового изделия или машины. Они имеют огромное значение в процессе проектирования новых машин, помогают облечь технически и экономически обоснованные инженерно-конструкторские идеи в зримую эстетически полноценную форму.

Показатели стандартизации и унификации характеризуют степень использования и применения в машинах стандартизованных и унифицированных деталей и узлов.

Патентно-правовые показатели качества включают показатель патентноспособности и показатель патентной чистоты.

Патентноспособным изделие является тогда, когда оно содержит технические решения, которые могут быть признаны изобретением в одной или нескольких зарубежных странах.

Патентная чистота обозначает возможность использования объекта (машин, приборов) в данном государстве без нарушения прав действующих патентов на изобретения, закрепленных за каким-либо третьим лицом.

Показатели качества продукции разделяются на три основные группы: единичные γ_1 , отражающие отдельные свойства, комплексные γ_k , являющиеся функцией группы единичных показателей, и обобщающие $\gamma_{об}$ как функции комплексных показателей.

Для проведения оценок уровня качества выбирают эталон, образец, показатели качества которого принимаются за базовые. В качестве эталона может быть принят отечественный или зарубежный стандарт.

§ 7. Аттестация качества продукции

Система аттестации качества продукции является одним из важных элементов системы государственного управления качеством продукции.

Госстандартом СССР утверждены «Основные положения единой системы аттестации качества промышленной продукции», которая объединяет действующие в промышленности системы государственной, отраслевой и заводской аттестации. В соответствии с этой системой аттестации качества подлежит вся продукция предприятия, а также единичные и уникальные изделия, имеющие важное значение в народном хозяйстве.

Вся продукция, выпускаемая предприятиями-изготовителями, аттестуется по трем категориям качества: высшей, первой и второй.

К высшей категории относится продукция, соответствующая или превосходящая по своим технико-экономическим показателям высшие достижения отечественной и зарубежной науки и техники. Этой продукции присваивается государственный Знак качества. К первой категории относится продукция, которая соответствует по своим технико-экономическим показателям современным требованиям действующих стандартов и технических условий. Ко второй ка-

тегории относится продукция, которая не соответствует по своим технико-экономическим показателям современным требованиям, морально устарела и подлежит модернизации или снятию с производства.

Аттестация качества продукции производится систематически. Срок действия высшей и первой категорий устанавливается на один — три года. После истечения срока действий продукция подвергается повторной аттестации.

Контрольные вопросы

1. Что такое стандартизация и какие ее основные задачи?
2. Расскажите о категориях и объектах стандартизации.
3. Метрологическая служба и ее основные задачи.
4. Расскажите об основных категориях качества продукции.

ГЛАВА VII. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ, ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ И ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ

§ 1. Техника безопасности на территории предприятия

Охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда и предупреждение профессиональных заболеваний и производственного травматизма составляют одну из главных забот Советского государства. Важнейшие достижения науки и техники поставлены на службу трудовому человеку, подчинены интересам улучшения условий труда.

Предупреждение несчастных случаев, создание нормальных условий, гарантирующих человеку безопасность у станка, у нагревательных печей, на территории предприятия и на любом рабочем месте во многом зависит от самих рабочих, от знаний правил техники безопасности и строгого их выполнения. Поэтому при поступлении на работу каждый рабочий должен пройти обязательный вводный инструктаж, проводимый инженером по технике безопасности предприятия.

На территории завода, во дворе, в здании, на подъездных шоссе и железнодорожных путях рабочий должен быть внимательным к сигналам, подаваемым водителями движущегося транспорта, крановщиками электрокранов, и не находиться под поднятым грузом,

Категорически запрещается проходить в местах, не предназначенных для прохода, подлезать под стоящий железнодорожный состав и перебегать путь впереди идущего транспорта. Молодой рабочий, пришедший на завод работать, должен помнить, что дисциплинированность и соблюдение правил техники безопасности на территории предприятия являются важными условиями сохранения жизни и здоровья человека.

Для безопасного движения и предупреждения травматизма во дворе предприятия опасные места имеют ограждение, предупредительные надписи, звуковую и световую сигнализацию.

На крупных предприятиях для управления движением транспорта (автомобилей, электрокар и т. п.) устанавливаются пост ГАИ.

§ 2. Техника безопасности в термических цехах

Все вновь поступающие на работу рабочие-термисты и контролеры ОТК должны пройти первичный инструктаж. Он проводится мастером участка на рабочем месте до начала работы. В его программу входит ознакомление нового рабочего с устройством оборудования, на котором предстоит работать, со всеми опасными местами машины, печи, установки, их назначением и правилами пользования, безопасными приемами работы.

При работе на газовых термических печах безопасность труда обуславливается степенью механизации производственных процессов, состоянием оборудования, соблюдением технологии и строгим выполнением правил техники безопасности.

При работе на электропечах и индукционных электроустановках термист должен хорошо знать правила их эксплуатации и следить за исправностью токоведущих частей.

Работа у соляных печей-ванн требует особого внимания и строгого выполнения всех мер предосторожности. Работать у соляных, селитровых ванн рекомендуется в очках и рукавицах. Детали в ванны нужно загружать сухие и подогретые, так как влажные и холодные детали могут вызвать выбрасывание солей из тигля. Вылившиеся горячие соли следует засыпать сухим песком, ни в коем случае не заливая их водой или огнеупорной смесью.

Средствами техники безопасности являются также сигнализации: световая, звуковая, прибороуказательная и др. Для обслуживания печей, ванн, закалочных агрегатов, в которых обрабатываются тяжелые детали массой более 20 кг, должны быть предусмотрены соответствующие подъемные приспособления и устройства.

На производственных участках цеха на видных местах вывешиваются предупредительные знаки и плакаты, напоминающие рабочим о правилах техники безопасности.

Рабочее место термиста, контролера ОТК должно быть хорошо освещено, поверхность пола от печей до закалочных баков, приборов управления и т. п. должна быть ровной и сухой. На рабочем месте не должно быть ничего лишнего.

§ 3. Техника безопасности при работе на рентгеновских аппаратах и гамма-установках

На предприятиях машиностроения в состав служб неразрушающего контроля качества входят лаборатории радиационной дефектоскопии: рентгеновская лаборатория при ЦЗЛ и изотопная лаборатория. Они располагаются в отдельных помещениях, оборудованных необходимыми защитными средствами. В помещениях, где размещены рентгеновские аппараты и гамма-установки, должна быть эффективная вентиляция, обеспечивающая хороший обмен воздуха. Мытье полов в лабораториях должно быть не реже 2—3 раз в смену.

Контролеры или лаборанты, работающие с источниками ионизирующих излучений, должны строго выполнять инструкции по технике безопасности, ежеквартально проходить специальный инструктаж и периодически в соответствии с санитарными правилами подвергаться медицинскому осмотру.

§ 4. Производственная санитария

Производственная санитария — это совокупность мероприятий, выполняемых с целью охраны здоровья трудящихся. В нашей стране обеспечение безопасных и здоровых условий труда является общегосударственной задачей.

Безопасности и оздоровлению труда в термических цехах способствует комплексная механизация технологических процессов, операций загрузки и разгрузки нагревательных печей, применение теплозащитных экранов, внедрение приточно-вытяжной вентиляции для оздоровления атмосферы в цехе, водяного и воздушного душа и т. д.

Для оказания первой помощи в термических цехах имеется аптечка. В крупных цехах оборудованы медицинские пункты, в которых дежурной медицинской сестрой или врачом оказывается первая помощь или выдается направление в заводскую поликлинику.

§ 5. Электробезопасность при работе

Действие электрического тока на человеческий организм сводится к двум основным видам поражения: электрическим травмам и электрическим ударам.

Электрические травмы — это выраженные местные повреждения тканей организма, вызванные воздействием электрического тока или электрической дуги. Различают следующие электрические травмы: электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи и механические повреждения.

Электрический удар — это возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц.

Исход воздействия электрического тока на человека зависит от сопротивления его тела, от величины и длительности протекания тока, от рода и частоты тока, индивидуальных свойств человека и других факторов.

Величина тока, протекающего через тело человека, является главным фактором, от которого зависит исход поражения: чем больше ток, тем опаснее его действие. Человек начинает ощущать протекающий через него ток относительно малого значения: 0,6—1,5 мА (при 50 Гц). Этот ток называется пороговым ощутимым током.

Ток 10—15 мА (при 50 Гц) вызывает сильные и болезненные судороги мышц рук, которые человек преодолеть не в состоянии и оказывается как бы прикованным к токоведущим частям. Такой ток называется пороговым неотпускающим.

Ток 100 мА называют смертельным. Он непосредственно влияет на мышцы сердца, вызывая его остановку.

Чтобы полностью обезопасить работу с электрооборудованием, необходимо обеспечить недоступность токоведущих частей, находящихся под напряжением; устранить опасность поражения при появлении напряжения на корпусах, кожухах и других частях электрооборудования. С этой целью применяют защитное заземление путем соединения с землей корпусов оборудования — приваривания стальных пластинок или труб к корпусам электромашин, зануление, задачей которого является устранение опасности поражения человека током при пробое на корпус.

Лица, не достигшие 18-летнего возраста, к работе на электротермических установках не допускаются.

§ 6. Первая помощь пострадавшему от электрического тока

Исход поражения током зависит от длительности прохождения его через человека, поэтому необходимо как можно быстрее освободить пострадавшего от токоведущих частей. Если отключить установку быстро нельзя, то надо перерезать или перерубить провода (при напряжении не выше 1000 В) или оттянуть пострадавшего от токоведущих частей, отбросить от него провод и т. п. Обрезать провод следует инструментом с изолированными рукоятками или в диэлектрических перчатках. Брать пострадавшего следует за одежду, если она сухая, в противном случае обмотать свои руки сухой одеждой. Провод, которого касается пострадавший, следует отбрасывать сухой доской, палкой и другими предметами.

Навыки в оказании первой помощи пострадавшим от электрического тока, а также при ранении, переломах, ожогах и других несчастных случаях приобретаются на специальных занятиях, которые должны проводить квалифицированные лица медицинского персонала.

§ 7. Противопожарные мероприятия в цехе и на предприятии

Пожары на машиностроительных предприятиях представляют большую опасность для работающих и

приводят к огромному ущербу. Пожарная безопасность должна быть обеспечена мерами пожарной профилактики и активной пожарной защиты.

Пожарная профилактика является важным фактором, предупреждающим возникновение пожаров. Она включает в себя комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров, предотвращение распространения огня, устройство путей эвакуации людей и материальных ценностей и создание условий быстрой ликвидации пожаров.

Противопожарные мероприятия в термических цехах заключаются в основном в регулярной очистке трубопроводов от сажи, поддержании в исправном состоянии газопроводов, маслоохладительной системы, отводе циркулирующего масла, чтобы избежать его перелива через борта баков.

Курить разрешается только в специально отведенных для этого местах.

После окончания работы рабочий обязан собрать все промасленные тряпки, обтирочные концы и сложить их в железный ящик.

Легковоспламеняющиеся вещества — керосин, ацетон и другие хранят только в закрытых сосудах, металлических шкафах и специальных помещениях.

На предприятиях и в цехах должны быть противопожарные посты, где находятся необходимый пожарный инвентарь, пенные огнетушители и ящики с сухим песком.

В случае возникновения пожара в цехе необходимо сразу сообщить мастеру или старшему по смене и вызвать пожарную команду, а до ее прибытия организовать тушение пожара, используя для этого огнетушители, песок, воду и др.

Для борьбы с загораниями и оказания помощи пожарным подразделениям во время пожара в цехах создаются добровольные пожарные дружины (ДПД), в которые входят ИТР, мастера и лучшие рабочие цеха.

Контрольные вопросы

1. Какое значение имеет охрана труда и техника безопасности на предприятии?
2. Что такое производственная санитария и какова ее роль в оздоровлении труда?
3. Расскажите о мерах, проводимых в цехах по обеспечению электробезопасности.
4. Назовите основные противопожарные мероприятия.

ЛИТЕРАТУРА

Берков В. И. Технические измерения (альбом). — М.: Высшая школа, 1977.

Бурумкулов Ф. Х. и др. Стандартизация и качество машин. — М.: Издательство стандартов, 1975.

Герасимов В. Г. и др. Неразрушающий контроль качества изделий электромагнитными методами. — М.: Энергия, 1975.

Гуляев А. П. Металловедение. — М.: Metallургия, 1978.

Морозов Б. М. и др. Контроль качества продукции в машиностроении / Под ред. А. Э. Артеса. — М.: Издательство стандартов, 1974.

Николаев Е. Н. и Коротин И. М. Термическая обработка металлов токами высокой частоты. — М.: Высшая школа, 1977.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I. Основы металловедения и термической обработки	4
§ 1. Понятия о металловедении	4
§ 2. Понятие о макро- и микроструктуре металлов и сплавов	6
§ 3. Понятие о фазовых превращениях в сплавах	8
§ 4. Диаграммы состояния двухкомпонентных систем	9
§ 5. Диаграмма состояния железо—углерод	15
§ 6. Превращения в сплавах при тепловой обработке	21
Глава II. Термическая обработка стали	28
§ 1. Отжиг и нормализация	28
§ 2. Закалка стали	32
§ 3. Отпуск, старение и обработка холодом	37
§ 4. Термическая обработка легированных сталей	39
§ 5. Термическая обработка чугуна	40
§ 6. Термическая обработка цветных сплавов	42
§ 7. Поверхностное упрочнение	44
§ 8. Химико-термическая обработка стали	46
§ 9. Оборудование термических цехов	49
§ 10. Приборы для измерения температуры	66
§ 11. Приборы для контроля расхода и состава газа	73
§ 12. Приборы для определения атмосферы по точке росы	77
Глава III. Технологический процесс термической обработки изделий	79
§ 1. Понятие о производственном и технологическом процессах	79
§ 2. Основные правила разработки технологических процессов термической обработки	81
§ 3. Выбор оптимальных режимов термической обработки	81
§ 4. Технологическая документация и ее виды	82
§ 5. Типовые технологические процессы термической обработки осей и валов	83
§ 6. Типовые технологические процессы термической обработки зубчатых колес	85
§ 7. Типовые технологические процессы термической обработки инструмента	88
§ 8. Технологические процессы термической обработки отливок и поковок	91
Глава IV. Контроль качества термической обработки	95
§ 1. Визуальные методы контроля	95
§ 2. Контроль размеров и выявление деформаций деталей	102
§ 3. Определение химического состава и отбор образцов для анализа	111
§ 4. Механические испытания металлов и сплавов	113
§ 5. Контроль структуры металлов	130
§ 6. Основные физические методы неразрушающего контроля	137
§ 7. Магнитная дефектоскопия	138

§ 8. Люминесцентная дефектоскопия	140
§ 9. Рентгенодефектоскопия	146
§ 10. Гамма-дефектоскопия	148
§ 11. Ультразвуковая дефектоскопия	149
§ 12. Электромагнитный метод контроля	152
§ 13. Контроль качества химико-термической обработки	156
§ 14. Контроль качества исходных материалов	157
Глава V. Организация технического контроля	158
§ 1. Основные объекты контроля на производстве	158
§ 2. Классификация видов технического контроля	159
§ 3. Организация технического контроля на предприятии	163
§ 4. Основные функции контролеров в термических цехах	165
§ 5. Права и обязанности работников ОТК	166
§ 6. Новые формы организации технического контроля	168
§ 7. Клеймение продукции, принятой ОТК	170
§ 8. Техническая документация контроля и ее оформление	171
§ 9. Технический учет и анализ брака	173
Глава VI. Сведения о стандартизации и качестве продукции	174
§ 1. Стандартизация и ее основные задачи	174
§ 2. Категории стандартов и объекты стандартизации	175
§ 3. Организация Государственного надзора и ведомственного контроля	176
§ 4. Единая система технической документации	177
§ 5. Метрологическая служба и ее задачи	178
§ 6. Система управления качеством продукции	180
§ 7. Аттестация качества продукции	183
Глава VII. Техника безопасности, электробезопасности и противопожарные мероприятия на предприятии	184
§ 1. Техника безопасности на территории предприятия	184
§ 2. Техника безопасности в термических цехах	185
§ 3. Техника безопасности при работе на рентгеновских аппаратах и гамма-установках	186
§ 4. Производственная санитария	186
§ 5. Электробезопасность при работе	187
§ 6. Первая помощь пострадавшему от электрического тока	188
§ 7. Противопожарные мероприятия в цехе и на предприятии	188
Литература	190