

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Д.П. Ильященко, Е.А. Зернин, С.А. Чернова

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»**

*Рекомендовано УМО РАЕ по классическому университетскому
и техническому образованию в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений, обучающихся
по направлениям подготовки 150700 «Машиностроение»,
110800 «Агроинженерия», 130400 «Горное дело»*

2-е издание

Издательство
Томского политехнического университета
2016

УДК 621.791(075.8)

ББК 34.641я73

И49

Ильященко Д.П.

И49 Лабораторный практикум по дисциплине «Технология конструкционных материалов»: учебное пособие / Д.П. Ильященко, Е.А. Зернин, С.А. Чернова ; Юргинский технологический институт. – 2-е изд. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 170 с.

ISBN 978-5-4387-0671-7

В учебном пособии содержатся лабораторные и практические работы по основным разделам курса «Технология конструкционных материалов»: «Основные свойства металлов и сплавов», «Металлургия», «Литейное производство», «Обработка металлов давлением», «Сварка, обработка металлов резанием и изготовление изделий из неметаллических материалов». Особенностью данного учебного пособия является сочетание в нем материалов по теоретической и практической подготовке студентов.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям 150700 «Машиностроение», 110800 «Агроинженерия», 130400 «Горное дело».

УДК 621.791(075.8)

ББК 34.641я73

Рецензенты

Доктор физико-математических наук, профессор
главный научный сотрудник Института физики прочности
и материаловедения СО РАН

В.И. Данилов

Главный сварщик ОАО «Металлургмонтаж»

А.А. Ермаков

ISBN 978-5-4387-0671-7

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ Юргинский
технологический институт (филиал), 2012

© Ильященко Д.П., Зернин Е.А.,
Чернова С.А., 2012

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа № 1. Исследование влияния термической обработки на механические свойства стали.....	5
Лабораторная № 2. Исследование влияния температуры на пластичность и сопротивление деформированию	13
Лабораторная № 3. Исследование влияния обработки давлением на макроструктуру и механические свойства металлов	17
Лабораторная работа № 4. Разработка технологического процесса изготовления отливок	20
Лабораторная работа № 5. Обработка заготовок на станках токарной группы.....	36
Лабораторная работа № 6. Разработка технологического процесса холодной листовой штамповки.....	62
Лабораторная работа № 7. Исследование дугового разряда между угольными электродами.....	75
Лабораторная работа № 8. Статическая вольт-амперная характеристика дуги с неплавящимся электродом	80
Лабораторная работа № 9. Макроструктурный анализ	84
Лабораторная работа № 10. Микроструктурный анализ.....	92
Лабораторная работа № 11. Структура, свойства и применение чугунов	104
Практическая работа № 1. Принципы классификации углеродистых сталей, обозначение марок, области применения	112
Практическая работа № 2. Разработка технологического процесса изготовления деталей методом порошковой металлургии	140
Список литературы	149
Приложение А	150
Приложение Б	151
Приложение В.....	153
Приложение Г	155
Приложение Д.....	158
Приложение Е.....	162
Приложение Ж.....	173
Приложение И	175

ВВЕДЕНИЕ

«Технология конструкционных материалов» является базовой дисциплиной при подготовке студентов высших технических учебных заведений.

По данной дисциплине известны работы отечественных авторов, которые были учтены при написании данного учебного пособия. К ним, прежде всего, относятся работы А.М. Дальского, И.А. Арутюнова, Т.М. Барсукова, Гаврилюка, Л.Н. Бухаркина, Г.П. Фетисова, М.Г. Карымана, В.М. Матюнина, Ю.П. Солнцева, В.А. Веселова, В.П. Демянцевича, Ю.М. Лахтина, В.П. Леонтьева, Ю.А. Геллера, А.Г. Рахштада и др.

В данный практикум входит 11 лабораторных и 2 практических работы по разделам курса: «Основные свойства металлов и сплавов», «Металлургия», «Литейное производство», «Обработка металлов давлением», «Сварка, обработка металлов резанием и изготовление изделий из неметаллических материалов».

Описания лабораторных работ условно можно разделить на две части. В первой части приводятся краткие теоретические сведения, необходимые студентам для подготовки к самостоятельному выполнению работы, во второй даются методические указания по выполнению работ и составлению письменных отчетов.

Самостоятельное выполнение лабораторных работ способствует более полному усвоению теоретического материала, выводит на более высокий уровень инженерно-технического мышления.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ

Цель работы

Целью работы является исследование влияния термической обработки на механические свойства углеродистых сталей.

Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Измерить твердость образцов из углеродистой стали в исходном состоянии.
2. Произвести термическую закалку образцов и измерить твердость.

Оборудование, приборы и материалы

1. Образцы из сталей различных марок.
2. Прибор для измерения твердости металлов и сплавов по методу Роквелла модели ТК-14-250.
3. Эталоны твердости.
4. Электродпечь сопротивления, камерная лабораторная СНОЛ-1,6.2,5.1/11-И2.
5. Клещи.

Теоретическая часть

1. Термическая обработка сплавов

Основная цель технологического процесса термической обработки заключается в том, чтобы нагревом до определенной температуры, выдержкой и последующим охлаждением вызвать желаемые изменения структуры металла и получения заданных свойств.

Закалка – термическая обработка, которая заключается в нагреве стали до температуры выше критической (A_3 для доэвтектоидной и A_1 – для заэвтектоидной сталей), в выдержке и последую-

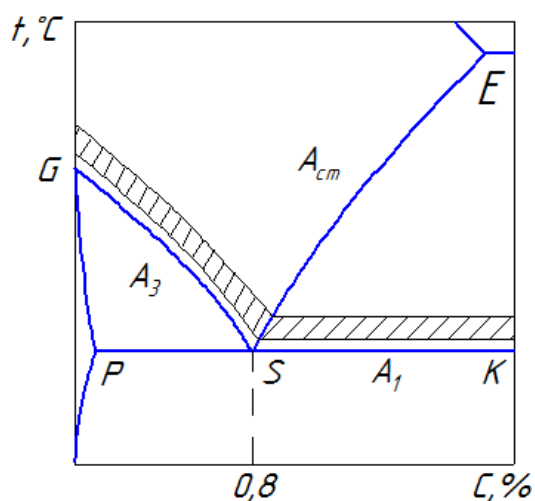


Рис. 1.1. Оптимальные температуры нагрева под закалку углеродистых сталей

щем охлаждении в воде (для углеродистых сталей). После закалки повышается твердость и прочность.

2. Твердость как характеристика механических свойств металлов

В лабораториях и заводских условиях применяют различные способы определения твердости металлов для характеристики их механических свойств. Твердость металлов измеряют при помощи воздействия на поверхность металла наконечника, изготовленного из малодеформирующегося материала (твердая закаленная сталь, алмаз, твердый сплав) и имеющего форму шарика, конуса, пирамиды.

Наибольшее применение получило измерение твердости вдавливанием. В результате вдавливания достаточно большой нагрузкой поверхностные слои металла, находящиеся под наконечником и вблизи него, пластически деформируются. После снятия нагрузки остается отпечаток. Твердость, определенная вдавливанием наконечника, характеризует сопротивление пластической деформации и представляет собой механическое свойство металла. Измерение твердости – это механические испытания поверхностных слоев материала.

Между твердостью пластичных металлов, определяемой способом вдавливания, и другими механическими свойствами (главным образом, пределом прочности, т. е. временным сопротивлением при растяжении) существует количественная зависимость. Величина твердости характеризует предел прочности металлов, получающих в испытаниях на растяжение сосредоточенную пластическую деформацию (шейку), а именно сталей (кроме сталей с аустенитной и мартенситной структурой) и многих цветных сплавов. Это связано с тем, что при испытаниях на растяжение наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению и отнесенной к его первоначальной площади (предел прочности), отвечает сосредоточенная пластическая деформация (образование шейки), а не разрушение образца. Такая пластическая деформация аналогична деформации, создаваемой в поверхностных слоях металла при измерении твердости вдавливанием наконечника.

Подобная количественная зависимость не наблюдается для хрупких материалов, которые при испытаниях на растяжение разрушаются без заметной пластической деформации, а при измерении твердости получают пластическую деформацию. Однако в ряде случаев и для этих металлов (например, серых чугунов) наблюдается количественная зависимость между пределом прочности и твердостью; возрастанию твердости обычно соответствует увеличение предела прочности на сжатие. По значениям твердости можно определить и некоторые пластические свойства металлов. Твердость, определенная вдавливанием, характери-

зует также предел выносливости некоторых металлов, в частности, меди дюралюмина и сталей в отожженном состоянии.

Измерение твердости по технике выполнения значительно проще, чем определение прочности, пластичности и вязкости. Испытание твердости не требует изготовления специальных образцов и выполняется непосредственно на проверяемых деталях после зачистки на поверхности ровной горизонтальной площадки, а иногда и без такой подготовки. Измерения твердости выполняются быстро.

Измерение твердости обычно не влечет за собой разрушение проверяемой детали, и после измерения ее можно использовать по своему назначению, в то время как для определения прочности, пластичности и вязкости необходимо изготовление специальных образцов из детали.

Между временным сопротивлением при растяжении σ_B (пределом прочности) и числом твердости НВ (твердостью по Бринеллю) для различных металлов установлена примерная зависимость, приведенная в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Зависимость между σ_B и НВ

Материал	Формула зависимости σ_B и НВ
Сталь с твердостью: • НВ 120–175; • НВ 175–450	$\sigma_B = 0,34 \cdot \text{НВ}$ (МПа) $\sigma_B = 0,35 \cdot \text{НВ}$ (МПа)
Медь, латунь, бронза: отожженная наклепанная	$\sigma_B = 0,55 \cdot \text{НВ}$ (МПа) $\sigma_B = 0,4 \cdot \text{НВ}$ (МПа)
Алюминий и алюминиевые сплавы с твердостью НВ 20–45	$\sigma_B = (0,33 \dots 0,36) \text{НВ}$ (МПа)
Дюралюмин: • отожженный; • после закалки и старения	$\sigma_B = 0,36 \cdot \text{НВ}$ (МПа) $\sigma_B = 0,35 \cdot \text{НВ}$ (МПа)

Многие способы измерения твердости пригодны для оценки различных по структуре и свойствам слоев металла, например поверхностного слоя цементованной, азотированной или закаленной стали, имеющей разную твердость по сечению детали. Методом определения микротвердости можно также измерять твердость отдельных составляющих в сплавах. Для полной характеристики свойств металла необходимо наряду с измерением твердости проводить остальные механические испытания. Поскольку при измерении твердости в большинстве случаев детали не разрушаются, то эти измерения можно применять для сплошного контроля деталей.

Выбор формы, размеров и величины нагрузки зависит от целей испытания, структуры, ожидаемых свойств, состояния поверхности и размеров испытываемого образца.

Для металла, имеющего гетерогенную структуру с крупными выделениями отдельных структурных составляющих, различных по свойствам (серый чугун, цветные подшипниковые сплавы), для испытания твердости следует выбирать шарик большого диаметра.

Для металла, имеющего сравнительно мелкую и однородную структуру, испытания можно проводить вдавливанием тела меньшего размера, например конуса или пирамиды, и на меньшую глубину, следовательно, при небольшой нагрузке.

Для металлов с высокой твердостью (закаленная или низкоотпущенная сталь) необходимы испытания при небольшой нагрузке, поскольку вдавливание стального шарика или алмаза с большой нагрузкой может вызывать деформацию шарика или скалывание алмаза. Однако значительное снижение нагрузки нежелательно, так как это приведет к резкому уменьшению деформируемого объема и может дать значения, нехарактерные для основной массы металла.

Измеряя твердость разными способами (по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу), возникает необходимость перевода твердости в другие единицы твердости, в этом случае предлагается воспользоваться табл. 1.2.

Таблица 1.2

Ориентировочные соотношения значения твердости

<i>HV</i>	<i>HB</i>	<i>HRC</i>	<i>HRB</i>	<i>HRA</i>		<i>HV</i>	<i>HB</i>	<i>HRC</i>	<i>HRB</i>	<i>HRA</i>
1234	—	72	—	84		228	229	20	100	61
1116	—	70	—	83		222	223	19	99	60
1022	—	68	—	82		217	217	17	98	60
941	—	66	—	81		213	212	15	97	59
868	—	64	—	80		208	207	14	95	59
804	—	62	—	79		201	201	13	94	58
746	—	60	—	78		197	197	12	93	58
694	—	58	—	78		192	192	11	92	57
650	—	56	—	77		186	187	9	92	57
606	—	54	—	76		183	183	8	90	56
587	—	52	—	75		178	179	7	90	56
551	—	50	—	74		174	174	6	89	55
534	477	49	—	74		171	170	4	88	55
502	461	48	—	73		166	167	3	87	54
474	444	46	—	73		162	163	2	86	53
460	429	45	—	72		159	159	1	85	53
435	415	43	—	72		155	156	—	84	—
432	401	42	—	71		152	152	—	83	—

401	388	41	–	71		149	149	–	82	–
390	375	40	–	70		148	146	–	81	–
386	363	39	–	70		143	143	–	80	–
361	352	38	–	69		140	140	–	79	–
344	341	36	–	68		138	137	–	78	–
334	331	35	–	67		134	134	–	77	–
320	321	33	–	67		131	131	–	76	–
311	311	32	–	66		129	128	–	75	–
303	302	31	–	66		127	126	–	74	–
292	293	30	–	65		123	123	–	73	–
285	285	29	–	65		121	121	–	72	–
278	277	28	–	64		118	118	–	71	–
270	269	27	–	64		116	116	–	70	–
261	262	26	–	63		115	114	–	68	–
255	255	25	–	63		113	111	–	67	–
249	248	24	–	62		110	110	–	66	–
240	241	23	102	62		109	109	–	65	–
235	235	21	101	61		108	107	–	64	–

3. Измерение твердости вдавливанием алмазной пирамиды (твердость по Виккерсу)

Схема измерения твердости по Виккерсу представлена на рис. 1.2.

При измерении твердости по способу Виккерса в металл вдавливается четырехгранная алмазная пирамида с углом в вершине 136° , и твердость характеризует площадь получаемого отпечатка. Длину диагонали полученного на образце отпечатка измеряют при помощи микроскопа, установленного на приборе. Число твердости определяют по таблицам в зависимости от длины диагонали отпечатка и нагрузки при испытании.

При испытании в стандартных условиях, когда $P = 0,3 \text{ кН}$, $\tau = 10 \dots 15 \text{ с}$, твердость обозначается HV 350 (350 – число твердости).

При других условиях испытания обозначение следующее: HV20/40-250 ($P = 0,20 \text{ кН}$, $\tau = 40 \text{ с}$, число твердости – 250).

Число твердости по Виккерсу и по Бринеллю имеют одинаковую размерность и для материалов твердостью до 450 HV практически совпадают.

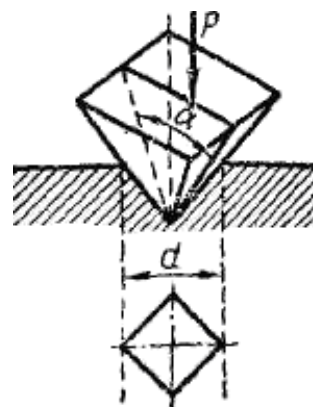


Рис. 1.2. Схема определения твердости по Виккерсу

4. Измерение твердости вдавливанием шарика (твердость по Бринеллю)

Схема измерения твердости по Бринеллю представлена на рис. 1.3. В результате вдавливания стального шарика диаметром D , равным 2,5; 5 или 10 мм, с помощью пресса на поверхности образца получается отпечаток со сферической поверхностью (лунка). Диаметр отпечатка d измеряют лупой, на окуляр которой нанесена измерительная шкала с точностью до 0,05 мм.

Чтобы не прибегать к длительным вычислениям твердости, на практике пользуются стандартной таблицей для определения твердости в зависимости от P , D и d . Шарiki различного диаметра (2,5; 5 и 10 мм), нагрузку (от 156 до 30 000 Н) и время выдержки под нагрузкой (10, 30 и 60 с) выбирают в зависимости от ожидаемой твердости и толщины испытуемого материала.

Для термически обработанной стали и чугуна $P = 30D^2$, для литой бронзы и латуни $P = 10D^2$, для алюминия и других очень мягких металлов $P = 2,5D^2$.

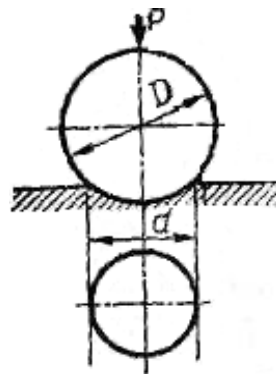


Рис. 1.3. Схема определения твердости по Бринеллю

Достоинством метода Бринелля является простота испытаний и точность результатов. К недостаткам метода Бринелля относятся: ограниченное применение (до $HB\ 4500\ \text{МПа}$) вследствие возможной деформации стального шарика, невозможность испытаний тонких изделий (толщиной менее 2...3 мм) и тонких поверхностных слоев (менее 1 мм), остающийся на детали отпечаток диаметром 2...6 мм.

Продолжительность выдержки под нагрузкой для стали и чугуна составляет 10 с, для латуни и бронзы – 30 с. Этот способ не позволяет испытывать материалы с твердостью более 450 HB.

При испытании в стандартных условиях, когда $D = 10\ \text{мм}$, $P = 30\ \text{кН}$, $\tau = 10\ \text{с}$, твердость обозначается $HB\ 250$ (где 250 – число твердости). При других условиях испытания обозначение следующее: $HB5/250/30/80$ (где $D = 5\ \text{мм}$, $P = 2,5\ \text{кН}$, $\tau = 30\ \text{с}$, 80 – число твердости).

5. Измерение твердости вдавливанием конуса или шарика (твердость по Роквеллу)

При испытании на твердость по методу Роквелла (ГОСТ 9013-59) в поверхность материала вдавливаются алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной шарик диаметром 1,588 мм. Согласно этому

методу, за условную меру твердости принимается глубина отпечатка. Схема испытания по методу Роквелла показана на рисунке 1.4. Вначале прикладывается основная нагрузка P_0 , под действием которой индентор вдавливается на глубину h_0 . Затем прикладывается основная нагрузка P_1 , под действием которой индентор вдавливается на глубину h_1 . После этого снимают нагрузку P_1 , но оставляют предварительную нагрузку P_0 . При этом под действием упругой деформации индентор поднимается вверх, но не достигает уровня h_0 . Разность $(h - h_0)$ зависит от твердости материала: чем тверже материал, тем меньше эта разность. Глубина отпечатка измеряется индикатором часового типа. Число твердости, определяемое методом Роквелла, обозначается символом HR . Однако в зависимости от формы индентора и значений нагрузок вдавливания к этому символу добавляется буква A , B или C , обозначающая соответствующую шкалу измерений.

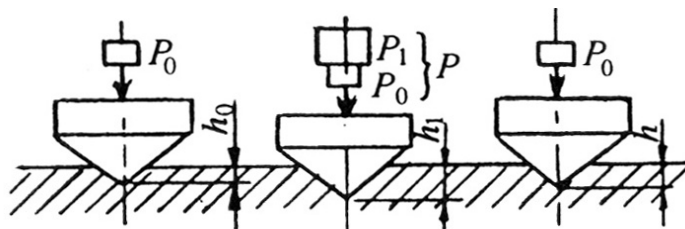


Рис. 1.4. Схема испытаний на твердость по Роквеллу

Шкала А, алмазный конус, нагрузка $P = 0,6$ кН.

Шкала В, стальной шарик, нагрузка $P = 1$ кН.

Шкала С, алмазный конус, нагрузка $P = 0,15$ кН.

Порядок выполнения работы

1. Подготовить образцы перед испытанием на твердость, зачистить и отшлифовать.
2. Научиться измерять твердость по Роквеллу:
 - определить погрешность прибора, измерив твердость контрольных стандартных плиток.
3. Определить марки сталей, предложенных преподавателем трех образцов из разных углеродистых сталей, для чего необходимо:
 - измерить твердость трех образцов по Роквеллу, Виккерсу;
 - перевести значение твердости по Роквеллу, Виккерсу в значение твердости по Бринеллю, используя табл. 1.2;
 - определить значение σ_b трех образцов, используя табл. 1.1;
 - выписать химический состав и характеристики механических свойств, предложенных преподавателем трех марок углеродистых сталей, используя ГОСТы (прил. Д, Е, Ж):

ГОСТ 380-71 – сталь углеродистая общего назначения;
 ГОСТ 1050-88 – прокат сортовой, колиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой конструкционной стали;
 ГОСТ 1435-74 – сталь нелегированная инструментальная;

- сделать анализ и определить марки сталей на основании замеров твердости, расчетов σ_B , химического состава, характеристик механических свойств, почему сделан такой вывод?

4. Исследовать влияние термической обработки на механические свойства стали, для чего необходимо:

- измерить твердость образца из углеродистой стали (например, стали 35) в исходном состоянии;
- произвести термическую обработку – закалку (нагрев до $t = 840 \dots 880$ °С выдержка $\tau = 1,5d_{\text{образца}}$ минут, охлаждение в воде);
- измерить твердость после закалки, предварительно зачистить образец окалины.

Формы таблиц, рекомендуемых для записи

Таблица 1.3

Механические свойства стали до и после термообработки

Образец	Марка стали	<i>HV</i>	<i>HRA</i>	<i>HB</i>	σ_B , МПа
В исходном состоянии					
После закалки					

Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов

1. Что называется твердостью?
2. Как определяется твердость по Виккерсу?
3. Как определяется твердость по Бринеллю?
4. Как определяется твердость по Роквеллу?
5. Что является вдавливаемым элементом при измерении твердости по Роквеллу, Бринеллю, Виккерсу?
6. Какая величина является измеряемой при определении твердости различными методами?
7. Объяснить принцип измерения твердости вдавливанием.
8. При какой нагрузке производились замеры твердости?
9. Какова зависимость твердости от количества углерода в стали?

ЛАБОРАТОРНАЯ № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПЛАСТИЧНОСТЬ И СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЮ

Цель работы

Цель работы – изучить зависимость строения и механических свойств металлов от температурного режима пластической деформации.

Оборудование, приборы и материалы

1. Образцы различных марок.
2. Прибор для измерения твердости металлов и сплавов по методу Роквелла модели ТК-14-250.
3. Электродпечь сопротивления, камерная лабораторная СНОЛ-1,6.2,5.1/11-И2.
4. Кузнечные клещи.
5. Молоток.

Теоретическая часть

Обработка металлов давлением основана на их способности пластически деформироваться под действием внешних сил. Пластической деформации всегда предшествует упругая, при которой атомы смещаются один относительно другого на величину, меньшую межатомных расстояний, и тело после снятия внешней нагрузки полностью восстанавливает исходные форму и размеры. При пластической деформации атомы смещаются относительно друг друга на величины, превышающие межатомные расстояния, и после снятия внешних сил не возвращаются в исходные положения; в результате изменяются форма и размеры деформируемого тела. Пластическая деформация выражается в скольжении одних частей кристаллов относительно других по плоскостям наиболее плотного размещения атомов (плоскостям скольжения) без изменения расстояния между этими плоскостями. При этом силовое взаимодействие между атомами не исчезает, и деформация протекает без нарушения сплошности и без изменения объема деформируемого тела.

В реальных металлах и сплавах, представляющих собой поликристаллические тела, в результате изменения формы, сдвигов и поворотов зёрен при пластической деформации возникает преимущественная ориентировка их кристаллических решеток, называемая **текстурой деформации**. В результате пластической деформации зерна и межзёрненной прослойки с повышенным содержанием примесей (серы, кисло-

рода, фосфора и др.) вытягиваются в направлении деформации, что и приводит к образованию полосатости или волокнистости структуры. Деформированный металл имеет резко выраженную анизотропию (неоднородность свойств в различных направлениях). Наиболее высокие показатели прочности, пластичности и вязкости имеют продольные образцы (расположенные при вырезке из заготовок в направлении деформации), наиболее низкие – поперечные образцы. Соотношение показателей свойств, полученных на продольных и поперечных образцах, характеризует степень анизотропии.

Пластическая деформация приводит к значительному изменению механических, физических и химических свойств металлов вследствие увеличения количества дислокаций, вакансий и дислоцированных атомов, а также искажения кристаллической решетки. С увеличением степени деформации повышаются твердость и прочность и снижаются пластичность и вязкость, увеличивается электрическое сопротивление, уменьшаются сопротивление коррозии и теплопроводность. Совокупность явлений, связанных с изменением химических, физических и механических свойств металла в процессе пластической деформации, называется **упрочнением (наклепом)**.

Основная часть энергии (до 90...95 %), затрачиваемой на деформирование металла, превращается в тепловую, нагревающую металл, остальная часть энергии поглощается металлом и аккумулируется в виде повышенной свободной энергии смещенных атомов. В связи с тем, что любая система стремится к состоянию, когда уровень ее свободной энергии наименьший, деформированный металл является термодинамически неустойчивым и при его нагреве протекают процессы возврата и рекристаллизации, обуславливающие возвращение всех свойств к свойствам металла до деформации.

При нагреве деформированного металла до сравнительно низких температур, обычно ниже $(0,2...0,3) T_{пл}$ ($T_{пл}$ – абсолютная температура плавления металла), происходит *процесс возврата*, под которым понимают повышение структурного совершенства упрочненного металла без изменения структуры, уменьшение количества точечных дефектов кристаллической решетки, перераспределение, слияние и частичное устранение дислокаций.

При нагреве металла до более высоких температур значительно увеличивается амплитуда тепловых колебаний атомов и создаются условия для перестройки зерен. При температурах больше температуры возврата образуются зародыши новых зерен с неискаженной кристаллической решеткой и значительно меньшей плотностью дислокаций. При дальнейшем нагреве продолжается процесс образования новых равно-

осных зерен вместо ориентированной волокнистой структуры. Этот процесс называется **первичной рекристаллизацией**. В дальнейшем новые зерна взаимодействуют друг с другом, сливаются и укрупняются – происходит собирательная рекристаллизация; в итоге практически полностью устраняются последствия упрочнения и свойства металла приближаются к исходным. Согласно многочисленным исследованиям, температура начала рекристаллизации составляет $0,4...0,6 T_{пл}$ для технических сплавов и $0,2...0,4 T_{пл}$ для чистых металлов.

Различают холодную, горячую, неполную холодную и неполную горячую пластическую деформации. При холодной деформации рекристаллизация и возврат полностью отсутствуют и деформированный металл имеет все признаки упрочнения.

Горячей деформацией называют такую деформацию, во время которой процесс рекристаллизации успевает произойти полностью. В результате горячей деформации металл получает равноосную микроструктуру при отсутствии каких-либо следов упрочнения. При неполной холодной и горячей деформации имеет место частичное упрочнение металла. В табл. 2.1 приведены теоретические температуры рекристаллизации, равные $0,4 T_{пл}$, а также температуры рекристаллизационного отжига и горячей обработки давлением.

Таблица 2.1

Температура рекристаллизации и горячей обработки металлов давлением

Металл	Температура, °С		
	Рекристаллизации	Рекристаллизационного отжига	Горячей обработки давлением (начало – конец)
Железо	450	600...700	1300...800
Сталь 45	450	600...700	1200...750
Сталь У10	450	600...700	1100...850
Медь	270	450...500	800...600
Латунь	250	400...500	750...600
Алюминий	50	250...350	460...350
Молибден	900	1400...1600	2000...1400

При горячей обработке резко понижается усилие деформации и в связи с этим снижаются затраты энергии на обработку. Однако горячей обработке присущи и определенные недостатки, в отдельных случаях делающие более выгодной холодную деформацию. Практически невозможно выдержать температурный режим для мелких заготовок (диаметром менее 5...7 мм), что исключает возможность их горячей обработки. При нагреве металл окисляется, что затрудняет последующую

обработку давлением, резанием, снижает точность размеров готовых поковок, ухудшает шероховатость их поверхности. Часть металла теряется в виде окалины. Благодаря процессу рекристаллизации горячая обработка не позволяет получать изделия с высокой прочностью, твердостью и другими свойствами, характерными для холоднодеформированного металла.

Порядок выполнения работы

1. Измерить твердость исходных образцов (не менее чем в 3-х точках).
2. Произвести деформирование образцов молотком с размеров 20×20 мм на размер 15×10 мм при температурах 20, 150, 250, 350, 500 °С.
3. Измерить твердость деформированных образцов (не менее чем в трех точках на деформированной части).
4. Построить зависимость твердости деформированных образцов от температуры нагрева.
5. Определить температуры возврата и рекристаллизации.

Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов

1. Как происходит пластическая деформация поликристаллических металлов и сплавов?
2. Что называется текстурой деформации?
3. Как изменяется микроструктура металла в результате холодного пластического деформирования?
4. Что такое упрочнение металла и каковы причины его образования?
5. Почему холоднодеформированный металл является термодинамически неустойчивой системой?
6. Опишите сущность процессов возврата и рекристаллизации.

ЛАБОРАТОРНАЯ № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ НА МАКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

Цель работы

Цель работы – установить влияние деформации на макроструктуру, установить зависимость твердости от степени деформации.

Оборудование, приборы и материалы

1. Образцы различных марок.
2. Прибор для измерения твердости металлов и сплавов по методу Роквелла модели ТК-14-250.
3. Электродпечь сопротивления, камерная лабораторная СНОЛ-1,6.2,5.1/11-И2.
4. Молоток.
5. Штангенциркуль.

Теоретическая часть

При деформации зерна меняют свою форму и ориентировку, образуя волокнистую структуру с преимущественной ориентировкой кристаллов. Происходит разворот беспорядочно ориентированных зерен осями наибольшей прочности вдоль направления деформации. Зерна деформируются и сплющиваются, вытягиваясь в направлении деформации.

Преимущественная кристаллографическая ориентировка зерен вдоль направления деформации называется *текстурой металла*. Образование текстуры способствует появлению анизотропии свойств вдоль и поперек направления волокон.

Упрочнение металла под действием пластической деформации называется *наклепом*. Упрочнение при наклепе объясняется существенным повышением плотности дислокаций, характерным для процесса пластической деформации. Плотность дислокаций после холодной деформации увеличивается на несколько порядков по сравнению с отожженным металлом, составляя величину. Одновременно в процессе пластической деформации увеличивается количество точечных несовершенств – вакансий и дислоцированных атомов, происходит искажение кристаллических решеток. С ростом плотности дислокации и несовершенств кристаллического строения затрудняется свободное перемещение

дислокаций. Дополнительные барьеры для дислокаций создаются в результате деформации зерен и дробления блоков. Все эти факторы способствуют упрочнению металла при наклепе.

Рост числа дефектов кристаллического строения и возникновение внутренних напряжений в результате наклепа приводят к тому, что свободная энергия металла растет, и он приходит в неравновесное, неустойчивое состояние.

В практику обработки давлением введено понятие степени деформации, которая представляет собой относительное изменение площади поперечного сечения или линейных размеров заготовки.

С ростом степени деформации механические свойства (σ_B , σ_T , HB), характеризующие сопротивление деформации, повышаются, происходит деформационное упорядочение, а способность к пластической деформации δ , ψ – падает.

При ковке необходимое изменение формы и размеров заготовки достигается в результате воздействия бойков или другого инструмента на различные участки заготовки.

Для каждой кузнечной операции наблюдается определенный характер течения металла, поэтому зависимости для расчета степени деформации в каждом случае различны.

При осадке деформация определяется уковкой

$$Y = F_k / F_0, \quad (3.1)$$

где F_0 и F_k – площадь поперечного сечения заготовки до и после деформации.

Осадка – это операция уменьшения высоты заготовки при увеличении площади ее поперечного сечения.

Порядок выполнения работы

Для большей наглядности для испытаний лучше выбрать пластичные металлы (латунь, медь, низкоуглеродистую сталь). Деформацию образцов осадкой можно проводить под прессом или любым другим способом. Слои металла у торцевой поверхности образца испытывают меньшую деформацию, чем слои на цилиндрической поверхности, поэтому макроанализ и измерения твердости следует проводить на боковой поверхности деформированных образцов.

1. Охарактеризовать физические, механические и технологические свойства материала образцов, предложенных преподавателем.

2. Измерить твердость двух образцов в исходном состоянии.

3. Провести холодную деформацию двух образцов осадкой; первого образца на 10 % и второго на 30 % первоначальной высоты. Измерить твердость на боковой и торцевой поверхности после деформации.

4. Дать характеристику макроструктуры деформированного металла.

5. Построить график, показывающий изменение твердости в зависимости от степени деформации, объяснить причины, вызывающие изменения твердости.

Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов

1. Что такое пластичность металла и как она зависит от условий деформирования?
2. Как определяется степень деформации при осадке?
3. Что такое уковка и как определяется уковка при осадке?
4. Что называется текстурой металла?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

Цель работы

1. Изучить процесс получения песчано-глинистой формы и необходимой оснастки;
2. Научиться разрабатывать эскизы модели, литейной формы, стержневого ящика и стержня;
3. Научиться составлять технологический процесс.

Оборудование и материалы

1. Модель.
2. опоки парные.
3. Модель литниковой системы.
4. Формовочный инструмент: трамбовка, лопатка, гладилка.
5. Модельная плита.
6. Формовочная смесь.

Теоретическая часть

1. Сущность литейного производства

Литейным производством называют технологический процесс получения литой заготовки, называемой отливкой, путем заливки расплавленного сплава в литейную форму (рабочую полость), которая имеет конфигурацию заготовки. При охлаждении залитый металл затвердевает и в твердом состоянии сохраняет конфигурацию той полости, в которую он был залит. В процессе кристаллизации расплавленного металла и последующего охлаждения формируются механические и эксплуатационные свойства отливок.

Наибольшее распространение для получения отливок-заготовок получил способ литья в разовые песчано-глинистые (песчаные) формы, как самый простой и дешевый.

Литейное производство – одна из основных заготовительных баз современного машиностроения. Продукцией литейного производства являются, как правило, сложные фасонные заготовки. Основные недостатки литья в песчано-глинистые формы – высокая шероховатость поверхности, сравнительно низкие точность и стабильность размеров отливок.

2. Элементы литейной формы

Литейная форма – это система элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка. На рис. 4.1, б показана литейная форма для получения детали – тройник (рис. 4.1, а).

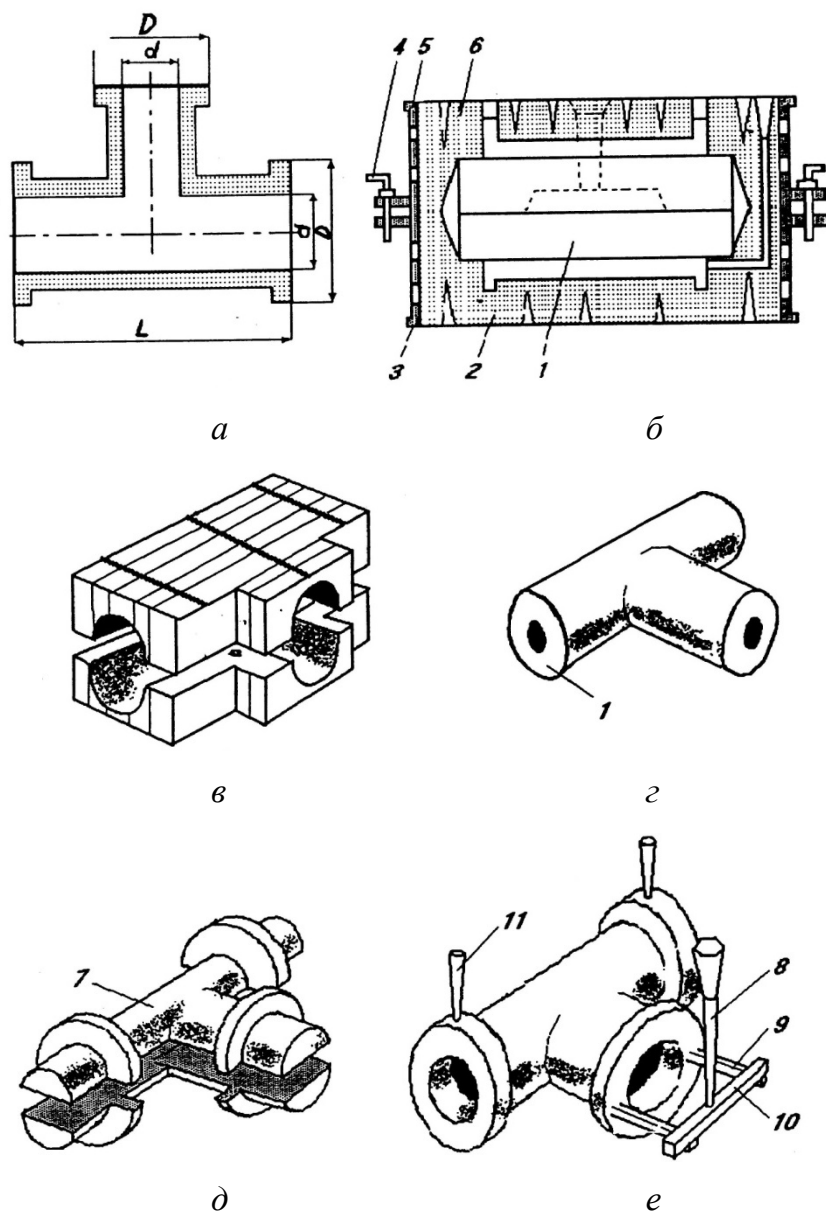


Рис. 4.1. Литейная форма и ее элементы: а – деталь-тройник; б – литейная форма; в – стержневой ящик; г – литейный стержень; д – литейная модель; е – отливка с литниковой системой; 1 – стержень; 2 – нижняя полуформа; 3 – опока; 4 – штырь; 5 – опока; 6 – верхняя полуформа; 7 – модель; 8 – стояк; 9 – питатель; 10 – шлакоуловитель; 11 – выпор

Песчано-глинистая форма изготавливается из формовочных и стержневых смесей с помощью модельного комплекта.

Модельный комплект включает следующие приспособления: модель детали, стержневой ящик, модельную плиту, опоки, модели элементов литниковой системы. Форма состоит из нижней и верхней полуформ, которые изготавливают по литейным моделям в литейных опоках.

Литейная опока – приспособление для удержания формовочной смеси при изготовлении формы. Опока представляет собой жесткую стальную рамку. Верхнюю и нижнюю полуформы взаимно ориентируют (центрируют) с помощью металлических штырей, вставляемых в отверстия приливов у опок.

Модель (рис. 4.1, д) – приспособление, при помощи которого в форме получают полость с формой и размерами, близкими к конфигурации получаемой отливки, соответствующей внешней форме отливки без отверстий.

Стержневой ящик (рис. 4.1, в) – приспособление для изготовления стержней. Для образования отверстий, впадин, углублений или иных сложных контуров в формы устанавливают литейные стержни (рис. 4.1, з), которые фиксируются с помощью выступов (стержневых знаков), входящих в соответствующие впадины в форме. Литейные стержни изготавливают в деревянных стержневых ящиках из стержневых смесей.

Модели для литья в разовые земляные формы изготавливают деревянными: для защиты от влаги, вызывающей разбухание древесины и изменение размеров, модели окрашивают в красный цвет – для чугуна, синий – для стального, жёлтый – для цветного.

Стержневые ящики так же, как и модели, изготавливают из отдельных, склеиваемых между собой кусков древесины с различным направлением волокон, что обеспечивает их большую прочность и долговечность. Они бывают цельными, разъемными и с отъемными частями. Чаще применяются разъемные, состоящие из двух частей, соединенных шипами. В стержневом ящике изготавливают полость, очертания которой соответствуют наружному контуру стержня. Размеры полости делают с учетом припуска на усадку и последующую механическую обработку. В полости ящика предусматриваются знаковые части (стержневые знаки), галтели, формовочные уклоны.

Модельная плита (деревянная или металлическая) применяется для установки и закрепления на ней модели отливки литниковой системы и опоки.

Литниковая система (рис. 4.1, е) – система каналов, по которым расплавленный металл заполняет полость формы. Литниковая система

должна обеспечивать заполнение литейной формы с необходимой скоростью, задержание шлака, выход паров и газов из полости формы. Литниковая система состоит из следующих элементов: вертикального канала – стояка с воронкой (литниковой чашей), шлакоуловителя, питателей, выпоров.

Литниковый стояк с воронкой служат для принятия струи металла, ее успокоения и непрерывной подачи в полость формы.

Шлакоуловитель – канал трапециидального сечения для улавливания и задержания в нем шлаков и других неметаллических включений, для предотвращения их попадания в рабочую полость формы.

Питатели – каналы, через которые непосредственно расплавленный металл поступает в полость формы.

Выпор – вертикальный канал для выхода газов из полости формы, одновременно позволяющий контролировать заполнение рабочей полости жидким металлом. Для сплавов с малой усадкой выпоры могут выполнять функцию прибылей.

Прибыль – вертикальный канал, который формируется над наиболее массивным сечением отливки и предназначается для подпитывания жидким металлом затвердевающей отливки в местах возможного образования усадочных раковин и усадочных рыхлот. Эти дефекты, а также неметаллические включения выводятся из тела отливки в процессе ее направленной кристаллизации в прибыль, а отливка при этом получается плотной без усадочных дефектов.

3. Изготовление литейной формы

Литейная форма изготавливается из формовочной смеси, засыпаемой в опоку на модель, закрепленную на модельной плите. Формовочная смесь уплотняется или вручную или специальными машинами. Машинная формовка повышает качество литья, снижает припуски на механическую обработку, облегчает труд рабочего и повышает производительность.

В состав формовочной смеси входят песок, глина и различные добавки, обеспечивающие основные свойства смесей: газопроницаемость, пластичность, прочность, огнеупорность, податливость. Песок обеспечивает газопроницаемость и податливость формы. Глина, смоченная водой (4...6 %), придает пластичность и прочность. Добавки (каменноугольная пыль, мазут, древесная мука, мелкий торф и др.) повышают противопригарность, газопроницаемость, податливость. Для повышения прочности формы в смесь вводят связующие материалы: масла, битумы, декстрин, жидкое стекло, смолы, олифы и др.

Стержневые смеси отличаются от формовочных более высокими технологическими свойствами, так как в процессах заливки и кристаллизации отливки стержень находится в менее благоприятных условиях. В состав стержневых смесей входят кварцевый песок 96...97 %, а остальное – специальные связующие материалы (раствор льняного масла, канифоли в спирте, жидкое стекло, смолы и др.).

В настоящее время находят все большее применение прогрессивные способы изготовления форм и стержней из единых самотвердеющих смесей, в состав которых входят, например, кварцевый песок, быстросохнущее связующее (смола, жидкое стекло), катализатор. Такие смеси обеспечивают большую точность, прочность, не требуют дополнительной сушки, являющейся обязательной для форм из обычных формовочных и стержневых смесей.

После изготовления стержней и полуформ литейная форма собирается, заливается жидким литейным сплавом, кристаллизующимся в рабочей плоскости формы. Полностью затвердевшая отливка выбивается (извлекается) из формы путем ее разрушения, обрубается элементы литниковой системы, отливка очищается от пригоревшей смеси. После контроля качества литья отливки подвергаются термической обработке для снятия внутренних напряжений, получения однородной структуры и улучшения механических свойств. Для снятия припуска с целью получения из заготовки детали отливку подвергают механической обработке на металлорежущих станках. Выбор вида термической обработки (гомогенизации, отжиг, закалка с последующим отпуском или старением) определяется маркой сплава и назначением отливки.

4. Литейные свойства

Получение качественных отливок из различных сплавов связано с большими или меньшими технологическими трудностями, зависящими в значительной степени от литейных свойств сплавов. К литейным свойствам относятся: жидкотекучесть, усадка (линейная и объёмная), склонность к поглощению газов, склонность к ликвации и др.

Жидкотекучесть называют способность расплавленного металла свободно течь по каналам формы, заполняя её рабочую полость. Жидкотекучесть зависит от температуры заливки, интервала кристаллизации и химического состава сплава.

Усадка – свойство металлов и сплавов уменьшать литейные размеры и объём при кристаллизации. Величина усадки зависит от химического состава, температуры заливки, структуры и т. д.

Ликвация – неоднородность химического состава в различных зонах (объемах) отливки. Различают внутрикристаллическую (дендритную) ликвацию – в пределах дендритного кристалла и зональную –

в пределах отдельных частей отливки. На ликвацию влияют химический состав и скорость кристаллизации отливки.

Чем выше жидкотекучесть, меньше усадка и склонность к ликвации, тем более сложную по конфигурации можно получить отливку, с меньшей толщиной стенок и меньшими припусками на обработку.

Разработка чертежа модели

Исходным документом для разработки чертежа модели (рис. 4.2, б) является чертеж детали (рис. 4.2, а). Модель является прототипом будущей детали и отличается от нее:

- припусками на величину усадки литейного сплава и последующей механической обработкой для обеспечения заданной геометрической точности и качества поверхности детали;
- формовочными (литейными) уклонами на вертикальных стенках модели для обеспечения свободного удаления модели из формы без повреждения и разрушения ее стенок; уклоны в зависимости от высоты модели могут составлять $0,5...3^\circ$;
- галтелями – скреплениями внутренних углов поверхностей модели; галтели облегчают извлечение модели из формы, предохраняют от осыпания формовочной смеси в углах формы, предотвращают появление трещин в отливке;

(Припуски на механическую обработку, формовочные уклоны, галтели регламентируются ГОСТами).

- стержневыми знаками, представляющими собой выступы на модели для образования в форме знаковых углублений, в которые помещают стержень, формирующий в отливке отверстие или внутреннюю полость;
- напусками, предусматривающимися в тех местах отливки, которые нецелесообразно изготавливать литьем; напуски упрощают модель и, следовательно, изготовление отливки; например, литьем невыгодно изготавливать отверстия диаметром $20...50$ мм, так как стержни для них будут недостаточно прочными и могут поэтому разрушиться струей заливаемого металла; в этих местах предусматривают на чертеже модели (отливки) напуски, а необходимые на детали отверстия будут изготовлены сверлением;
- плоскостью разреза, разделяющую модель на две половины для облегчения формирования и извлечения ее из формы; плоскость разреза в большинстве случаев проектируют по плоскостям симметрии детали.

По плоскости разреза определяют положение модели в форме, указывая на чертеже стрелками с обозначением букв *В* (верх) и *Н* (низ).

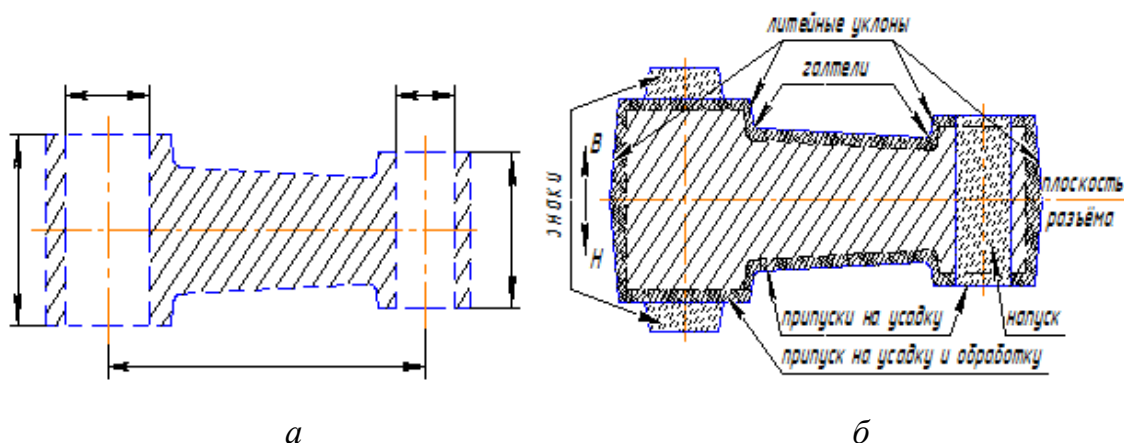


Рис. 4.2. Разработка чертежа модели: а – чертеж детали; б – чертеж модели

Технологический процесс литья в разовую песчано-глинистую форму

1. Изготовление стержня

Для получения отверстия в отливке изготавливают стержень в разъемном стержневом ящике (рис. 4.3).

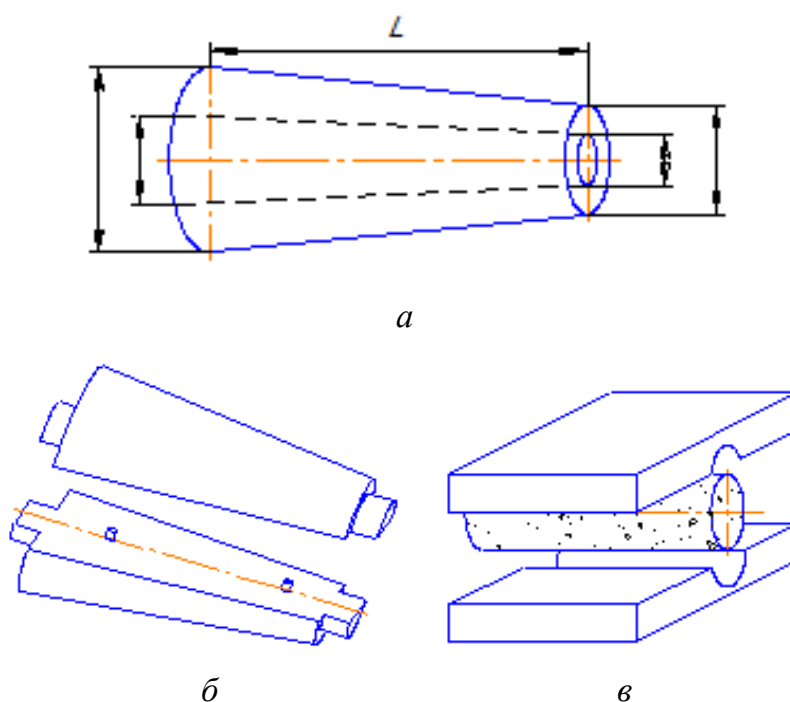


Рис. 4.3. Отливка и модельно-опочный комплект:
а – чертёж модели; б – модель; в – ящик со стержнем

Половинки стержневого ящика очищают от остатков смеси, протирают рабочие поверхности ветошью, смоченной в керосине. Обе поло-

винки ящика скрепляются и в образовавшуюся полость засыпают и уплотняют стержневую смесь. В нее закладывается для обеспечения прочности стержня металлический каркас, после чего смесь повторно уплотняют, накалывают вентиляционные каналы для выхода газов. Затем ящик разбирается, стержень извлекается, сушится при температуре 120...250 °С. При этом удаляется влага, а связующие материалы, спекая смесь, повышают твердость, прочность и газопроницаемость стержня.

2. Изготовление литейной формы

На модельную плиту устанавливают нижнюю половину модели, модели питателей и нижнюю опоку (рис. 4.4, *а*). Поверхность модели припудривают графитом или тальком. Сверху засыпается слой единой формовочной смеси толщиной 20...30 мм, ее уплотняют руками вокруг всей модели, затем засыпают и уплотняют с помощью ручной трамбовки остальную смесь. Сначала уплотняют у стенок опоки, затем в средней части. Излишки смеси выше края опоки после уплотнения срезают линейкой. Душником накалывают вентиляционные каналы. Заформованную опоку вместе с модельной плитой поворачивают на 180°, снимают плиту, поверхность формовочной смеси по разьему заглаживают гладилкой.

На штыри нижней половины модели накладывают установочными отверстиями верхнюю половину модели, модели шлакоуловителя, стояка, выпора или прибылей (рис. 4.4, *б*). Поверхность разьема формы насыпают тонким слоем сухого кварцевого песка. По центрирующим штырям верхнюю опоку устанавливают на нижнюю. Верхнюю полуформу формуют как и нижнюю. После уплотнения вокруг стояка гладилкой подрезают литниковую чашу (воронку). Модели стояка, выпоров и прибылей раскачивают и удаляют из верхней полуформы. Верхнюю опоку снимают, переворачивают на 180° разъемом вверх и после раскачивания с помощью крючков и шпилек удаляют половины моделей отливки и моделей шлакоуловителя. Для повышения противопригарности и получения более чистой поверхности отливки полость формы припыливают, используя в качестве припыла порошковый графит, молотый древесный уголь и т. п.

3. Сборка формы

В углубления, образованные стержневыми знаками, укладывается стержень. Обе опоки вновь собирают. Полуформы скрепляют скобами, на верхнюю полуформу устанавливают груз для предотвращения ухода жидкого металла через разъем формы во время разливки (рис. 4.4, *в*).

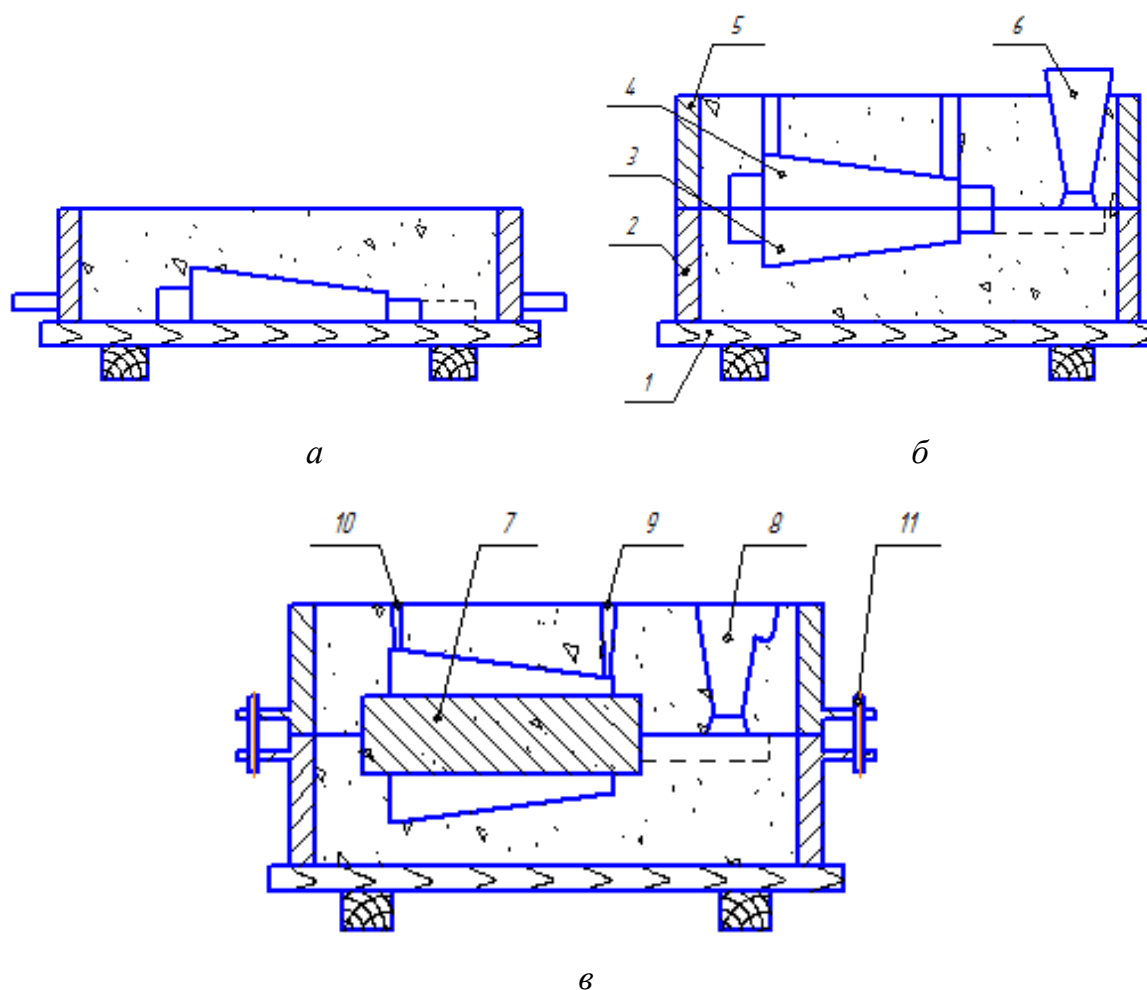


Рис. 4.4. Ручная формовка в двух опоках: а – формовка нижней опоки; б – формовка верхней опоки; в – форма в сборе: 1 – подмодельная доска; 2 – нижняя опока; 3 – нижняя половина модели; 4 – верхняя половина модели; 5 – верхняя опока; 6 – модель стояка; 7 – стержень; 8 – литниковая система; 9 – выпор; 10 – прибыль; 11 – штырь

4. Заливка формы и выбивка отливки

Расплавленным металлом из тигля заливают форму, при этом струя металла направляется в литниковую чашу, из которой поступает в стояк, затем в шлакоуловитель и через питатели в рабочую полость формы. Заканчивают заливку формы после выхода металла в выпор.

Остывшую отливку выбивают из формы, разрушая ее. Использованная (горелая) формовочная смесь просеивается и может быть использована повторно. Из извлеченной отливки выбивают стержень и обрубает элементы литниковой системы.

5. Контроль качества отливки

Полученная отливка проверяется на присутствие дефектов литья, к которым относят усадочные раковины, горячие трещины, газовые и песчаные раковины, недоливы и спаи, пригар и перекос и др.

Усадочные раковины – внутренние полости в отливках, образующиеся из-за недостаточного питания отливки в местах повышенной толщины, кристаллизующихся в последнюю очередь.

Устраняются усадочные раковины путем применения прибылей, из которых жидкий металл поступает в места усадки отливки, а также, если возможно, за счет изменения конструкции отливки.

Горячие трещины – сквозные или несквозные разрывы в теле отливки. Обычно возникают в местах резкого перехода от тонкого сечения к толстому или от одной поверхности к другой. Для устранения трещин необходимо предусматривать галтели, а также стремиться к равностенности всех конструкций.

Газовые раковины – полости в отливках округлой формы размером от 1 до 10 мм. Возникают при чрезмерной влажности и низкой газопроницаемости формы и стержней в результате скопления газов в металле при его кристаллизации.

Песчаные раковины – полости в теле отливки, заполненные формовочной смесью. Образуются из-за низкой прочности формы и стержней при их разрушении во время заливки.

Недоливы и спаи возникают при заливке формы холодным металлом через питатели малого сечения при чрезмерной влажности формы.

Пригар – трудноудаляемый слой формовочной смеси, приваривающийся к отливке. Возникает при малой огнеупорности смеси и чрезмерно высокой температуре металла.

Перекос образуется при небрежной сборке и неправильной центровке опок из-за несоответствия знаковых частей стержня на модели и в стержневом ящике.

При обнаружении в отливках дефектов устанавливают их характер и причины возникновения. Например, при переуплотнении формы в отливках могут возникнуть газовые раковины, трещины. При недостаточном уплотнении может быть пригар и песчаные раковины.

Порядок выполнения работы

1. Изготовить песчано-глинистую форму по предложенной преподавателем модели.
2. Согласно варианту задания (табл. 4.1) начертить эскиз детали, проставить размеры, указать обозначение материала и ГОСТ на материал.

3. Рассчитать массу детали по геометрическим формулам, определить необходимое количество расплавленного металла, определить необходимое количество формовочной смеси.

4. Начертить эскиз модели с указанием плоскости разъема, припусков, напусков, галтелей, уклонов и т. д.

5. Начертить эскиз стержневого ящика и стержня (при необходимости).

6. Начертить эскиз литейной формы в сборе с указанием всех ее элементов и элементов литниковой системы.

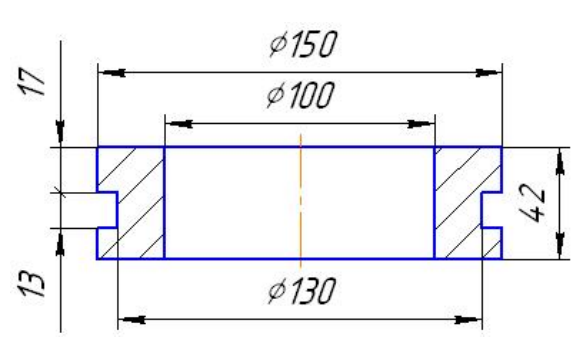
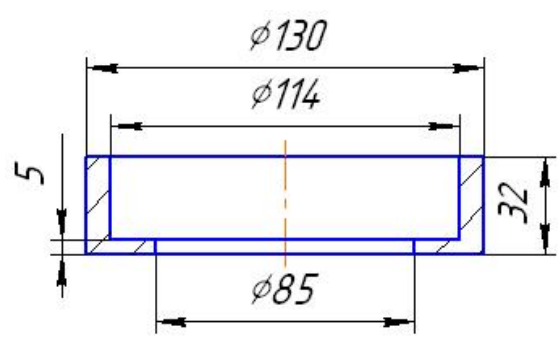
7. Разработать технологический процесс литья в песчано-глинистую форму.

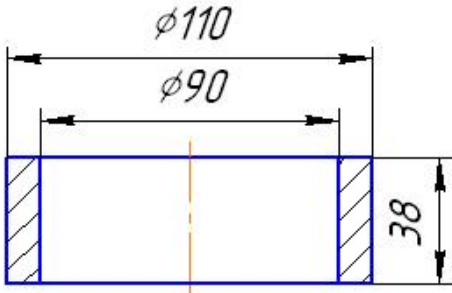
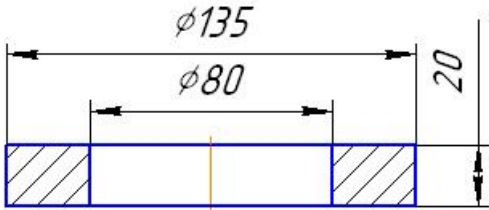
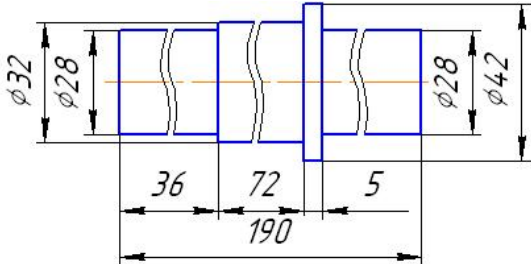
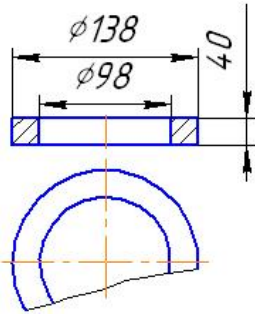
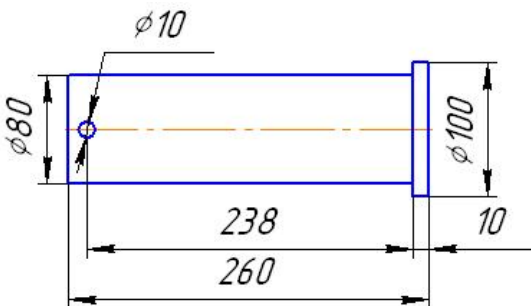
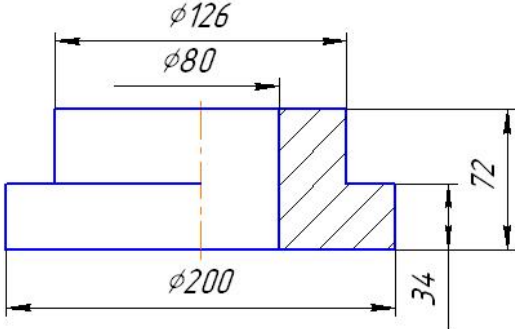
Контрольные вопросы

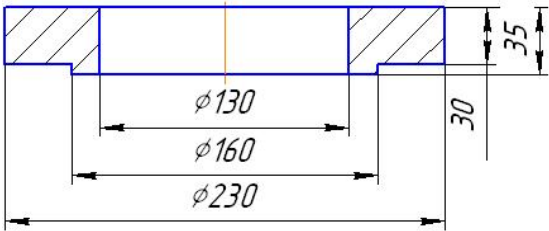
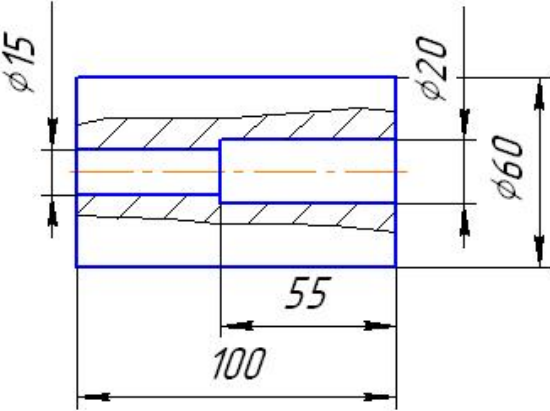
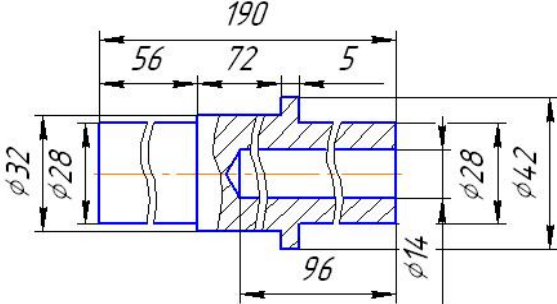
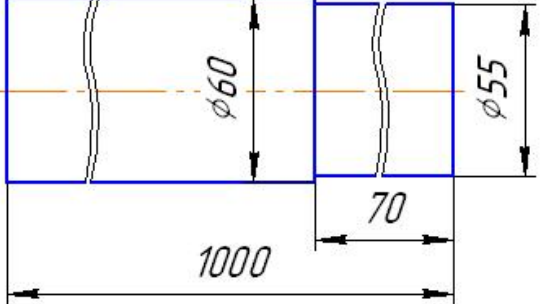
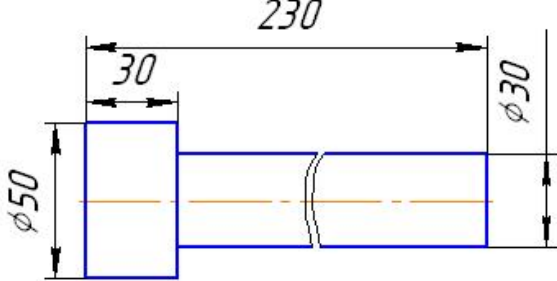
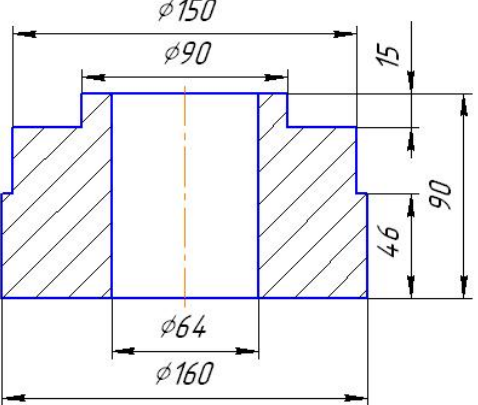
1. Что называется литейным производством?
2. Что входит в состав модельного комплекта?
3. Каково назначение модели и каковы ее отличия от готовой отливки?
4. Каково назначение стержня?
5. Изложите порядок изготовления литейной формы при ручной формовке.
6. Назовите основные литейные свойства сплавов.
7. Что называется жидкотекучестью литейных сплавов?
8. Какие факторы влияют на жидкотекучесть?
9. Что называется усадкой литейных сплавов?
10. Какие дефекты в отливке называются усадкой?
11. Что называется ликвацией литейных сплавов?

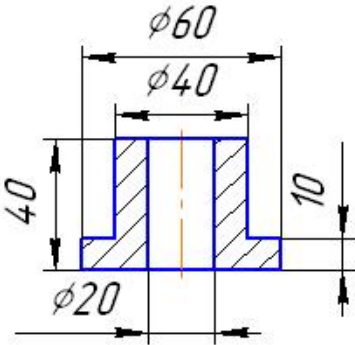
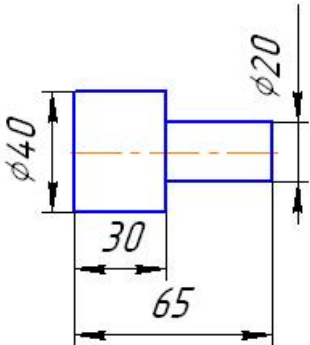
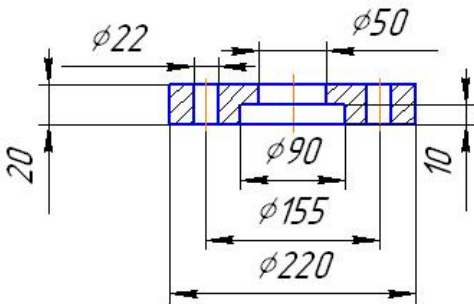
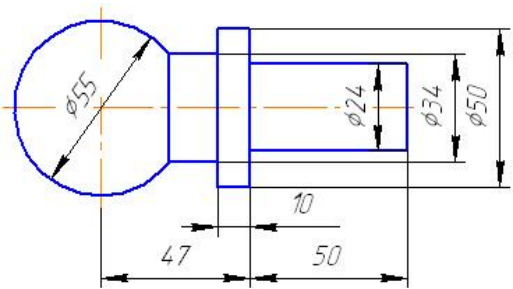
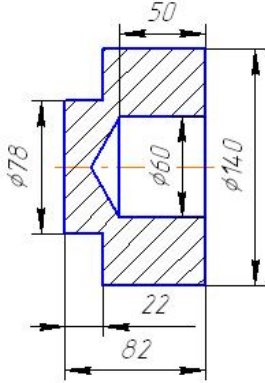
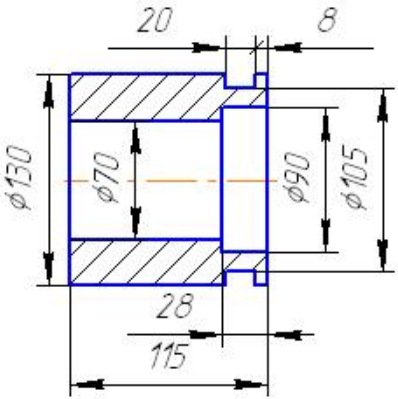
Таблица 4.1

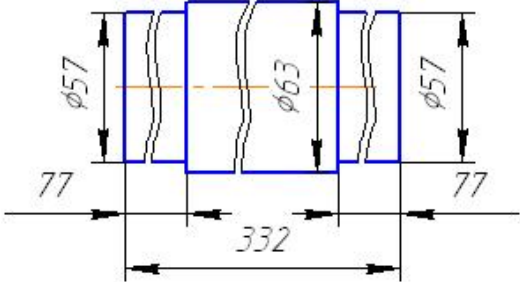
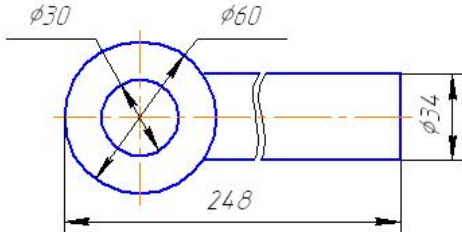
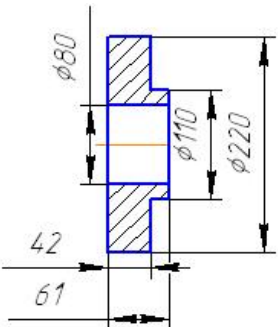
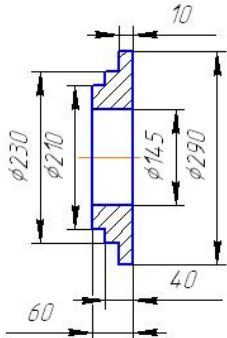
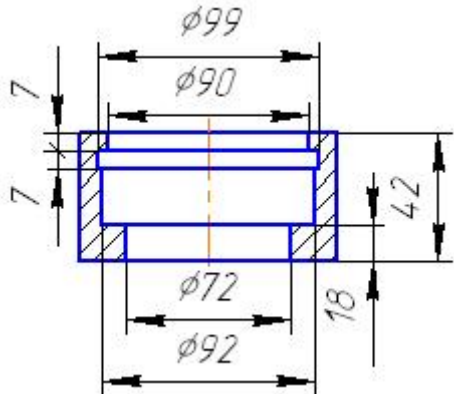
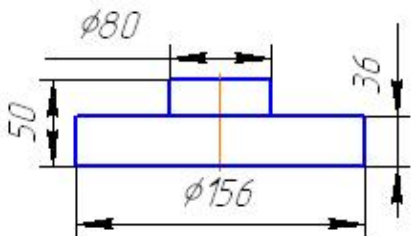
Варианты заданий

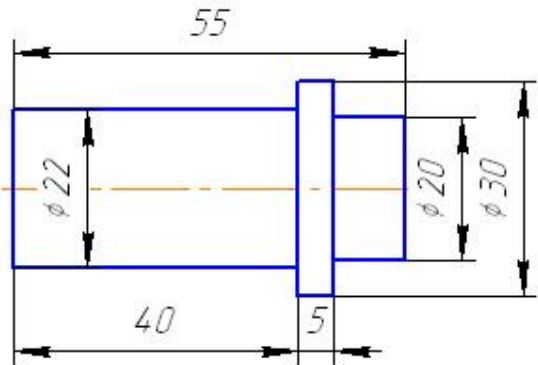
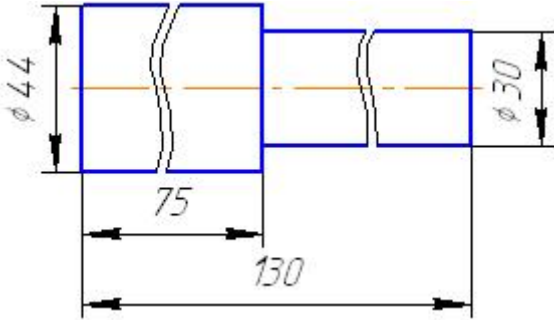
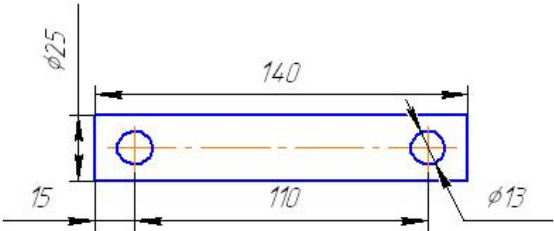
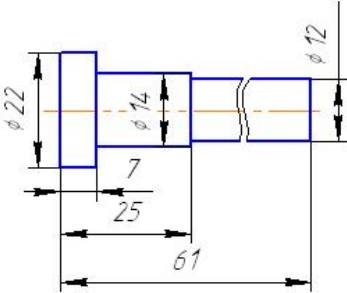
Вариант 1	Вариант 2
 Втулка Материал – Сталь 45Л ГОСТ 977-75	 Втулка Материал – Сталь 20 ГОСТ 1050-88

Вариант 3  Втулка Материал – Сталь 20 ГОСТ 1050-88	Вариант 4  Шайба Материал – Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
Вариант 5  Валик Материал – Сталь 45 ГОСТ 1050-88	Вариант 6  Шайба Материал – Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Вариант 7  Ось Материал – Сталь 45 ГОСТ 1050-88	Вариант 8  Втулка Материал – Сталь 25 ГОСТ 1050-88

Вариант 9  Шайба Материал – АЛ2 ГОСТ 2685-75	Вариант 10  Секция матрицы Материал – Х12М ГОСТ 5950-73
Вариант 11  Ось Материал – Сталь30 ГОСТ 1050-88	Вариант 12  Ось Материал – Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Вариант 13  Болт Материал – Сталь20Х ГОСТ 4543-71	Вариант 14  Гайка Материал – Сталь 40Х ГОСТ 4543-71

Вариант 15  Матрица Материал – Сталь X12M ГОСТ 5950-73	Вариант 16  Толкатель Материал – Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Вариант 17  Крышка Материал – СЧ 12 ГОСТ 1412-85	Вариант 18  Шар сцепной Материал – Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
Вариант 19  Дно Материал – Сталь 20Х ГОСТ 4543-71	Вариант 20  Втулка Материал – Ст3 ГОСТ 380-71

Вариант 21  Балансир Материал – Сталь 40Х ГОСТ 4543-71	Вариант 22  Наконечник Материал – Сталь 20Х ГОСТ 4543-71
Вариант 23  Колесо Материал – Сталь 25Л ГОСТ 977-75	Вариант 24  Колесо Материал – Сталь 45Л ГОСТ 977-75
Вариант 25  Кольцо Материал – СЧ 12 ГОСТ 14-12-85	Вариант 26  Основание Материал – Сталь 25Л ГОСТ 977-75

Вариант 27  Штуцер Материал – ЛМц 58-2 ГОСТ 15527-70	Вариант 28  Толкатель обратный Материал – Сталь 45 ГОСТ 1050-88
Вариант 29  Буфер Материал – Сталь 45 ГОСТ 1050-88	Вариант 30  Пуансон Материал – У10А ГОСТ 1435-74

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА СТАНКАХ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

Цель работы

Ознакомиться с металлорежущим инструментом и основными технологическими операциями. Изучить виды токарных резцов и материалы, применяемые для изготовления инструмента, изучить влияние режима резания на качество готовых изделий.

Теоретическая часть

1. Сущность процесса токарной обработки

Токарная обработка является одним из наиболее распространённых методов обработки резанием. Сущность токарной обработки заключается в снятии с поверхности заготовки слоя металла (припуска) с помощью специального инструмента (резца) для получения детали с данными размерами и шероховатостью поверхности.

При обработке на заготовке различают следующие поверхности (рис. 5.1): обрабатываемую поверхность, обработанную поверхность, поверхность резания.

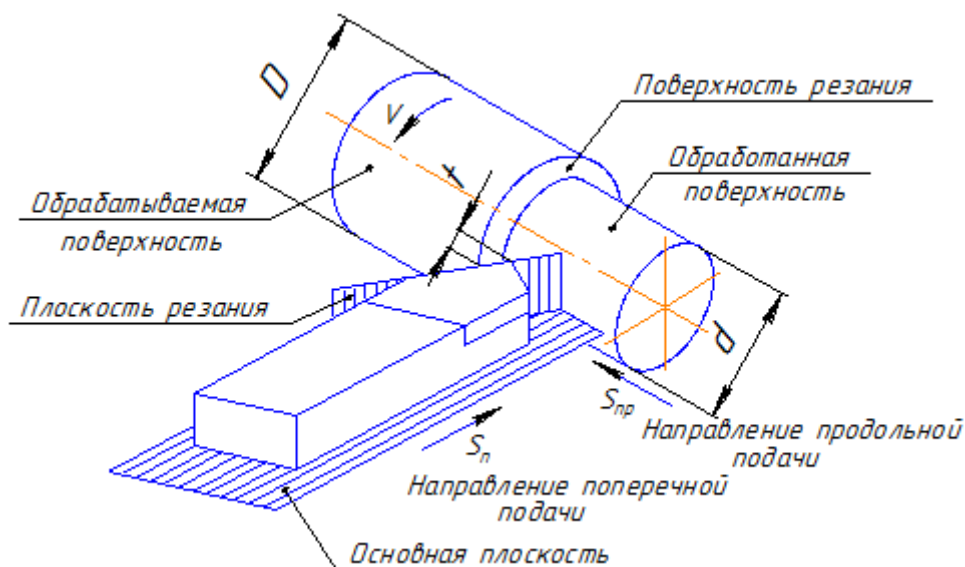


Рис. 5.1. Координатные плоскости и поверхности заготовки

Поверхность заготовки, подлежащая обработке, называется обрабатываемой поверхностью. Поверхность, получаемая в результате обработки, называется обработанной. Поверхность, образуемая режущим лезвием инструмента, называется поверхностью резания.

При определении геометрических параметров токарного резца пользуются понятиями основной плоскости и плоскости резания (рис. 5.1).

Основная плоскость – это плоскость, параллельная продольной и поперечной подачам. Плоскость резания – это плоскость, касательная к поверхности резания и проходящая через главное режущее лезвие.

Режим резания при токарной обработке определяется скоростью резания V , подачей S_n и $S_{пр}$, глубиной резания t . Эти параметры режима резания характеризуют интенсивность процесса резания. Скорость резания V , м/мин определяется как линейная скорость точки заготовки, расположенной на обрабатываемой поверхности и наиболее отдалённой от оси заготовки. Скорость резания определяется по формуле

$$V = \frac{\pi D n}{1000} \text{ (м/мин)}, \quad (5.1)$$

где D – диаметр обрабатываемой поверхности (диаметр заготовки), мм;
 n – частота вращения заготовки, об/мин.

Путь, пройденный режущей кромкой инструмента относительно заготовки за единицу времени главного движения, например, за один оборот заготовки, называют подачей и обозначают S , м/мин или мм/об. Подача бывает продольной $S_{пр}$ (вдоль оси заготовки) и поперечной S_n (перпендикулярно оси заготовки).

Глубина резания t , мм, представляет собой расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное перпендикулярно к последней. При токарной обработке глубина резания определяется по формуле

$$t = 0,5(D - d) \text{ (мм)} \quad (5.2)$$

где D – диаметр обрабатываемой поверхности, мм; d – диаметр обработанной поверхности, мм.

Параметры режима резания оказывают значительное влияние на качество выполнения технологических операций и качество готовой продукции. Так, скорость резания определяет количество теплоты, выделяющейся в процессе резания, интенсивность наростообразования, степень упрочнения поверхностного слоя металла, характер стружкообразования, интенсивность износа инструмента. От подачи и глубины резания зависит работа и сила резания, тепловые явления и т. д.

В различных производствах режимы резания колеблются в широких пределах $t = 0,1 \dots 10$ мм; $V = 10 \dots 1000$ м/мин; $S = 0,05 \dots 5$ мм/об.

Качество готовых деталей зависит от ряда факторов, основными из которых при токарной обработке являются геометрия инструмента и параметры резания, особенно скорость резания и подачи.

В процессе резания, особенно пластичных материалов, происходит образование нароста и его периодическое скалывание, в результате чего увеличивается шероховатость поверхности. Интенсивность наростообразования возрастает с увеличением скорости резания V до 18...30 м/мин. При дальнейшем увеличении скорости (свыше 40...50 м/мин) наростообразование прекращается и шероховатость поверхности уменьшается.

Кроме указанных факторов качество поверхности деталей зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, износа инструмента, вида и количества смазочно-охлаждающей жидкости, жёсткости технологической системы и т. д.

Обработка на токарных станках подразделяется на черновую и чистовую. При черновой обработке снимается большая часть припуска. При ситовой обработке толщина снимаемого слоя металла составляет не более 1...2 мм при малой величине подачи (0,1...0,2 мм/об).

2. Режущий инструмент

Основным видом режущего инструмента, применяемого при токарной обработке, является резец (рис. 5.2), состоящий из стержня, с помощью которого он закрепляется в резцедержателе, и головки, несущей режущую часть.

В процессе обработки режущая часть инструмента находится в сложных и тяжёлых условиях, испытывая большую нагрузку и нагрев. Режущий инструмент характеризуется геометрическими параметрами рабочей части, материалом и конструкцией.

2.1. Геометрия токарного резца

На головке резца (рис. 5.2) различают следующие элементы: переднюю поверхность, главную и вспомогательную заднюю поверхность, главное и вспомогательное режущее лезвие, вершину резца.

По передней поверхности сходит стружка, которая отделяется от заготовки с помощью главного режущего лезвия. Основные углы, определяющие геометрию токарного резца (рис. 5.3): главный и вспомогательный задние углы α и α_1 , угол заострения β , передний угол γ , угол резания δ , главный и вспомогательный углы в плане φ и φ_1 .

Главный задний угол α измеряется между главной задней поверхностью резца и плоскостью резания. Увеличение главного заднего угла приводит к уменьшению трения между резцом и обрабатываемой заготовкой и, следовательно, снижает износ инструмента. Однако при этом снижается прочность режущей кромки. Поэтому задний угол выполняют в пределах 6...12°.

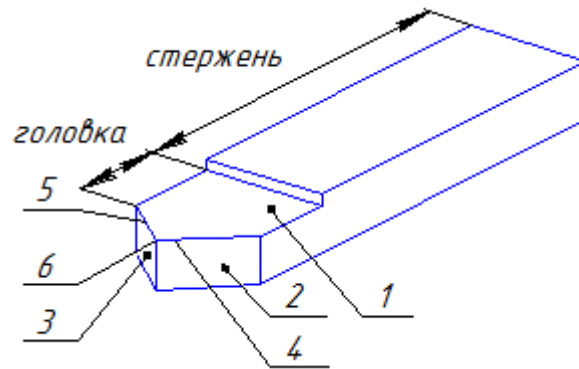


Рис. 5.2. Строение проходного резца: 1 – передняя поверхность, 2 – главная задняя поверхность, 3 – вспомогательная задняя поверхность, 4 – главное режущее лезвие, 5 – вспомогательное режущее лезвие, 6 – вершина резца

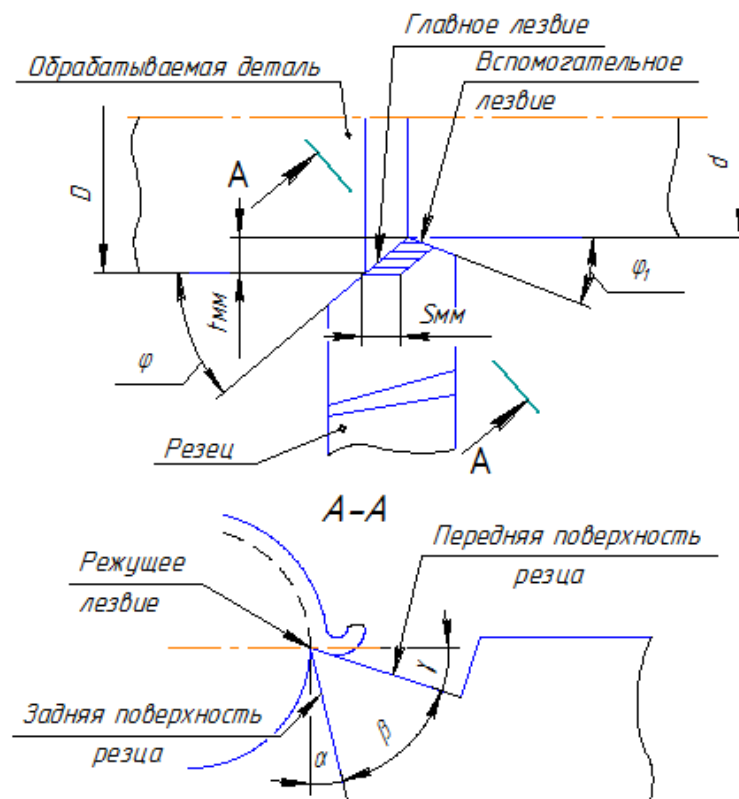


Рис. 5.3. Геометрия токарного резца

Угол заострения β измеряется между передней и главной задней поверхностью резца. Он определяет остроту клина, врезающегося в материал детали. С уменьшением угла заострения облегчается процесс резания, однако вследствие хрупкости инструментальных материалов этот угол довольно велик.

Передний угол γ измеряется между передней поверхностью резца и плоскостью, проведённой через главную режущую кромку перпендикулярно к плоскости резания. Увеличение переднего угла уменьшает

работу, затрачиваемую на отделение стружки, улучшает чистоту поверхности, но ухудшает теплоотвод и прочность режущей кромки. Угол γ считается положительным, если угол $\delta < 90^\circ$, и отрицательным, если угол $\delta > 90^\circ$. Последний используется при обработке твёрдых или хрупких материалов или при наличии периодических ударов. Обычно угол $\gamma = 8 \dots 20^\circ$ или $-5 \dots -10^\circ$.

Главный угол в плане ϕ измеряется между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением продольной подачи. Он определяет соотношение между радиальной и осевой составляющей усилия резания. Если $\phi = 90^\circ$, радиальная составляющая усилия резания, вызывающая изгиб детали, минимальна. В этом случае можно обрабатывать тонкие, нежёсткие детали. Если ϕ уменьшается до $10 \dots 15^\circ$, становится меньше шероховатость обработанной поверхности и износ инструмента, но растёт нагрузка на деталь, вызывающая её вибрацию. Принято значение угла $\phi = 30 \dots 90^\circ$; $\phi_1 = 0 \dots 15^\circ$.

2.2. Конструкция режущего инструмента

Многообразие работ, выполняемых на токарных станках, требует различных по конструкции и назначению резцов. Токарные резцы классифицируются по следующим признакам:

- по направлению подачи – правые и левые; последние используются при обработке ступенчатых валов, торцевых поверхностей, обращённых к шпинделю станка;
- по форме головки – прямые, отогнутые, оттянутые (режущая часть тоньше стержня);
- по характеру выполняемых операций – черновые и чистовые;
- по назначению – проходные, подрезные, отрезные, прорезные, расточные, резьбовые и фасонные;
- по конструкции – цельные (головка и тело резца выполнены из одного материала); с приваренной встык головкой; с припаянной пластинкой (например, из твёрдого сплава); с механическим креплением режущих пластинок (из твёрдых сплавов или минералокерамики);
- по материалу режущей части – углеродистые, быстрорежущие, твёрдосплавные, минералокерамические, алмазные и из сверхтвёрдых материалов.

На рис. 5.4, 5.5, 5.6 показаны основные типы резцов и операции, выполняемые на токарно-винторезных станках: *а* – обработка наружных цилиндрических поверхностей; *б* – растачивание внутренних поверхностей; *в* – обработка торцевых поверхностей; *г* – нарезание канавок на цилиндрической и торцевой поверхностях; *д* – отрезание заготовки; *е* – нарезание наружной и внутренней резьбы.

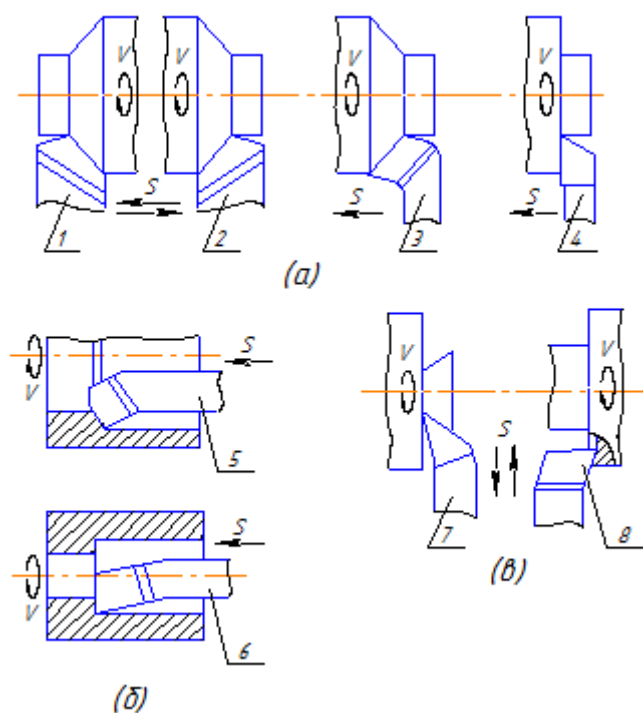


Рис. 5.4. Типы токарных резцов и выполняемые операции:
 1 – левый проходной; 2, 4 – правые проходные; 3 – правый проходной отогнутый;
 5, 6 – расточные; 7 – торцевой правый; 8 – торцевой левый;
 а – обработка наружных цилиндрических поверхностей; б – растачивание
 внутренних поверхностей; в – обработка торцевых поверхностей

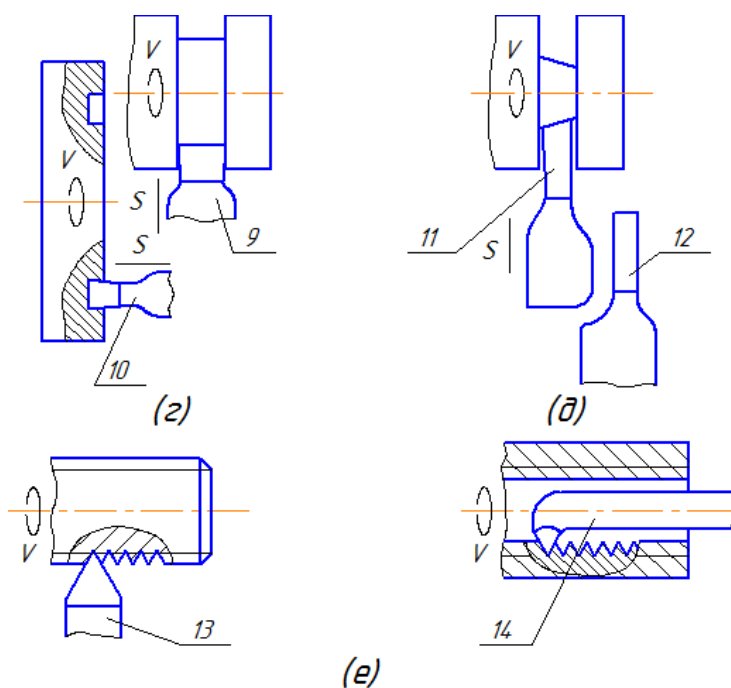


Рис. 5.5. Типы токарных резцов и выполняемые операции:
 9, 10 – прорезные; 11, 12 – отрезные; 13, 14 – резьбовые; г – нарезание канавок;
 д – отрезание заготовки; е – нарезание наружной и внутренней резьбы

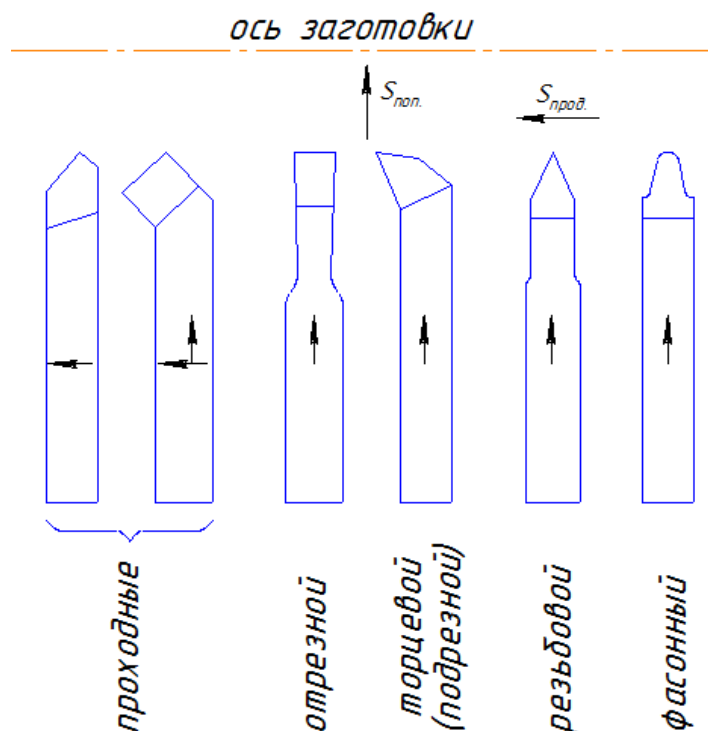


Рис. 5.6. Типы токарных резцов

Проходные резцы служат для обтачивания поверхности. Отрезные резцы служат для отрезания детали от заготовки. Прорезные резцы служат для прорезания канавок на поверхности детали. С помощью подрезных резцов обрабатывают торец заготовки. Расточные резцы служат для растачивания сквозных и глухих отверстий. Резьбовые резцы служат для нарезания наружных и внутренних резьб. Фасонными резцами обрабатывают фасонные поверхности.

2.3. Материал режущего инструмента

Режущий инструмент работает в условиях больших силовых нагрузок, высоких температур и трения. В процессе эксплуатации должны сохраняться неизменными конфигурация и свойства режущей кромки. Материал для изготовления режущего инструмента должен обладать высокой твёрдостью ($HRC\ 60\dots 62$) и износостойкостью, т. е. способностью длительное время сохранять режущие свойства в условиях трения. Твёрдость материала рабочей части инструмента должна значительно превышать твёрдость материала заготовки. Чем больше твёрдость обрабатываемых материалов, толще стружка и выше скорость резания, тем больше энергия, затрачиваемая на процесс обработки резанием. Механическая энергия переходит в тепловую, выделяющееся тепло нагревает резец, деталь, стружку и частично рассеивается. Поэтому основным требованием, предъявляемым к инструментальным материалам, являет-

ся высокая теплостойкость (красностойкость), т. е. способность сохранять высокую твёрдость и режущие свойства при длительном нагреве в процессе работы.

По теплостойкости различают три группы инструментальных сталей для режущего инструмента: нетеплостойкие (до 200...250 °С) углеродистые и легированные стали, содержащие до 3...4 % легирующих элементов; полутеплостойкие (до 300...500 °С), содержащие свыше 0,6...0,7 % углерода и 4...13 % хрома; теплостойкие (до 600...650 °С) высоколегированные стали, содержащие Cr, W, V, Mo, Co, получившие название быстрорежущих.

Важной характеристикой инструментальной стали является прокаливаемость. Высоколегированные теплостойкие и полутеплостойкие стали обладают высокой прокаливаемостью. Инструментальные стали, не обладающие теплостойкостью, делят на стали небольшой прокаливаемости (углеродистые) и повышенной прокаливаемости (легированные):

- Углеродистые инструментальные стали У7...У13 и У7А...У13А содержат 0,7...1,3 % углерода. После термообработки имеют твёрдость $HRC_{\text{с}}$ 60...62.

По назначению различают углеродистые стали для работы при ударных нагрузках и для статически нагруженного инструмента.

Стали марок У7...У9 применяют для изготовления инструмента при работе с ударными нагрузками, от которого требуется высокая режущая способность (зубила, клейма по металлу, пилы, топоры, отвёртки).

Стали марок У10...У13 идут на изготовление режущего инструмента, не испытывающего при работе толчков, ударов и обладающего высокой твёрдостью (напильники, шаберы, острый хирургический инструмент, фрезы, зенкеры, свёрла, резцы).

Углеродистые стали наиболее целесообразно применять для инструментов небольшого сечения (до 5 мм), которые можно закаливать в масле и достигать при этом сквозной прокаливаемости, а также для инструментов диаметром или наименьшей толщиной 18...25 мм, в которых режущая часть приходится только на поверхностный слой (напильники, зенкеры, метчики).

Достоинствами углеродистых инструментальных сталей является низкая стоимость, хорошая обрабатываемость давлением и резанием в отожженном состоянии, хорошая заточиваемость. Их недостатками являются невысокие скорости резания 15...18 м/мин в связи с низкой теплостойкостью (200...250 °С), ограниченные размеры инструмента из-за низкой прокаливаемости и значительные деформации после закалки в воде.

Сталь нелегированная инструментальная поставляется по ГОСТ 1435-74.

- Легированные инструментальные стали 13Х, 9ХС, ХВГ, 9Х5ВФ и другие содержат 0,6...1 % углерода и более и легирующие элементы: кремний, марганец, хром, вольфрам, ванадий, молибден.

Легированные инструментальные стали подобно углеродистым не обладают теплостойкостью (250...300 °С) и пригодны только для резания материалов невысокой прочности ($\sigma_b = 500...600$ МПа) с небольшой скоростью резания (15...25 м/мин). В отличие от углеродистых легированные стали обладают большой прокаливаемостью. Инструменты из этих сталей можно охлаждать при закалке в масле, что уменьшает деформацию и коробление инструмента. Он может иметь большее сечение, а благодаря меньшему короблению – большую длину.

Низколегированные стали 11ХФ, 13Х имеют неглубокую прокаливаемость и рекомендованы для инструмента диаметром до 15...30 мм. Из стали 13Х изготавливают хирургический инструмент, лезвия безопасных бритв, гравировальный инструмент. Из стали 11ХФ изготавливают метчики и другой режущий инструмент диаметром до 30 мм.

Стали 9ХС, ХВГ, ХВСГФ имеют повышенную прокаливаемость и используют для изготовления инструмента крупного сечения: свёрл, развёрток, протяжек диаметром 60...80 мм. Среднелегированные стали типа 9Х5ВФ имеют более высокую теплостойкость (300...400 °С). После термообработки твёрдость этих сталей составляет HRC_2 62...64.

Прутки и полосы из инструментальной легированной стали поставляются по ГОСТ 5950-73.

- Быстрорежущие стали Р18, Р9, Р6М5, Р9М4К8 и другие содержат 0,8...1,1 % углерода; 3,8...4,4 % хрома; 2...19 % вольфрама; 0,5...8,5 % кобальта; 1...3 % ванадия; 1...9 % молибдена.

Режущий инструмент из быстрорежущей стали после термической обработки (HRC_2 62...65) имеет теплостойкость 600...630 °С и обладает повышенной износостойкостью, может работать со скоростями резания до 80 м/мин. Эти материалы являются более распространёнными в настоящее время для изготовления цельных резцов самого различного назначения.

Сталь Р9 рекомендуется для изготовления инструментов простой формы (резцы, фрезы, зенкеры). Для фасонных и сложных инструментов (для нарезания резьб и зубьев), для которых основным требованием является высокая износостойкость, рекомендуют использовать сталь Р18.

Кобальтовую быстрорежущую сталь Р9К5 применяют для обработки деталей из труднообрабатываемых коррозионно-стойких и жаропрочных сталей в условиях прерывистого резания, вибраций, недостаточного охлаждения.

Ванадиевую быстрорежущую сталь Р12Ф3 рекомендуют для изготовления инструментов для чистовой обработки (протяжки, зенкеры, развёртки). Их можно применять для обработки труднообрабатываемых материалов при срезании стружек небольшого поперечного сечения.

Вольфрамомолибденовая сталь Р6М5 используется для инструментов, работающих в условиях черновой обработки, а также для изготовления протяжек, долбяков, фрез, свёрл.

Для экономии быстрорежущих сталей режущий инструмент изготавливают сборным или сварным способом. Рабочую часть инструмента делают из быстрорежущей стали, которую сваривают с хвостовиком из конструкционных сталей 45, 50, 40Х и др. Часто используют пластинки из быстрорежущей стали, которые приваривают к державкам или корпусам инструментов.

Прутки и полосы из быстрорежущей стали поставляются по ГОСТ 19265-73.

- Твёрдые сплавы ВК3, ВК20, Т15К6 и др. представляют инструментальные материалы, состоящие из карбидов тугоплавких металлов (WC, TiC, TaC) и цементирующего металла – кобальта, играющего роль связки. Твёрдые сплавы значительно превосходят быстрорежущие стали по твёрдости (HRC_3 , 73...75), износостойкости, теплостойкости (800...1000 °C), скорость резания допустима до 800 м/мин. Их недостатком является высокая хрупкость. Твёрдые сплавы применяют для резания с высокой скоростью материалов повышенной твёрдости. Получаемая чистота обрабатываемой поверхности из-за высокой жёсткости сплавов лучше, чем после резания инструментами из быстрорежущих сталей.

Твёрдые сплавы изготавливают из порошков прессованием и спеканием и применяют в виде пластинок, припайваемых или механически закрепляемых в режущем инструменте, а также в виде инструментов простой формы (короткие свёрла). Их технологический недостаток – невозможность обработки резанием, т. к. твёрдые сплавы не принимают термической обработки и не изменяют своей высокой твёрдости (HRC_3 , 73...75). В промышленности применяют многогранные неперетачиваемые твёрдосплавные пластинки (трёх-, четырёх-, пяти-, шестигранные и др.), которые крепят механическим способом. После износа одной из режущих кромок пластинки в работу вводят следующую.

Твёрдые сплавы поставляют по ГОСТ 3882-74.

- Твёрдые и сверхтвёрдые инструментальные материалы.

Безвольфрамовые твёрдые сплавы

Общим недостатком твёрдых сплавов помимо высокой хрупкости является повышенная дефицитность вольфрамового сырья. В связи высокой стоимостью вольфрама, тантала и кобальта предпринимаются попытки создания твёрдых сплавов без этих элементов.

Находят применение твёрдые сплавы, в качестве основы для которых используется карбид титана, а в качестве смазки – никель и молибден. Они маркируются КТС, ТН, ТМ и др. Твёрдые сплавы КТС-1 и КТС-2 содержат 15...17 % никеля и 7...9 % молибдена, остальное – карбид титана. В твёрдых сплавах типа ТН-20, ТН-25, ТН-30 в качестве связующего материала применяют в основном никель 16...30 %, молибден 5...9 %, остальное – карбид титана. Твёрдые сплавы ТМ-1, ТМ-3, ТМ-20 имеют в составе 65...90 % карбидов титана и ниобия, 5...20 % никеля, 5...15 % молибдена. Эти материалы имеют высокую твёрдость (HRA 87...94), износо- и коррозионную стойкость, но высокую хрупкость, поэтому их применяют только при выполнении чистовых операций с небольшой глубиной резания.

Минералокерамика

В нашей стране и за рубежом разработан ряд составов минералокерамики, которая благодаря практически неограниченным сырьевым ресурсам имеет низкую стоимость, обеспечивает повышение производительности труда и качество обработки. Минералокерамика применяется в виде сменных многогранных пластин, прикрепляемых к металлообрабатывающему инструменту, и делится на несколько групп: оксидная или белая керамика (марки ЦМ-332 и ВО-13), состоящая на 99 % из оксида алюминия Al_2O_3 и легирующих добавок (MgO , ZrO_2 и др.); оксидно-карбидная или черная керамика (марки ВОК-60, ВОК-63, В-3), состоящая из Al_2O_3 (не менее 60 %), TiC (до 40 %) и других добавок; керамика на основе нитрида кремния SiN_4 и легированием оксидами иттрия, циркония, алюминия и другими (силинит-Р).

Пластины из керамики получают методом спекания при температурах 1600...1800 °С. Минералокерамика имеет твёрдость HRA 91...94 и теплостойкость до 1200 °С, применяется для инструментов, которые должны обеспечивать высокую размерную точность заготовки. Её малое родство с металлом исключает слипание с металлом обрабатываемой заготовки. Вследствие сравнительно низкой прочности и большой хрупкости используется для обработки твёрдых материалов на больших скоростях резания при условии безударных нагрузок.

Поликристаллические синтетические сверхтвёрдые материалы (СТМ) и алмазы

Для чистовой обработки труднообрабатываемых материалов и закалённой стали применяют режущий инструмент, оснащённый пластинами из синтетических поликристаллических сверхтвёрдых материалов на основе нитрида бора – композитов. К этой группе материалов относятся композит 01 (эльбор Р), композит 02 (белбор), композит 10 (гексанит-Р) и др.

Кубический нитрид бора получают при давлении свыше 10^5 МПа и температуре, близкой к 1700°C . Этот материал устойчив против окисления до температуры 1400°C .

Алмазы природные (марка А) и синтетические (марок АСО, АСР, АСВ) имеют наиболее высокую твёрдость, но меньшую прочность на изгиб и устойчивы до 800°C . Синтетические алмазы получают из графита при температуре около 2500°C и давлении 10^4 МПа.

СТМ и алмазы в виде поликристаллов и единичных зёрен закрепляют в вершине резца. Такие резцы обеспечивают высокую точность обработки и низкую шероховатость поверхности заготовки.

Порядок выполнения работы

1. По рекомендации преподавателя изучить форму и конструкцию режущего инструмента.
2. Зарисовать режущий инструмент.
3. Определить тип и область применения режущего инструмента согласно табл. 5.1, 5.2, 5.7, 5.10 и рис. 5.4, 5.5, 5.6.
4. Подобрать материал для изготовления данного инструмента согласно табл. 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.8, 5.9, 5.10, ГОСТов на материал или выписок из ГОСТа.
5. Дать характеристику двух марок сталей, подобранных для данного инструмента: марка стали, ГОСТ, химический состав, режим термической обработки, твёрдость, теплостойкость.
6. Обосновать превосходство одной из двух марок сталей.

Таблица 5.1

Характеристика токарных резцов

Инструмент				Заготовка	
Материал	Угол, °			Материал и его свойства	Характер, условия обработки
	α	γ	φ		
1	2	3	4	5	6
Углеродистые инструментальные стали типа У10, У10А	15	30	45	Медь, латунь вязкая	Чистовая деталей небольшого размера
	15	25	90	Медь, латунь вязкая	Чистовая нежёстких деталей небольшого размера
Быстрорежущие стали типа Р18, Р12, Р6М5	10	25	45	Медь, бронза и другие цветные сплавы	Получистовая и чистовая при непрерывном резании на больших скоростях
	8	18	45...60	Прокат углеродистой и легированной сталей, стальное литьё	Получистовая и чистовая при непрерывном резании на больших скоростях
	8...12	25...30	45	Чугун серый и ковкий	Получистовая и чистовая при непрерывном резании на больших скоростях
	8...12	12...20	45	Стальное и чугунное литьё	Черновая прерывистых поверхностей или с литья с коркой
Твёрдые сплавы типа ВК2, ВК3, ВК8	6...10	0...5	45	Стальное и чугунное литьё, стальные поковки	Черновая поковки, литья по корке и окалине при равномерном сечении среза
	8...12	12...15	45	Цветные металлы и их сплавы, неметаллические материалы	Чистовая и получистовая при непрерывном резании
Твёрдые сплавы типа Т5К10, Т15К6	12	8...12	45	Углеродистые и легированные труднообрабатываемые стали	Непрерывная чистовая и получистовая наружных поверхностей
	6...10	0...15	45	Чугун серый и ковкий	Черновая при переменной и ударной нагрузке
Твёрдые сплавы Т30К4, Т60К6	12	0...10	60	Углеродистые, специальные легированные стали; закалённые стали	Тонкое (алмазное) точение

Окончание табл. 5.1

1	2	3	4	5	6
Твёрдые сплавы ТТ7К12, ТТ7К15	8...12	-5...-10	45	Углеродистые и легированные стали	Черновая без ударов
Эльбор (композит 01) Бельбор (композит 02)	—	—	—	Закалённые легированные стали (HRC, 55...70) и чугуны (HB 500...600), твёрдые сплавы группы ВК	Непрерывная тонкая и чистовая, $t = 0,1...0,3$, но не более $0,8...1,0$ мм
Алмаз АРВ АРК	—	—	—	Алюминиевые сплавы, латунь, стеклопластик, пластмассы, керамика, твёрдые сплавы	Тонкая, чистовая, получистовая, $t = 0,1...0,5$ мм (пластмассы $t = 2$ мм)

Таблица 5.2

Твёрдые сплавы (материалы с твёрдостью HV 1500...2000) ГОСТ 3882-74

49

Марка сплава	Химический состав, %				Твёрдость, HRA	Прочность $\sigma_{изг} \cdot 10$ МПа	Назначение
	WC	TiC	TaC	Co			
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Для резания стали (Вольфрамтитанокобальтовые)							
T30K	66	30	—	4	92	90	Точение с малым сечением среза, развёртывание
T15K6	79	15	—	6	90	115	Точение чистовое (непрерывное), фрезерование
T5K12	83	5	—	12	87	160	Тяжёлое черновое точение, строгание
Вольфрамтитанотанталокобальтовый							
T17K12	81	4	3	12	87	160	Точение, строгание при больших нагрузках
2. Для холодного деформирования – штампованные (вольфрамокобальтовые)							
BK20	80	—	—	20	84,5	190	Штампы и детали при повышенном износе и небольших ударных нагрузках
BK25	75	—	—	25	83	200	То же, при больших нагрузках

Окончание табл. 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8
3. Для резания чугунов, цветных металлов, аустенитных сталей и сплавов, неметаллов (вольфрамокобальтовые)							
Вк3	87	–	–	3	90	110	Точение чистовое (непрерывное резание) чугуна. Обработка стекла, резины, пластмасс
ВК6	94	–	–	6	88,5	145	Точение чистовое прерывное и черновое непрерывное чугуна, цветных металлов, полимеров
ВК6М	94	–	–	6	90	135	Обработка аустенитных сталей и сплавов, твёрдых чугунов и неметаллов
ВК6В	94	–	–	6	87,5	150	Бурение горных пород
ВК8	92	–	–	8	87,5	160	Черновое точение, строгание, фрезерование чугунов и неметаллов
ВК8В	92	–	–	8	86,5	170	Точение аустенитных сплавов, строгание, бурение тяжёлых горных пород

СТАЛЬ НЕЛЕГИРОВАННАЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ПО ГОСТ 1435-74

«СТАЛЬ НЕЛЕГИРОВАННАЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ»

Таблица 5.3

Марки стали и химический состав

Марка стали	Массовая доля, %				
	углерода	кремния	марганца	серы	фосфора
				не более	
У7	0,66...0,73	0,17...0,33	0,17...0,33	0,028	0,030
У8	0,76...0,83	0,17...0,33	0,17...0,33	0,028	0,030
У8Г	0,81...0,89	0,17...0,33	0,17...0,33	0,028	0,030
У9	0,86...0,93	0,17...0,33	0,17...0,33	0,028	0,030
У10	0,96...1,03	0,17...0,33	0,17...0,33	0,028	0,030
У11	1,06...1,13	0,17...0,33	0,17...0,33	0,028	0,030
У12	1,16...1,23	0,17...0,33	0,17...0,33	0,028	0,030
У13	1,26...1,34	0,17...0,33	0,17...0,33	0,028	0,030
У7А	0,66...0,73	0,17...0,33	0,17...0,28	0,018	0,025
У8А	0,76...0,83	0,17...0,33	0,17...0,28	0,018	0,025
У8ГА	0,81...0,89	0,17...0,33	0,17...0,28	0,018	0,025
У9А	0,86...0,96	0,17...0,33	0,17...0,28	0,018	0,025
У10А	0,96...1,03	0,17...0,33	0,17...0,28	0,018	0,025
У11А	1,06...1,13	0,17...0,33	0,17...0,28	0,018	0,025
У12А	1,16...1,23	0,17...0,33	0,17...0,28	0,018	0,025
У13А	1,26...1,34	0,17...0,33	0,17...0,28	0,018	0,025

Таблица 5.4

Режимы термической обработки и твердость

Марка стали	Твёрдость термически обработанной стали		Твёрдость образцов после закалки в воде	
	НВ, не более	Диаметр отпечатка, мм, не менее	Температура, °С	HRC ₃ (HRC), не менее
У7, У7А, У8, У8А, У8Г, У8ГА	187	4,4	800...820 780...800 780...800	63 (62)
У9, У9А	192	4,35	760...780	63 (62)
У10, У10А У11, У11А	207 212	4,2 4,15	770...800	63 (62)
У12, У12А У13, У13А	212 217	4,15 4,1	760...790	63 (62)

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ЛЕГИРОВАННАЯ СТАЛЬ
ПО ГОСТ 5950-73 «ПРУТКИ И ПОЛОСЫ ИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ»

Таблица 5.5

Марки сталей и химический состав

Марка стали	Массовая доля элемента, %							
	углерод	кремний	марганец	хром	вольфрам	ванадий	молибден	никель
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Группа I								
8ХФ	0,70...0,80	0,10...0,40	0,15...0,45	0,40...0,70	—	0,15...0,30	—	—
9ХФ	0,80...0,90	0,15...0,35	0,30...0,60	0,40...0,70	—	0,15...0,30	0,15...0,25	—
9ХФМ	0,80...0,90	0,15...0,35	0,30...0,60	0,40...0,70	—	0,15...0,30	—	—
11ХФ (11Х)	1,05...1,15	0,15...0,35	0,40...0,70	0,40...0,70	—	0,15...0,30	—	—
13Х	1,25...1,40	0,10...0,40	0,15...0,45	0,40...0,70	—	—	—	—
ХВ4Ф (ХВ5)	1,25...1,45	0,15...0,35	0,15...0,40	0,40...0,70	3,50...4,30	0,15...0,30	—	—
В2Ф	1,05...1,22	0,10...0,40	0,15...0,45	0,20...0,40	1,60...2,00	0,15...0,30	—	—
9Х1 (9Х)	0,80...0,95	0,25...0,45	0,15...0,40	1,40...1,70	—	—	—	—
Х	0,95...1,10	0,10...0,40	0,15...0,45	1,30...1,65	—	—	—	—
12Х1 (120Х, ЭП430)	1,15...1,25	0,15...0,35	0,30...0,60	1,30...1,65	—	—	—	—
9ХС	0,85...0,95	1,20...1,60	0,30...0,60	0,95...1,25	—	—	—	—
ХГС	0,95...1,05	0,40...0,70	0,85...1,25	1,30...1,65	—	—	—	—
9ХВГ	0,85...0,95	0,15...0,35	0,90...1,20	0,50...0,80	0,50...0,80	—	—	—
ХВГ	0,90...1,05	0,10...0,40	0,80...1,10	0,90...1,20	1,20...1,60	—	—	—
ХВСГФ	0,95...1,05	0,65...1,00	0,60...0,90	0,60...1,10	0,50...0,80	0,05...0,15	—	—
9Х5ВФ	0,85...1,00	0,15...0,40	0,15...0,40	4,50...5,50	0,80...1,20	0,15...0,30	—	—

Продолжение табл. 5.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8Х6НФТ (85Х6НФТ)	0,80...0,90	0,15...0,35	0,15...0,40	5,00...6,00	—	0,30...0,50	—	0,90...1,30 Титан 0,05...0,15
9Г2Ф	0,85...0,95	0,10...0,40	1,70...2,20	—	—	0,10...0,30	—	—
Х6ВФ	1,05...1,15	0,15...0,35	0,15...0,40	5,5...6,5	1,10...1,50	0,50...0,80	—	—
Х12	2,00...2,20	0,10...0,40	0,15...0,45	11,5...13	—	—	—	—
Х12ВМФ	2,00...2,20	0,10...0,40	0,15...0,45	11...12,5	0,50...0,80	0,15...0,30	0,60...0,9	—
Х12МФ	1,45...1,65	0,10...0,40	0,15...0,45	11...12,5	—	0,15...0,30	0,40...0,60	—
Х12Ф1	1,25...1,45	0,15...0,35	0,15...0,40	11...12,5	—	0,70...0,90	—	—
7ХГ2ВМФ	0,68...0,76	0,20...0,40	1,80...2,30	1,5...1,8	0,55...0,90	0,10...0,25	0,50...0,80	—
6Х6В3МФС (55Х6В3СМ, ЭП569)	0,50...0,60	0,60...0,90	0,15...0,40	5,5...6,5	2,50...3,20	0,50...0,80	0,60...0,90	—
6Х4М2ФС (ДИ55)	0,57...0,65	0,70...1,00	0,15...0,40	3,8...4,4	—	0,40...0,60	2,00...2,40	—
11Х4В2МФС2 (ДИ37)	1,05...1,15	1,40...1,80	0,20...0,50	3,5...4,2	2,00...2,70	2,30...2,80	0,30...0,50	0,40 не более
8Х4В2МФС2 (ЭП761)	0,80...0,90	1,70...2,00	0,20...0,50	4,55...5,1	1,80...2,30	1,10...1,40	0,80...1,10	—
5Х2МНФ	0,46...0,53	0,10...0,40	0,40...0,70	1,50...2,0	—	0,30...0,50	0,80...1,10	1,20...1,60
3Х2МНФ	0,27...0,33	0,15...0,40	0,30...0,60	2,20...2,5	—	0,25...0,40	0,40...0,60	1,20...1,60
4ХМНФС	0,35...0,42	0,70...1,00	0,15...0,40	1,50...2,0	—	0,35...0,50	0,65...0,85	1,20...1,60
7Х3	0,65...0,75	0,15...0,35	0,15...0,40	3,20...3,80	—	—	—	—
8Х3	0,75...0,85	0,15...0,35	0,15...0,40	3,20...3,80	—	—	—	—
5ХНМ	0,50...0,60	0,10...0,40	0,50...0,80	—	—	—	0,15...0,30	1,40...1,80
5ХНВ	0,50...0,60	0,15...0,35	0,50...0,80	0,50...0,80	0,40...0,70	—	—	1,40...1,80

Окончание табл. 5.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Группа II								
5ХНВС	0,50...0,60	0,60...0,90	0,30...0,60	0,50...0,80	0,40...0,70	–	–	0,80...1,20
4ХМФС (40ХСМФ)	0,37...0,45	0,50...0,80	0,50...0,80	1,30...1,60	–	0,30...0,50	0,90...1,20	–
4Х5В2ФС (ЭИ958)	0,35...0,45	0,80...1,20	0,15...0,40	1,50...1,80	1,60...2,20	0,60...0,90	–	–
4Х5МФС	0,32...0,40	0,90...1,20	0,20...0,50	4,50...5,50	–	0,30...0,50	1,20...1,50	–
4Х5МФ1С (ЭП572)	0,37...0,44	0,90...1,20	0,20...0,50	4,50...5,50	–	0,80...1,10	1,20...1,50	–
4Х3ВМФ (ЭИ-2)	0,40...0,48	0,60...0,90	0,30...0,60	2,80...3,50	0,60...1,00	0,60...0,90	0,40...0,60	–
4Х4ВМФС (ДИ22)	0,37...0,44	0,60...1,00	0,20...0,50	4,50...5,50	–	0,60...0,90	1,20...1,50	–
3Х3МЗФ	0,27...0,34	0,10...0,40	0,20...0,50	2,80...3,50	–	0,40...0,60	2,50...3,00	–
4Х2В5МФ (ЭИ959)	0,30...0,40	0,15...0,35	0,15...0,40	2,20...3,00	4,50...5,50	0,60...0,90	0,60...0,90	–
5Х3В3МФС (ДИ23)	0,45...0,52	0,50...0,80	0,20...0,50	2,50...3,20	3,00...3,60	1,50...1,80	0,80...1,10	Ниобий 0,05...0,15
4ХС	0,35...0,45	1,20...1,60	0,15...0,40	1,33...1,60	–	–	–	–
6ХС	0,60...0,70	0,60...1,00	0,15...0,40	1,00...1,30	–	–	–	–
5ХВ2СФ	0,45...0,55	0,80...1,10	0,15...0,45	0,90...1,20	1,80...2,30	0,15...0,30	–	–
6ХВ2С	0,55...0,65	0,50...0,80	0,15...0,40	1,00...1,30	2,20...2,70	–	–	–
6ХВГ	0,55...0,70	0,15...0,35	0,90...1,20	0,50...0,80	0,50...0,80	–	–	–
6Х3МФС (ЭП788)	0,55...0,62	0,35...0,65	0,20...0,60	2,60...3,30	–	0,30...0,60	0,20...0,50	–
05Х12Н6Д2МФСГТ (ДИ80)	0,01...0,08	0,60...1,20	0,20...1,20	11,5...13,5	–	0,20...0,50	0,20...0,40	5,50...6,50

Таблица 5.6

Твёрдость стали после закалки и закалки с отпуском

Марка стали	Температура, °С и среда закалки образцов	Температура отпуска, °С	Твёрдость HRC ₃ (HRC), не менее
11ХФ	810...830, масло	–	630(62)
9Х1	820...850, масло	–	630(62)
12Х1	850...870, масло	–	630(62)
9ХС	840...860, масло	–	630(62)
ХГС	820...860, масло	–	630(62)
9ХВГ	820...840, масло	–	630(62)
ХВСГФ	840...860, масло	–	630(62)
13Х	800, вода	180	61(60)
Х	840, масло	180	60(59)
ХВГ	830, масло	180	61(60)
9Г2Ф	790, масло	180	60(59)
8ХФ	830, масло	180	58(57)
	800, вода	180	58(57)
В2Ф	830, вода	180	60(59)
Х12	970, масло	180	62(61)
Х12МФ	970, масло	180	61(60)
Х12ВМФ	1020, масло	180	61(60)
4Х5МФС	1020, масло	550	48(47)
4Х5МФ1С	1030, масло	550	48(47)
3Х3М3Ф	1040, масло	550	46(45)
4Х4ВМФС	1060, масло	550	50(49)
5Х3В3МФС	1130, масло	550	50(49)
5ХНМ	850, масло	550	36(35)
5Х2МНФ	970, масло	550	45(44)
5ХВ2СФ	910, масло	180	56(55)

Таблица 5.7

Примерное назначение инструментальной легированной стали различных марок

Марки стали	Область применения
8ХФ	Для штемпелей при холодной работе; ножей при холодной резке металлов; обрезных матриц и пуансонов при холодной обрезке заусенцев, карнеров
9ХФ	Для рамных, ленточных круглых строгальных пил; штемпелей при холодной работе; ножей при холодной резке металлов; обрезных матриц и пуансонов при холодной обрезке заусенцев, карнеров
11ХФ	Для метчиков и другого режущего инструмента диаметром до 30 мм, закаливаемого с охлаждением в горячих средах.
13Х	Для бритвенных ножей и лезвий, острого хирургического инструмента, шаберов, гравировального инструмента
В2Ф	Для ленточных пил по металлу и ножовочных полотен
12Х1	Для измерительного инструмента (плиток, калибров, шаблонов)
ХВ4Ф	Для резцов и фрез при обработке с небольшой скоростью резания твёрдых металлов (валки с закалённой поверхностью); гравировальных резцов при очень напряжённой работе и т. д
9Х1	Для валков холодной прокатки, дрессировочных валков, клейм, пробойников, холодновысадочных матриц и пуансонов; деревообрабатывающего инструмента
Х	Для зубил, применяемых при насечке напильников; очень твёрдых кулачков эксцентриков и пальцев; гладких цилиндрических калибров и калиберных колец; токарных, строгальных и долбежных резцов в лекальных и ремонтных мастерских
9ХС	Для свёрл, развёрток, метчиков, плашек, гребёнок, фрез, машинных штемпелей, клейм для холодных работ
ХГС	Для валиков холодной прокатки, холодновысадочных матриц и пуансонов, вырубных штампов, небольших размеров (диаметром или толщиной до 70 мм). Сталь марки ХГС не может заменить сталь марок ХВГ, 9ХС, ХВСГФ при изготовлении режущих инструментов

БЫСТРОРЕЖУЩАЯ СТАЛЬ
ПО ГОСТ 19265-73 «ПРУТКИ И ПОЛОСЫ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ»

Таблица 5.8

Марки сталей и химический состав

Марка стали	Массовая доля элемента, %												
	углерод	крем- ний	марга- нец	хром	вольфрам	ваннадий	молибден	кобальт	никель	сера	фосфор	азот	ниобий
		не более							не более				
P18	0,73...0,83	0,50	0,50	3,8...4,4	17,0...18,5	1,0...1,4	н. б. 1,00	н. б. 1,00	0,40	0,30	0,30	—	—
P9	0,85 0,95	0,50	0,50	3,8...4,4	8,50...9,50	2,3...2,7	н. б. 1,00	н. б. 0,50	0,40	0,30	0,30	—	—
P6M5	0,82...0,90	0,50	0,50	3,8...4,4	5,50...6,50	1,7...2,1	4,8...5,3	н. б. 0,50	0,40	0,30	0,30	—	—
11P3AM3Φ2	1,02...1,12	0,50	0,50	3,8...4,4	2,50...3,30	2,3...2,7	2,5...3,0	н. б. 0,50	0,40	0,30	0,30	0,0...0,1	0,05...0,2
P6M5Φ3	0,95...1,05	0,50	0,50	3,8...4,4	5,70...6,70	2,3...2,7	4,8...5,3	н. б. 0,50	0,40	0,30	0,30	—	—
P12Φ3	0,95...1,05	0,50	0,50	3,8...4,4	12,0...13,0	2,5...3,0	н. б. 1,00	н. б. 0,50	0,40	0,30	0,30	—	—
P18K5Φ2	0,85...0,95	0,50	0,50	3,8...4,4	17,0...18,5	1,8...2,2	н. б. 1,00	4,7...5,2	0,40	0,30	0,30	—	—
P9K5	0,90...1,00	0,50	0,50	3,8...4,4	9,0...10,0	2,3...2,7	н. б. 1,00	5,0...6,0	0,40	0,30	0,30	—	—
P6M5K5	0,84...0,92	0,50	0,50	3,8...4,4	5,7...6,7	1,7...2,1	4,8...5,3	4,7...5,2	0,40	0,30	0,30	—	—
P9M4K8	1,00...1,10	0,50	0,50	3,8...4,4	8,5...9,5	2,3...2,7	3,8...4,3	7,5...8,5	0,40	0,30	0,30	—	—
P2AM9K5	1,00...1,10	0,50	0,50	3,8...4,4	1,5...2,0	1,7...2,1	8,0...9,0	4,7...5,2	0,40	0,30	0,30	0,05...0,1	0,1...0,3

Таблица 5.9

Режим термической обработки и твёрдость

Марка стали	Твёрдость			Температура, °С	
	После отжига		После закалки с отпуском, HRC ₃ , (HRC), не менее	Закалки	Отпуска
	HB, не более	Диаметр отпечатка, мм, не менее			
P18	255	3,8	63(62)		
P9	255	3,8	63(62)		
P6M5	255	3,8	64(63)		
11P3AM3Φ2	255	3,8	64(63)		
P6M5Φ3	269	3,7	65(64)		
P12Φ3	269	3,7	64(63)		
P18K5Φ2	285	3,6	64(63)		
P9K5	269	3,7	64(63)		
P6M5K5	269	3,7	65(64)		
P9M4K8	285	3,6	65(64)		
P2AM9K5	285	3,6	65(64)		

Таблица 5.10

Свойства и примеры применения быстрорежущей стали

Марка	Вязкость	Сопротивле- ние износу	Шлифуе- мость	Красностойкость 59 HRC ₃ при отпуске в течение 4 ч, °С	Особые свойства	Назначение
1	2	3	4	5	6	7
P18	Хорошая	Хорошее	Повышен- ная	620	Пониженная склонность к пере- греву при закалке	Для всех видов режущего инструмента при обработке углеродистых легированных конст- рукционных сталей
P9	Хорошая	Хорошее	Понижен- ная	620	Повышенная склонность к пере- греву при закалке	Для инструмента простой формы, не требую- щего большого объёма шлифовки, для обра- ботки конструкционных материалов
P6M	Повы- шенная	Хорошее	Хорошая	620	Повышенная склонность к обез- углероживанию	То же, что и для стали марки P18, предпочти- тельно для изготовления резбонарезного ин- струмента, а также инструмента, работающего с ударными нагрузками
11P3AM3Φ2	Повы- шенная	Хорошее	Понижен- ная	620	Повышенная склонность к пере- греву при закалке	Для инструмента простой формы при обра- ботке углеродистых и малолегированных ста- лей с прочностью не более 784 МПа
P6M5Φ3	Хорошая	Повышенное	Хорошая	603	Повышенная склонность к обез- углероживанию	Для чистовых и получистовых инструментов (фасонные резцы, развёртки, протяжки, фрезы и др.) при обработке нелегированных и леги- рованных конструкционных сталей
P12Φ3	Хорошая	Повышенное	Пони- женная	630	Повышенная склонность к пере- греву при закалке	Для чистовых инструментов при обработке вязкой аустенитной стали и материалов, обла- дающих абразивными свойствами

Окончание табл. 5.10

1	2	3	4	5	6	7
P18K5Ф2	Пони- женная	Повышенное	Хорошая	640	Повышенная склонность к пере- греву при закалке	Для черновых и получистовых инструментов при обработке высокопрочных, нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов
11P3AM3Ф2	Повы- шенная	Хорошее	Пони- женная	620	Повышенная склонность к пере- греву при закалке	Для инструмента простой формы при обра- ботке углеродистых и малолегированных ста- лей с прочностью не более 784 МПа
P12Ф3	Хорошая	Повышенное	Пони- женная	630	Повышенная склонность к пере- греву при закалке	Для чистовых инструментов при обработке вязкой аустенитной стали и материалов, обла- дающих абразивными свойствами
P2AM9K5	Хорошая	Хорошее	Понижен- ная	630	Повышенная склонность к обез- углероживанию и перегреву при за- калке	Для режущего инструмента при обработке улучшенных легированных, а также нержа- вующих сталей
P18K5Ф2	Пони- женная	Повышенное	Хорошая	640	Повышенная склонность к пере- греву при закалке	Для черновых и получистовых инструментов при обработке высокопрочных, нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов
P9K5	Пони- женная	Повышенное	Понижен- ная	630	Повышенная склонность к пере- греву при закалке	Для обработки нержавеющей сталей и жаро- прочных сплавов, а также сталей повышенной твёрдости
P9M4K8	Пони- женная	Повышенное	Понижен- ная	630	Повышенная склон- ность к обезуглеро- живанию	Для различных инструментов при обработке высокопрочных, жаропрочных и нержавеющей сталей
P6M5K5	Хорошая	Повышенное	Хорошая	630	Повышенная склонность к обез- углероживанию	Для черновых и получистовых инструментов при обработке улучшенных легированных, а также нержавеющей сталей

Контрольные вопросы

1. Назвать основные параметры режима резания.
2. Дать определение скорости резания, подачи, глубины резания.
3. Какими явлениями сопровождается процесс резания?
4. Чем отличается черновая обработка от чистовой?
5. От каких факторов, и как зависит качество поверхности обработанной детали?
6. Как влияет величина главного заднего угла α на процесс резания?
7. Как влияет величина переднего угла γ на процесс резания?
8. Укажите основные элементы режущей части резца.
9. Перечислите существующие конструкции резцов.
10. Дать характеристику типов резцов в зависимости от их назначения.
11. Перечислите основные требования, предъявляемые к инструментальным материалам.
12. Дайте краткую характеристику современным инструментальным материалам.
13. Какие инструментальные материалы применяют для изготовления токарных резцов?
14. Почему углеродистые инструментальные стали редко применяют для изготовления токарных резцов?
15. Каковы преимущества легированных сталей для режущего инструмента перед углеродистыми сталями?
16. Какие вы знаете быстрорежущие стали, твёрдые сплавы? Назвать марки

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Цель работы

1. Освоить способы экономичного раскроя листового материала.
2. Научиться пользоваться ГОСТами на материал и сортамент.
3. Научиться составлять технологический процесс.

Лабораторная работа предполагает изучение технологических процессов машиностроительного производства, работу с Государственными стандартами (ГОСТ). В соответствии с ГОСТ выбираются материал, сортамент и разрабатывается технологический процесс согласно правил оформления. В результате выполнения самостоятельной работы студент приобретает навыки по составлению технологического процесса.

Теоретическая часть

1. Технологический процесс

Штамповка является одним из видов обработки металлов давлением, производимой при помощи штампов на прессах.

По характеру деформаций холодная штамповка разделяется на две группы:

- 1) деформации с разделением материала (срез и отделение одной части от другой);
- 2) пластические деформации (включают операции по изменению формы гнутых и полых листовых деталей).
- 3) Виды деформаций холодной листовой штамповки:
- 4) резка – отделение одной части материала от другой по замкнутому или незамкнутому контуру;
- 5) гибка – превращение плоской заготовки в изогнутую деталь;
- 6) вытяжка – превращение плоской заготовки в полую деталь любой формы или дальнейшее изменение ее размеров;
- 7) формовка – изменение формы детали или заготовки путем местных деформаций различного характера.

Холодная листовая штамповка объединяет большое количество операций, которые могут быть систематизированы по технологическим признакам:

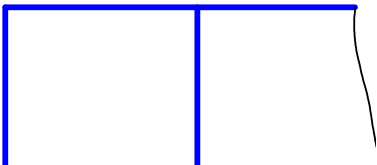
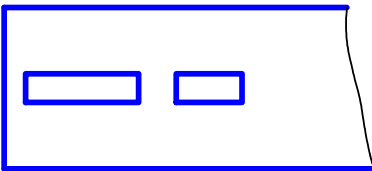
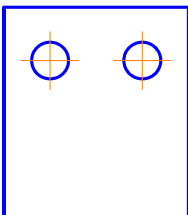
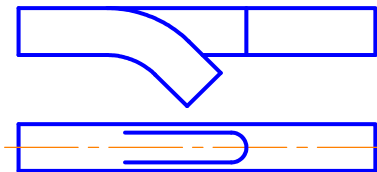
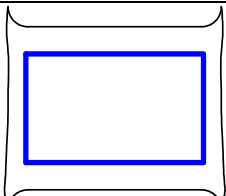
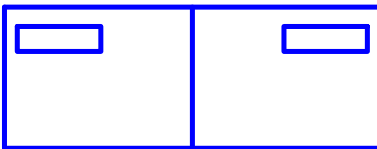
- 1) разделительные операции (отрезка, вырубка, пробивка, надрезка, обрезка, зачистка, проческа (табл. 6.1);

2) формоизменяющие операции (гибка, завивка, скручивание, вытяжка, протяжка, обтяжка, закатка, раздача, рельефная формовка, отбортовка, обжим, правка, выдавливание);

3) комбинированные операции.

Таблица 6.1

*Терминология и характеристика основных операций холодной штамповки –
разделительные операции*

Наименование операции	Эскиз детали	Определение и характеристика операции
Отрезка		Разделение материала на части по незамкнутому контуру
Вырубка		Отделение детали от заготовки (или заготовки от исходного материала) по замкнутому контуру
Пробивка		Получение сквозных отверстий в заготовке с удалением материала по замкнутому контуру
Надрезка		Частичное отделение материала по незамкнутому контуру без удаления отделяемой части
Обрезка		Отделение от заготовки части материала (технологического припуска)
Разрезка		Разделение плоских, гнутых или полых заготовок на две или несколько отдельных деталей

По технологическому признаку комбинированные операции разделены на три группы:

а) разделительные комбинированные операции, совмещающие различные виды режущих операций;

б) формоизменяющие комбинированные операции, совмещающие виды операций изменения форм;

в) комбинированные операции резки и изменения формы, совмещающие разделительные операции с формоизменяющими или сочетающие несколько операций (вырубку-вытяжку, формовка-пробивка).

В зависимости от количества операций, выполняемых в одном штампе, различают следующие виды штамповки:

1) пооперационная штамповка, когда выполнение каждой операции осуществляют на отдельном штампе;

2) комбинированная штамповка, которая представляет собой совмещение в одном штампе двух или нескольких технологически различных операций штамповки.

По способу совмещения операций комбинированная штамповка разделяется на три группы:

1) совмещенная штамповка – когда одновременно выполняется несколько различных операций за один ход пресса и за одну установку заготовки в штампе;

2) последовательная штамповка – когда объединено несколько различных операций, осуществляемых последовательно, отдельными пуансонами за несколько ходов пресса при перемещении заготовки между ними.

3) совмещенно-последовательная штамповка – когда выполняется несколько различных операций путем сочетания в одном штампе совмещенной и последовательной штамповки.

Технологическим процессом холодной штамповки называется совокупность действий, направленных на изменение формы материала или заготовки и получение готовой детали при использовании прессов в качестве оборудования, а штампов – в качестве оснастки.

Процесс штамповки детали может состоять из одной или нескольких операций.

Целью технологического процесса является изготовление деталей в соответствии с технологическими условиями и чертежом с наименьшей себестоимостью.

В условиях крупносерийного производства необходимо стремиться:

- к наименьшему расходу материала;
- наименьшему количеству операций;
- совмещенной и последовательной комбинированной штамповке;
- многорядовой штамповке;
- увеличению производительности;
- применению механизации и автоматизации;
- созданию автоматизированных линий.

В мелкосерийном производстве целесообразно применять упрощенную технологию штамповки, используя упрощенные и универсальные штампы для того, чтобы затраты и время на подготовку производства были незначительны.

При разработке технологического процесса необходимо решить следующие задачи:

- согласовать конструктивные и технологические требования к детали;
- определить форму и размеры заготовки и расход материала на деталь;
- определить количество и последовательность операций;
- установить типы штампов и исходные данные для их конструктивной разработки;
- определить тип, мощность и габариты требуемого оборудования;
- определить нормы времени, разряды рабочих и количество рабочих;
- определить методы контроля точности и качества деталей;
- определить необходимость применения каких-либо доделочных непресовых операций, а также установить, не требуется ли термическая обработка.

2. Раскрой материала

Для листовой штамповки выбор исходной заготовки осуществляется путем экономического анализа возможных вариантов раскроя материала и определения оптимального. В качестве критерия оптимальности принимается коэффициент использования материала (КИМ).

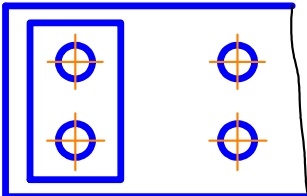
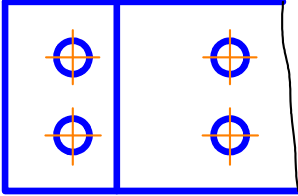
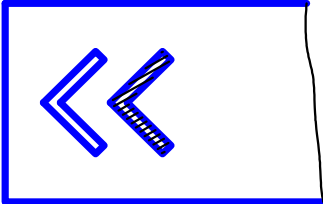
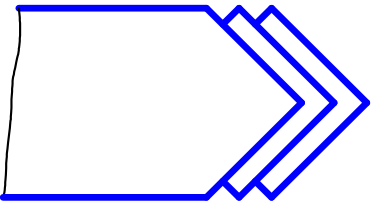
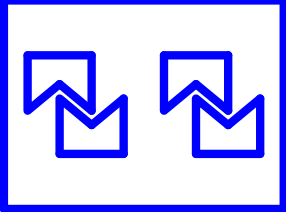
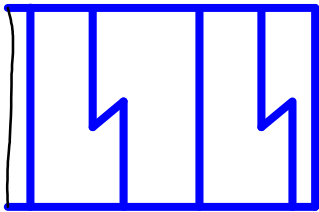
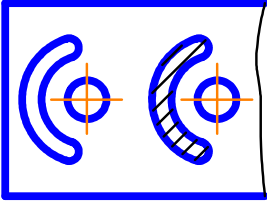
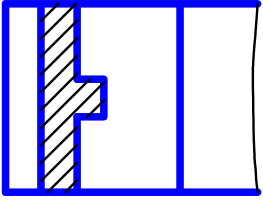
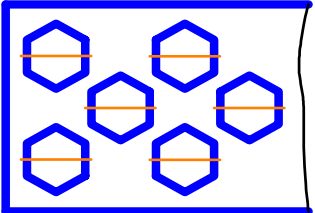
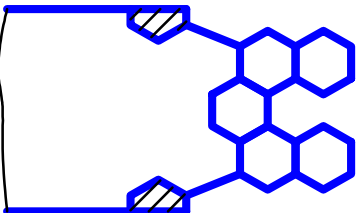
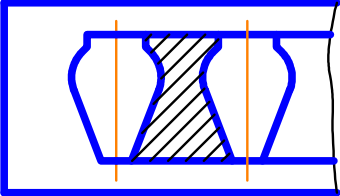
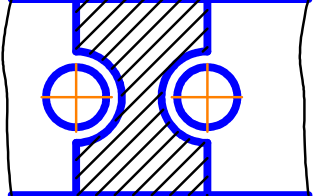
Раскром материала называется способ расположения вырубаемых деталей на заготовке.

При штамповке с отходами определяют величину перемычек. С точки зрения экономии материала перемычки между деталями должны быть минимальными. Но при очень малых перемычках ухудшается качество резки (перемычки выворачиваются) и стойкость штампов. Кроме того, перемычка должна обеспечивать достаточную жесткость отхода и надежную подачу материала через штамп. Минимальная величина перемычек зависит от толщины и рода материала, формы вырубаемых деталей, конструкции штампа (табл. 6.3). Принимается минимальная величина перемычек, равная толщине металла.

Исходным материалом являются листы, полосы, ленты. Предварительно листы раскраиваются на полосы или отдельные заготовки простой формы. Широкую рулонную ленту продольно разрезают на узкие ленты и только потом выполняют раскрой полосового материала. Можно выделить три вида раскроя полосового материала (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Варианты расположения в полосе

Вариант раскроя	Раскрой с отходом	Малоотходный и безотходный раскрой
Прямой		
Наклонный		
Встречный		
Комбинированный		
Многорядный		
С вырубкой отхода		

Раскрой с отходами – когда вырезка происходит по всему контуру детали, а перемычка имеет замкнутую форму.

Малоотходный раскрой – когда вырезают только часть контура детали, а в отход идет или перемычка между двумя вырезками, или только боковая перемычка.

Безотходный раскрой – когда вырезаемая деталь получается путем прямолинейной или криволинейной отрезки без образования перемычек.

Порядок выполнения работы

1. Согласно варианта задания (табл. 6.4), начертить чертеж детали, проставить размеры, указать обозначение материала и ГОСТ на материал.

2. Рассчитать массу детали.

3. Выбрать сортамент на материал заготовки согласно ГОСТ (лист, полоса, лента), указать условное обозначение.

4. Выполнить раскрой материала с вырубкой по всему контуру (величина перемычек указана в табл. 6.3) и более рационально. Проставить все необходимые размеры.

5. Определить коэффициент использования материала (КИМ) для двух вариантов раскроя (для листа и ленты или полосы). Расчет выполнить по любой из формул

$$\text{КИМ} = \frac{F_{\text{д}}}{F_3} = \frac{\sum F_{\text{д}}}{F_{\text{листа}}} = \frac{m_{\text{д}}}{m_3}, \quad (6.1)$$

где $F_{\text{д}}$ – площадь детали, см^2 ; F_3 – площадь заготовки, см^2 ; $\sum F_{\text{д}}$ – сумма площадей деталей, раскроенных на листе, см^2 ; $F_{\text{листа}}$ – площадь всего листа, см^2 ; $m_{\text{д}}$ – масса детали, кг; m_3 – масса заготовки, кг.

6. Определить усилие вырубки и усилие прессы.

Усилие вырубки в кН

$$P = 0,8\sigma_{\text{в}} \cdot Z \cdot S, \quad (6.2)$$

где $\sigma_{\text{в}}$ – временное сопротивление при растяжении (МПа) – определить из ГОСТа на материал; Z – периметр, по которому произошло отделение детали от заготовки, мм; S – толщина материала, мм.

Усилие прессы

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot P \text{ (МПа)}. \quad (6.3)$$

7. Разработать технологический процесс холодной листовой штамповки заданной детали с пооперационными эскизами заготовки. Использовать в качестве примера заводской технологический процесс (табл. 6.5).

Таблица 6.3

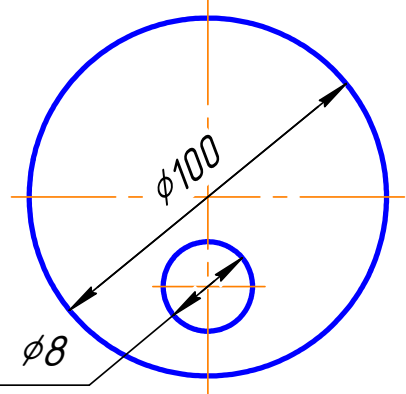
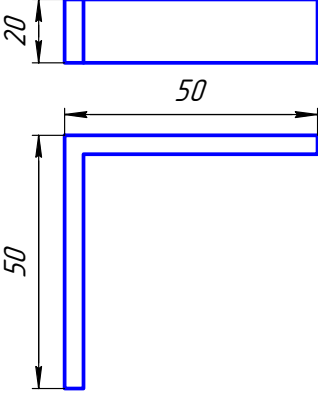
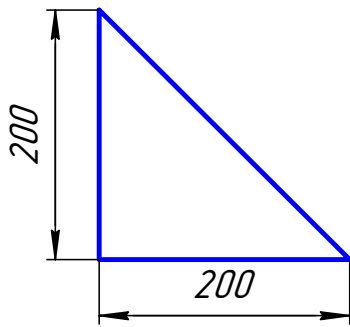
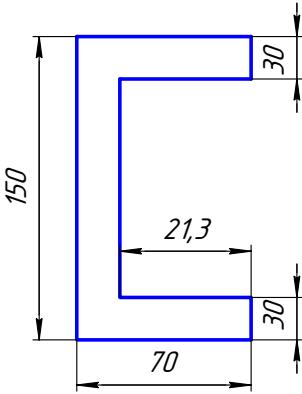
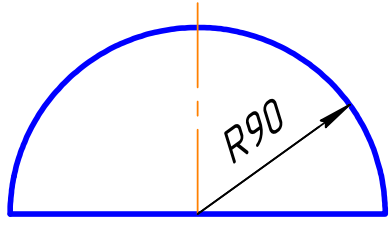
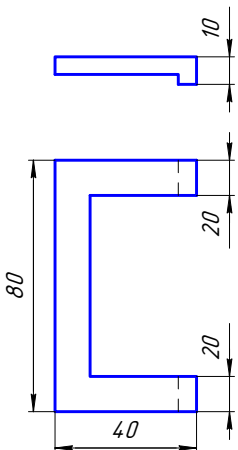
Определение величины перемычек (t , n – перемычки, мм)

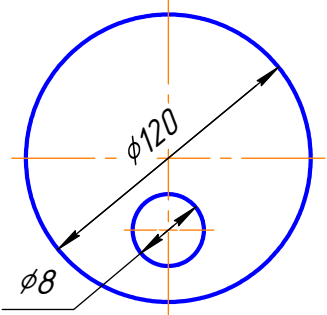
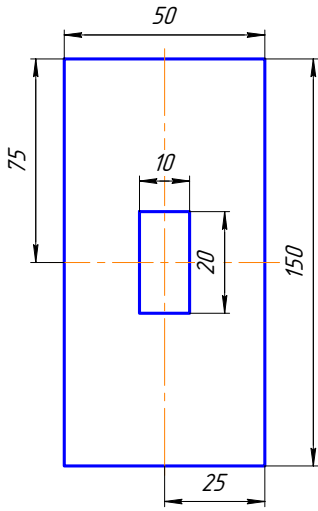
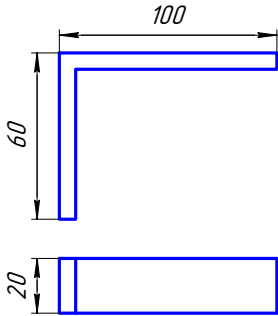
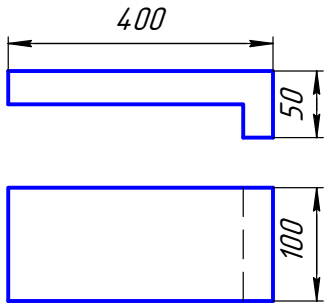
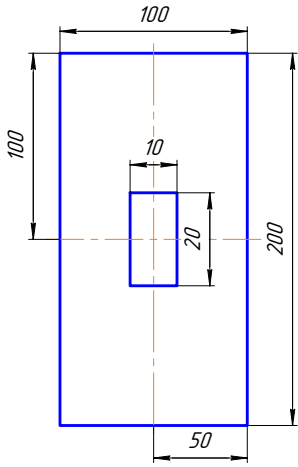
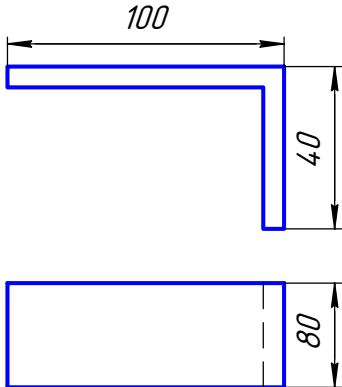
Толщина деталей, мм	При ручной подаче						При крючковой или валковой подаче	
	Для круглых деталей		Для прямоугольных и фасонных деталей					
			Штамповка обычная		Штамповка с поворотом полосы			
	<i>t</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>n</i>
До 1	1,5	1,5	2	1,5	3	2	3	2
Свыше 1 до 2	2	1,5	2,5	2	3,5	3	3	2
1...3	2,5	2	3	3	4	3,5	3	3
3...4	3	2,5	4	3	5	4	4	3
4...5	4	3	5	4	6	5	5	4
5...6	5	4	6	5	7	6	6	5
6...8	6	5	7	6	—	—	—	—
8...10	7	6	8	7	—	—	—	—

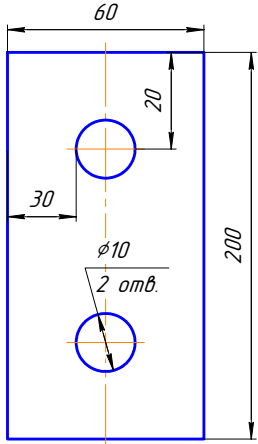
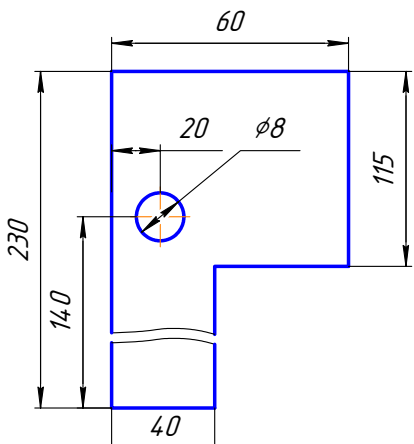
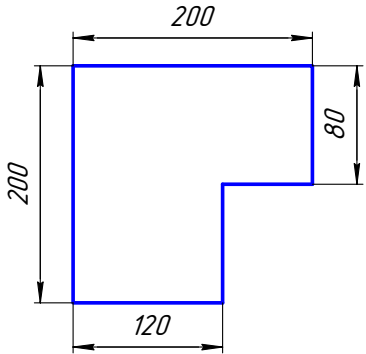
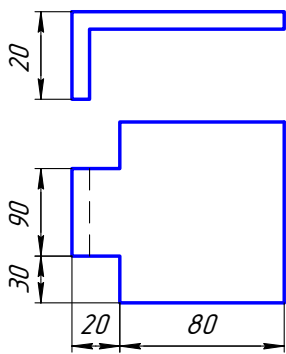
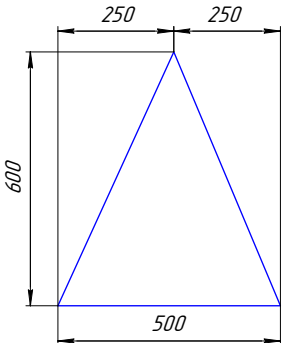
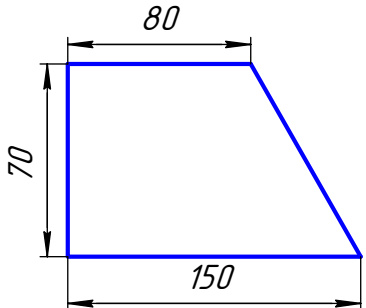
Таблица 6.4

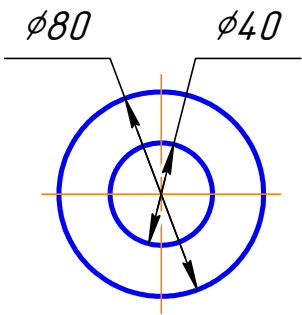
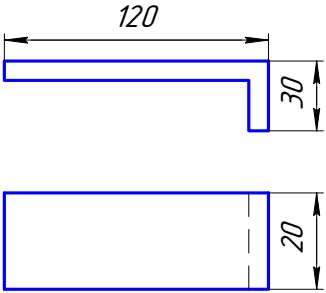
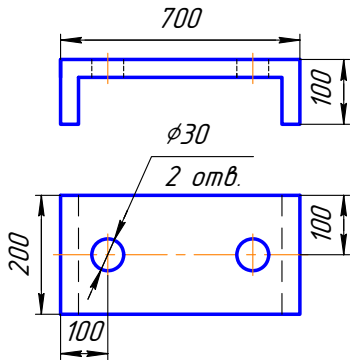
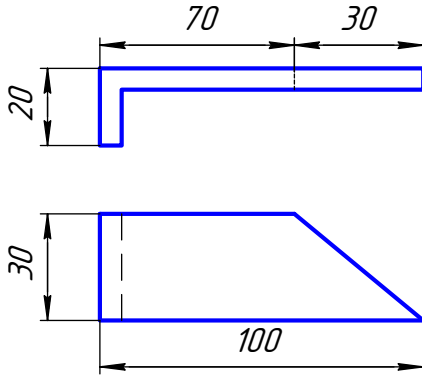
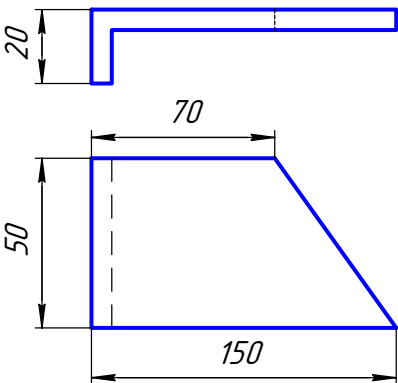
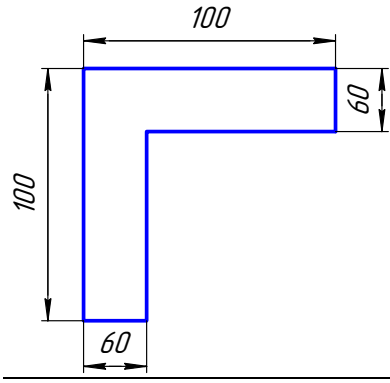
Варианты заданий

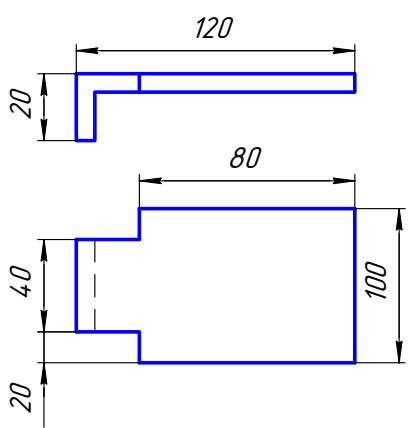
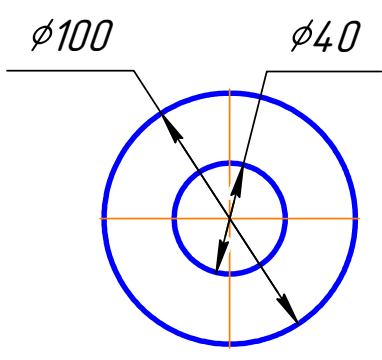
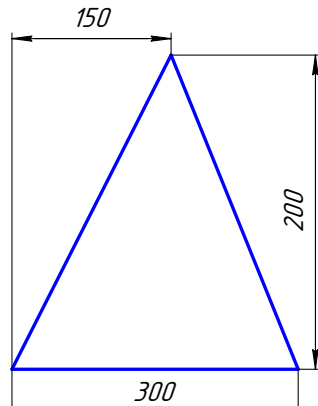
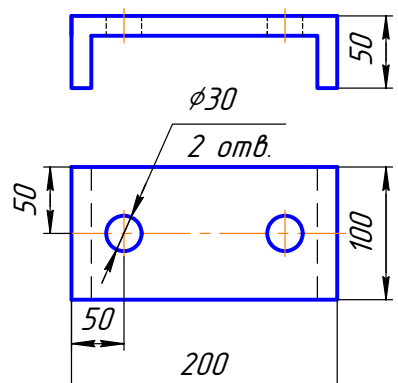
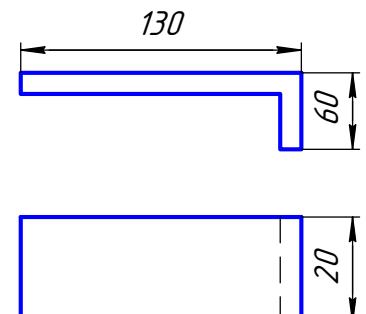
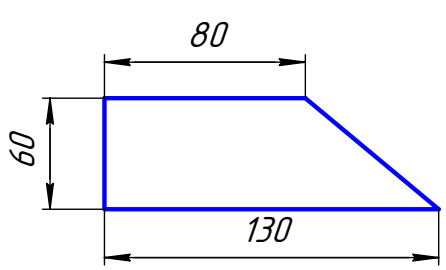
Вариант № 1 Материал – Сталь 20 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 2 мм	Вариант № 2 Материал – Сталь 30 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 5 мм
--	--

Вариант № 3  Материал – Сталь 20 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 1 мм	Вариант № 4  Материал – Сталь 08 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 3 мм
Вариант № 5  Материал – Сталь 20 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 3 мм	Вариант № 6  Материал – Сталь 20 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 5 мм
Вариант № 7  Материал – Сталь 10 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 2 мм	Вариант № 8  Материал – Сталь 08 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 3 мм

Вариант № 9  Материал – Сталь 20 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 1 мм	Вариант № 10  Материал – Ст3пс ГОСТ 380-71 Толщина листа 3 мм
Вариант № 11  Материал – Сталь 08 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 3 мм	Вариант № 12  Материал – Сталь 08 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 2 мм
Вариант № 13  Материал – Ст 3 пс ГОСТ 380-71 Толщина листа 3 мм	Вариант № 14  Материал – Сталь 08 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 2 мм

Вариант № 15  Материал – Сталь 30 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 2 мм	Вариант № 16  Материал – Сталь 30 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 3 мм
Вариант № 17  Материал – Сталь 20 кп ГОСТ 1050-88 Толщина листа 1 мм	Вариант № 18  Материал – Сталь 08 пс ГОСТ 1050-88 Толщина листа 1 мм
Вариант № 19  Материал – Ст 3 ГОСТ 380-71 Толщина листа 3 мм	Вариант № 20  Материал – Сталь 10 пс ГОСТ 1050-88 Толщина листа 2 мм

Вариант № 21  Материал – Сталь 30 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 1 мм	Вариант № 22  Материал – Сталь 10 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 2 мм
Вариант № 23  Материал – Сталь 20 пс ГОСТ 1050-88 Толщина листа 1 мм	Вариант № 24  Материал – Ст 3 кп ГОСТ 380-71 Толщина листа 1 мм
Вариант № 25  Материал – Ст 3 кп ГОСТ 380-71 Толщина листа 2 мм	Вариант № 26  Материал – Сталь 15 пс ГОСТ 1050-88 Толщина листа 1 мм

Вариант № 27  Материал – Сталь 08 кп ГОСТ 1050-88 Толщина листа 1 мм	Вариант № 28  Материал – Сталь 30 ГОСТ 1050-88 Толщина листа 1 мм
Вариант № 29  Материал – Ст 3 ГОСТ 380-71 Толщина листа 13 мм	Вариант № 30  Материал – Сталь 20 кп ГОСТ 1050-88 Толщина листа 1 мм
Вариант № 31  Материал – Сталь 08 кп ГОСТ 1050-88 Толщина листа 1 мм	Вариант № 32  Материал – Сталь 10 кп ГОСТ 1050-88 Толщина листа 2 мм

Рассмотрим на примере технологический процесс холодной листовой штамповки изготовления детали (рис. 6.1, табл. 6.5).

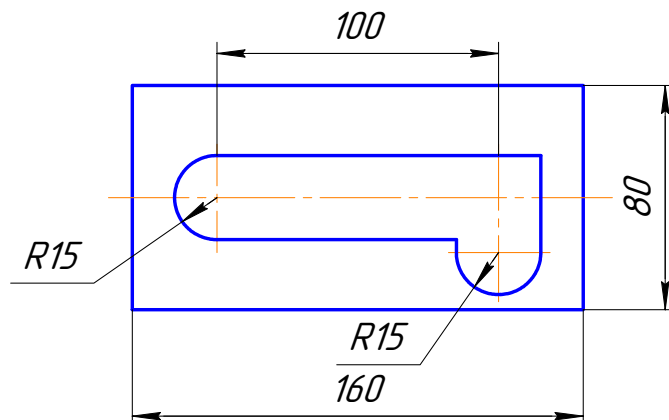


Рис. 6.1 Деталь

Материал – Ст 3 по ГОСТ 380-71

Толщина листа 3 мм

Таблица 6.5

Маршрутный технологический процесс

Вид производства	Операция	Оборудование
Мелкосерийное производство	1. Отрезать от листа полосу в размер 80 мм	Гильотинные ножницы
	2. Разрезать полосу на детали в размер 160 мм	Гильотинные ножницы, универсальный штамп.
	3. Пробить фигурный паз	Подача полосы ручная
	4. Зачистить детали	Упрощенный штамп
	5. Контроль	Наждак
Крупносерийное производство	1. Разрезка листа на полосы в размер 80 мм	Гильотинные ножницы
	2. Вырубка детали по контуру и пробивка фигурного паза	Совмещенный штамп. Подача полосы автоматическая
	3. Зачистить детали	Галтовочный барабан
	4. Контроль	

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА МЕЖДУ УГОЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Цель работы

1. Изучить строение и свойства мощного дугового разряда.
2. Исследовать влияние на дуговой разряд рода и полярности тока, магнитных полей и ферромагнитных масс.

Оборудование, приборы и материалы

1. Сварочный пост постоянного и переменного тока.
2. Штатив для укрепления угольного электрода.
3. Проекционная линза.
4. Полупрозрачный экран.
5. Стальной брус.
6. Угольные электроды.
7. Угольная пластина.

Краткая характеристика объекта исследования

Дуговая сварка плавлением основана на использовании тепла электрической дуги, которая представляет собой длительный электрический разряд в среде газа, выделяющий при этом значительное количество энергии. Сварочная дуга образуется между электродом и изделием или между двумя электродами, имеющими разность потенциалов.

В самостоятельном разряде, начиная с токов выше нескольких микроампер, наблюдается неравномерное распределение электрического поля в межэлектродном пространстве, состоящем из трех зон (рис. 7.1): катодной 1, анодной 2 и столба дуги 3. На электродах часто наблюдаются пятна – анодное *A* и катодное *K*.

Катодная зона начинается с раскаленного торца электрода, на котором расположено катодное пятно, отсюда вылетает поток свободных электронов. Плотность тока на катодном пятне достигает $60...70 \text{ А/мм}^2$, к катоду устремляются потоки положительных ионов, которые его бомбардируют и отдают свою энергию, нагревая до $2500...3000 \text{ }^\circ\text{C}$.

Анодная зона расположена у торца положительного электрода, на котором выделяется небольшой участок, называемый анодным пятном. К анодному пятну устремляются и отдают свою энергию потоки электронов, накаляя его до $2500...400 \text{ }^\circ\text{C}$.

Столб дуги расположен между катодной и анодной зонами. Состоит из раскаленных и ионизированных частиц, температура в этой зоне достигает $6000 \dots 7000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ в зависимости от плотности сварочного тока.

В газовом промежутке между двумя электродами заряженные частицы могут возникнуть во всех трех зонах, но главным образом они появляются в результате процессов эмиссии на катоде и объемной ионизации в столбе дуги.

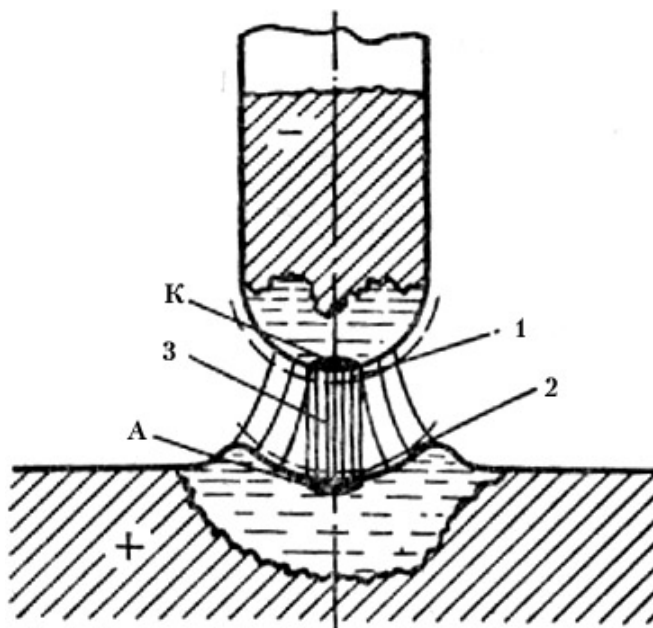


Рис. 7.1. Области дугового разряда: 1 – катодная; 2 – анодная; 3 – столб дуги

При питании дуги *постоянным током* наибольшее количество теплоты выделяется в зоне анода, т. к. анод подвергается более мощной бомбардировке заряженными частицами. Разная температура и количество теплоты, выделяющиеся в катодной и анодной зоне, используется при решении технологических задач. При сварке деталей, требующих большого подвода теплоты для нагрева кромок, применяют *прямую полярность*, т. е. «плюс» на детали, «минус» на электроде. При сварке тонкостенных деталей применяют сварку на *обратной полярности*: «минус» на детали, «плюс» на электроде.

Наиболее удобным объектом для изучения свойств сварочной дуги является электрическая дуга между угольными электродами. Отсутствие плавления материала электрода обеспечивает высокую термоэлектронную эмиссию на катоде, а также интенсивное испарение на аноде, что облегчает выявление строения дуги и ее формы. Высокая устойчивость угольной дуги и стабильность ее формы позволяет изучить ее поведение в условиях воздействия отдельных технологических возмущений.

Известно, что прохождение электрического тока по элементам сварочной цепи, в том числе по свариваемому изделию, создает собственное круговое магнитное поле, напряженность которого зависит от силы сварочного тока.

Столб сварочной дуги является гибким проводником электрического тока, который под воздействием магнитного поля может выталкиваться с мест, где магнитные силовые линии более сгущены, в направлении, где они менее сгущены.

В нормальных условиях магнитное поле тока оказывает равномерное симметричное воздействие на столб дуги и дуга не отклоняется. Однако зачастую результирующее магнитное поле вокруг дуги вызывает отклонение столба от нормального положения, что затрудняет процесс сварки. Такое явление называют магнитным дутьем.

На величину магнитного дутья большое влияние оказывает собственное магнитное поле тока, внешние магнитные поля, положение токоподвода, наличие ферромагнитных масс (рис. 7.2), конфигурация изделия, тип соединения и наличие в них зазоров.

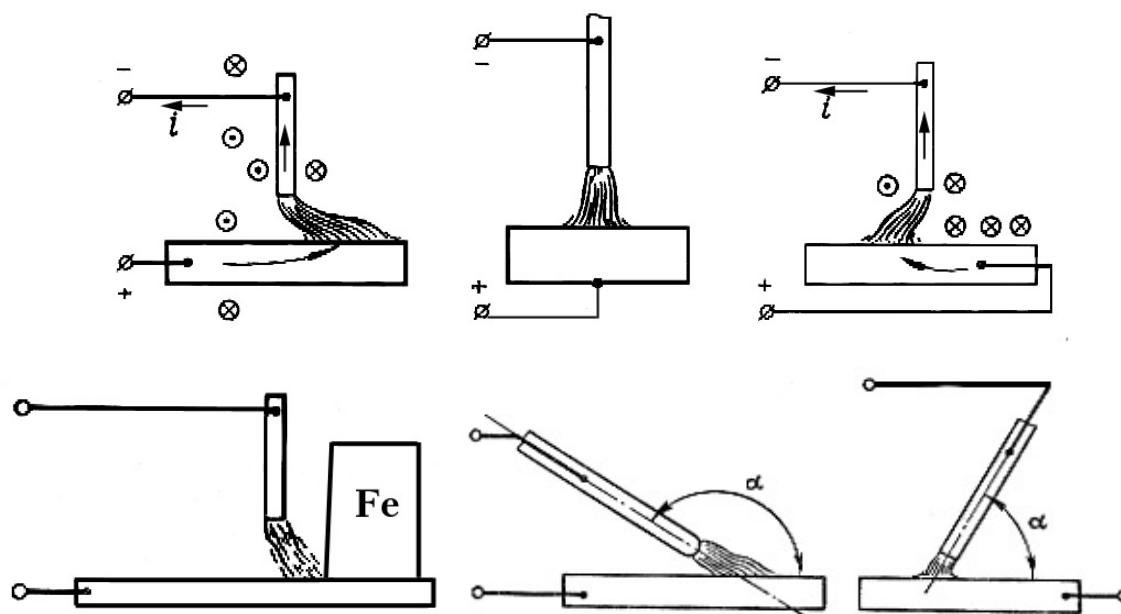


Рис. 7.2. Влияние места подвода тока, ферромагнитных масс и угла наклона электрода на отклонение дуги

Уменьшение магнитного дутья в основном достигается:

- 1) изменением места токоподвода;
- 2) размещением дополнительных ферромагнитных масс;
- 3) применением поперечного магнитного поля;
- 4) изменением наклона электрода;
- 5) применением дуги переменного тока.

Методика выполнения лабораторной работы

Опыт 1

Между угольным электродом и угольной пластиной с помощью вспомогательного электрода возбудить электрическую дугу. При помощи щита с линзой спроектировать полупрозрачный экран. Зарисовать дугу и определить максимальную длину до ее разрыва, а также диаметр катодного пятна. Длину дуги измерить, отмечая на экране расстояние между активными пятнами в момент обрыва дуги. Масштаб дуги определить по диаметру электрода.

Опыт провести:

- а) на постоянном токе прямой полярности;
- б) на постоянном токе обратной полярности;
- в) на переменном токе.

Результаты опыта свести в таблицу, проанализировать полученные данные.

Опыт 2

Определить влияние токоподвода на магнитное дутье. Для этого первоначально возбудить угольную дугу в середине стальной пластины, а затем по ее краям. При этом спроектировать дугу на полупрозрачный экран и зарисовать.

Опыт провести:

- а) на постоянном токе прямой полярности;
- б) на постоянном токе обратной полярности;
- в) на переменном токе.

Сделать вывод о влиянии рода и полярности тока на магнитное дутье.

Опыт 3

Изучить поведение дуги вблизи ферромагнитных масс. Для этого возбудить угольную дугу на расстоянии 10...15 мм от стального бруса. Уяснить сущность происходящего явления и зарисовать расположение дуги.

Опыт провести:

- а) на постоянном токе прямой полярности;
- б) на переменном токе.

Опыт 4

Изучить влияние постоянного магнитного поля на поведение сварочной дуги. Для этого возбудить дугу между угольным электродом и угольной пластиной.

Во время горения дуги поднести к ней подковообразный магнит. Изменить направление магнитного поля магнита поворотом его на 180°. Объяснить сущность происходящего явления.

Опыт провести на постоянном токе прямой полярности.

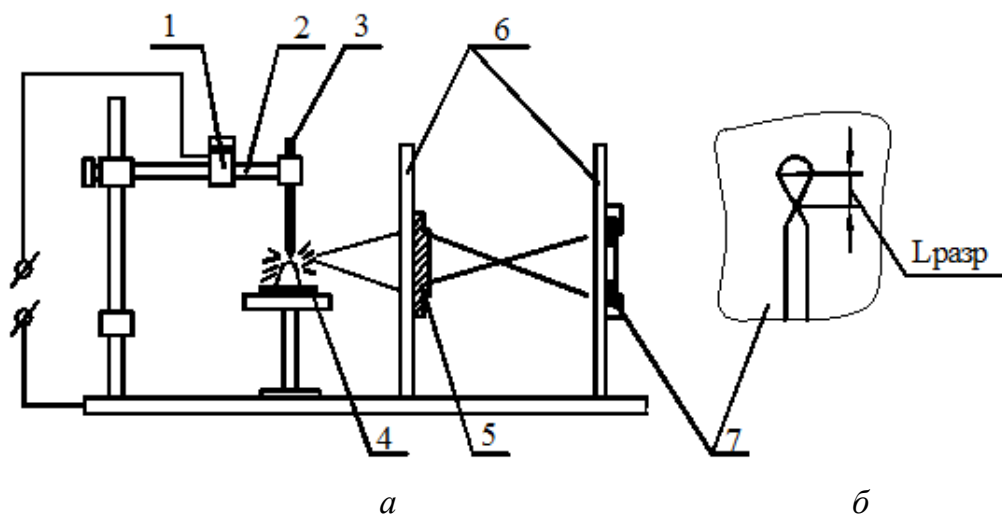


Рис. 7.3. Схема установки для проектирования сварочной дуги (а), схема измерения длины дуги (б): 1 – винт для растяжения дуги; 2 – кронштейн; 3 – угольный электрод; 4 – угольная пластина; 5 – линза; 6 – экраны; 7 – темное стекло

Опыт 5

Установить влияние полярности тока на насыщение основного металла углеродом. Для этого возбудить дугу постоянного тока прямой полярности между угольным электродом и зачищенной до блеска пластиной из низкоуглеродистой стали и проплавить ее небольшой участок.

Опыт повторить при обратной полярности. После охлаждения пластину зачистить на круге и измерить твердость по Роквеллу проплавленных участков и основного металла. Сопоставить твердость участков с твердостью основного металла.

Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов

1. На какие области делится дуговой разряд?
2. Какие процессы протекают в отдельных участках сварочной дуги?
3. Что такое магнитное дутье?
4. Какова особенность дугового разряда как проводника электрического тока?
5. Как влияет собственное магнитное поле на дуговой разряд?
6. Почему сварочная дуга притягивается к ферромагнитной массе?
7. Каким образом можно объяснить резкое возрастание твердости стали при проплавлении ее угольной дугой на токе обратной полярности?
8. Меры борьбы с магнитным дутьем?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

СТАТИЧЕСКАЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДУГИ С НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Цель работы

1. Изучить методику построения статической вольт-амперной характеристики дуги.

2. Получить опытные данные о зависимости напряжения дуги от тока дуги, необходимые для построения вольт-амперной характеристики дуги.

Оборудование, приборы и материалы

1. Сварочный пост с источником постоянного тока, оборудованный вольтметром и амперметром.

2. Штатив для крепления и перемещения электрода в вертикальном направлении.

3. Угольные электроды 8...12 мм.

4. Угольная пластина.

Краткая характеристика объекта исследования

Статическая вольт-амперная характеристика дуги – зависимость напряжения дуги от тока дуги, полученная при постоянной длине дуги и столь медленном изменении тока, что физико-химические процессы в дуговом пространстве, вызванные изменением тока, успевают стабилизироваться.

Для газового разряда сопротивление не является постоянным, так как количество заряженных частиц зависит от интенсивности ионизации и, в частности, от сварочного тока и его плотности, поэтому электрический ток в газах не подчиняется закону Ома и вольтамперная характеристика разряда для газов является обычно нелинейной.

В зависимости от плотности тока вольтамперная характеристика может становиться падающей, пологой (жесткой) и возрастающей.

В первой области при сварочном токе 100 А дуге с возрастанием тока возрастает число заряженных частиц в результате роста эмиссии с катода. Сопротивление столба дуги уменьшается, и падает напряжение дуги, необходимое для поддержания разряда. Вольтамперная характеристика дугового разряда называется падающей.

Во второй области напряжение дуги становится мало зависящим от тока, так как столб дуги сжимается электрическим полем и объемом газа,

участвующего в переносе, уменьшается. Это приводит к меньшей скорости роста числа заряженных частиц. Напряжение становится мало зависящим от тока. Вольтамперная характеристика является жесткой.

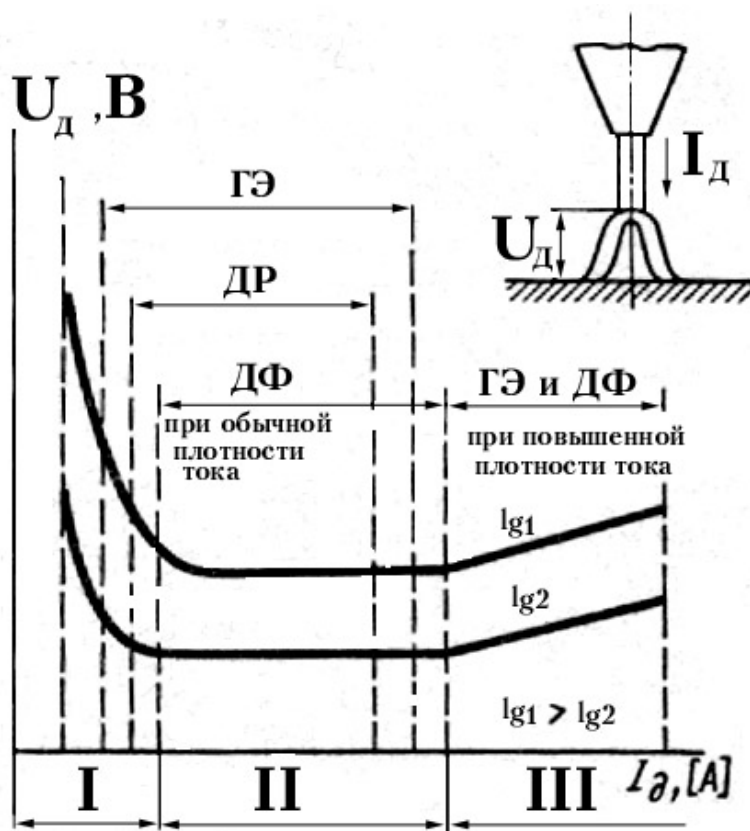


Рис. 8.1. Вольт-амперная характеристика дуги: ДР – ручная дуговая сварка; ГЭ – газоелектрическая сварка; ДФ – дуговая сварка под флюсом

В третьей области степень ионизации достигает почти 100 %, поэтому высоко ионизированная, сильно сжатая плазма подобна проводнику и дуга подчиняется закону Ома

$$U = I \cdot R, \quad (8.1)$$

где U – напряжение, В; I – сила сварочного тока, А; R – сопротивление, Ом.

Вольтамперная характеристика является возрастающей.

Совместное рассмотрение статической вольт-амперной характеристики дуги и внешней статической характеристики источника питания позволяет решить вопрос об устойчивости системы источник питания – дуга, а следовательно, и вопрос о стабильном горении дуги. Этот анализ показывает, что для устойчивости рассматриваемой системы необходимо, чтобы тангенс угла наклона статической вольт-амперной характеристики дуги в рабочей точке был больше тангенса угла наклона внешней статической характеристики источника питания в той же точке.

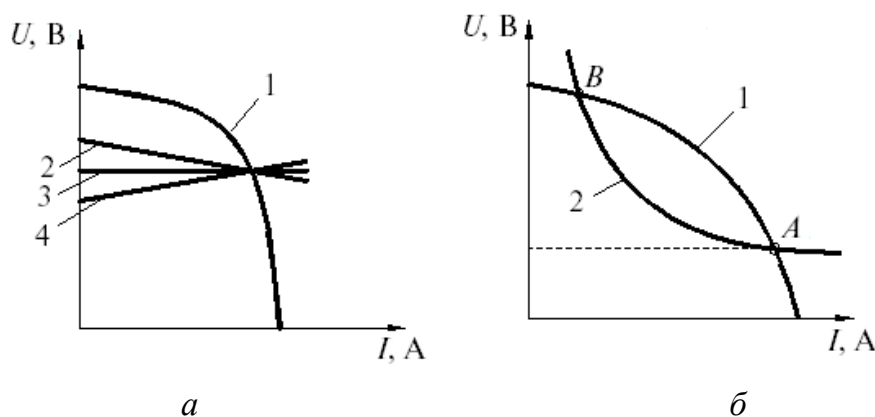


Рис. 8.2. Внешние статические вольт-амперные характеристики: а – источников питания (1 – падающая, 2 – пологопадающая, 3 – жесткая, 4 – возрастающая); б – источника питания 1 и сварочной дуги 2

Методика выполнения лабораторной работы

1. Закрепить электрод в штатив (рис. 8.3).

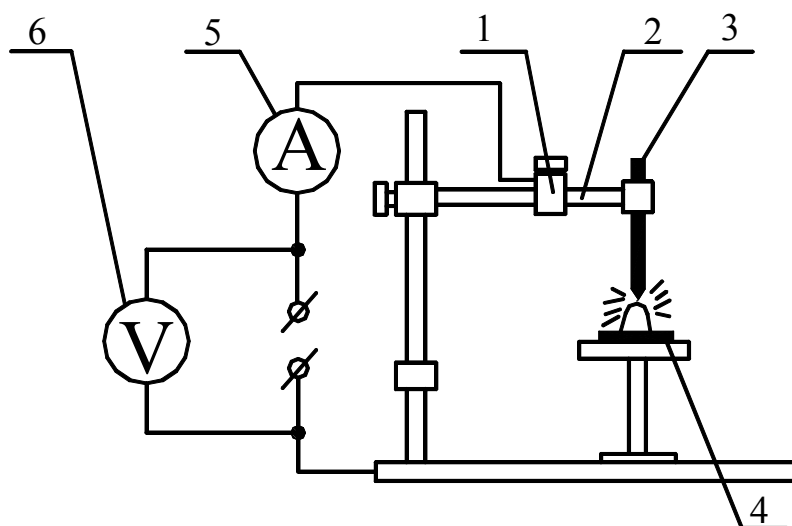


Рис. 8.3. Штатив для возбуждения дуги: 1 – стойка; 2 – кронштейн; 3 – угольный электрод; 4 – угольная пластина; 5 – амперметр; 6 – вольтметр

2. Установить между торцом электрода и угольной пластиной заданное расстояние (длину дуги).
3. Возбудить сварочную дугу и зафиксировать сварочный ток и напряжение, занести их в табл. 8.1.
4. По данным таблицы построить график зависимости $U_d(I_d)$.
5. Используя значение U_d для среднего значения I_d в диапазоне его изменения при опытах, определить напряженность электрического поля в столбе дуги E_c и падения напряжения $U_a + U_k$.

Полученные экспериментальные данные проанализировать, сделать выводы.

ВНИМАНИЕ! При выполнении данной работы возможно поражение электрическим током, а также тепловым и световым излучением сварочной дуги.

ФОРМЫ ТАБЛИЦ, РЕКОМЕНДУЕМЫХ ДЛЯ ЗАПИСИ ИЗМЕРЯЕМЫХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Таблица 8.1

Параметры дугового разряда	Номер замера								
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й
U_d									
I_d									

Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов

1. Что представляет собой статическая вольт-амперная характеристика дуги?
2. Объясните почему зависимость $U_d(I_d)$ имеет нелинейный характер?
3. На какие зоны можно разделить статическую вольт-амперную характеристику в зависимости от тока?
4. Объясните процессы, протекающие в дуговом разряде в каждой из этих зон?
5. В чем отличие статической вольт-амперной характеристики от динамической?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 МАКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ

Цель работы

Изучение основных типов макроструктур металлов и сплавов.

Задачи

1. Ознакомиться с коллекцией типичных макроструктур, зарисовать и описать их.
2. Исследовать макроструктуру сварного соединения по образцу, зарисовать и описать особенности структуры, дефекты и т. д.
3. Определить на образце стали ликвацию серы (изготовить макрошлиф, получить серный отпечаток, составить заключение о распределении серы по сечению шлифа).

Оборудование, приборы и материалы

1. Набор шлифов.
2. Набор образцов сварных соединений – стыковых.
3. Фотографии макроструктур.
4. Реактивы для травления образцов.
5. Фотобумага. Унибром ГОСТ 10752-79.
6. Лупа, увеличение в 7 раз.
7. Шлифовальная бумага.

Краткая характеристика объекта исследования

Макроскопический анализ заключается в определении строения материалов (макростроения) невооруженным глазом или через лупу при небольших увеличениях (до 30 раз).

Макроструктурой называют структуру или особенности строения металлов и сплавов, которые можно наблюдать невооруженным глазом при небольших увеличениях.

Макроанализ, в отличие от микроскопического анализа, не позволяет определить всех особенностей строения. Поэтому часто макроанализ является не окончательным, а лишь предварительным видом исследования. По данным макроанализа можно выбрать те участки изучаемой детали, которые надо подвергнуть дальнейшему микроскопическому исследованию.

Результаты макроскопического анализа можно в необходимых случаях зафиксировать, получив снимок макроструктуры исследуемого

места детали или заготовки. Для этой цели применяют специальные установки, позволяющие проводить фотосъемку объектов при увеличении от 0,5 до 30 раз.

Макростроение можно изучать не только непосредственно на поверхности заготовки (например, отливок, поковок), но и в изломе заготовки (детали), а также после предварительной подготовки исследуемой поверхности, заключающейся в ее шлифовании и травлении специальными реактивами.

Шлифованный и протравленный образец называют макрошлифом; если макрошлиф изготовлен в поперечном сечении детали, то его иногда называют *темплетом*.

1. Область применения

1.1. Определение химической неоднородности литого металла (ликвации) и грубых включений

На практике для оценки химической неоднородности распределения тех или иных вредных примесей и углерода используют метод отпечатков, который позволяет выявить ликвацию таких вредных примесей, как сера и фосфор, а также такого основного элемента стали, как углерод.

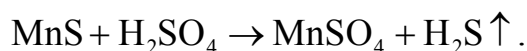
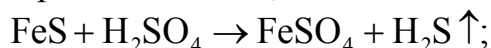
Метод серных отпечатков (метод Баумана)

Для определения ликвации серы используют так называемый метод отпечатков, который можно отнести к группе методов поверхностного травления.

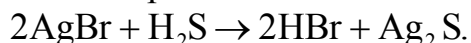
Поверхность подготовленного макрошлифа протирают ватой, смоченной спиртом, для удаления загрязнений. Лист фотографической бромсеребряной бумаги помещают на 5...10 мин в 5 %-ный раствор серной кислоты (H_2SO_4), после чего слегка просушивают между листами фильтровальной бумаги для удаления излишнего раствора. Влажную фотографическую бумагу накладывают на поверхность шлифа эмульсионной стороной. Чтобы достичь плотного соприкосновения со всей поверхностью шлифа и удалить пузырьки воздуха, оставшиеся между бумагой и шлифом, поверхность проглаживают резиновым валиком или рукой (в резиновой перчатке), не допуская смещения бумаги. Оставшиеся пузырьки воздуха оставляют на бумаге белые пятна и искажают результаты анализа. Фотобумагу выдерживают на макрошлифе 3...15 мин.

Сера находится в стали в виде соединений с марганцем (MnS) или железом (FeS). На тех участках поверхности металла, на которых

имеются скопления сернистых соединений (сульфидов), происходит реакция между ними и серной кислотой, оставшейся на фотобумаге:



Сероводород (H_2S), образующийся непосредственно против очагов своего выделения (скопления серы), воздействует на кристаллики бромистого серебра эмульсионного слоя фотобумаги, поэтому на этих участках происходит дальнейшая реакция:



Сернистое серебро (Ag_2S) имеет темный цвет, поэтому образующиеся на фотобумаге темные участки указывают форму и характер распределения включений сульфидов в исследуемой стали. Снятую с макрошлифа фотобумагу промывают струей воды, фиксируют 20...30 мин в растворе гипосульфита, после чего снова промывают (примерно 10 мин) в воде и просушивают.

Определение ликвации фосфора и углерода реактивом Гейна

Ликвация фосфора и углерода выявляется травлением реактивом Гейна ($\text{CuCl}_2 = 85 \text{ г}$, $\text{NH}_4\text{Cl} = 53 \text{ г}$; $\text{H}_2\text{O} = 1000 \text{ мл}$). Участки стали с различным содержанием этих элементов травятся неодинаково. В участках, обогащенных углеродом и фосфором, медь выделяется менее интенсивно и поэтому меньше защищает поверхность металла от травящего действия хлористых солей реактива. Эти участки, обогащенные углеродом и фосфором, окрашиваются в более темный цвет. Лучшие результаты получаются при макроанализе стали, содержащей до 0,6 % С. В стали с большим содержанием углерода остаток меди плохо смывается с макрошлифа. Этот реактив выявляет одновременно и ликвацию серы, поскольку характер распределения серы, фосфора и углерода почти одинаков.

1.2. Определение нарушения сплошности металла

К ним относятся усадочные рыхлоты, центральная пористость, свищи, подкорковые пузыри, межкристаллитные трещины и возникшие при обработке давлением и термической обработке флокены в стали, дефекты сварки (непровары, газовые пузыри и др.).

Для определения дефектов, нарушающих сплошность стали, применяют реактивы глубокого и поверхностного травления. Определение основано на том, что реактивы более сильно воздействуют на участки с более развитой и активной поверхностью, т. е. именно на те, где имеются дефекты. Поэтому после травления поверхность макрошлифа

в указанных участках протравливается более сильно и глубоко, и они четко выявляются на фоне более выступающих и светлых участков без подобных дефектов.

1.3. Определение дендритного строения в литом металле и волокнистой структуры деформированного металла

Величину, форму и химическую неоднородность металлических материалов позволяет характеризовать их макростроение, зависящее от способа изготовления деталей – литьем или обработкой давлением. В литой детали выявляется характерное дендритное строение, расположение зерен и дендритов литого металла, в композиционном материале – расположение волокон. В ковanej или катаной стали – волокнистое как результат более сильного вытравливания вытянутых вдоль направления течения металла ликвационных участков и неметаллических включений.

Для макроанализа слитков (отливок) и проката (поковок) используют реактивы глубокого травления. Сравнительно однородные участки стали с меньшим содержанием легирующих элементов, углерода и вредных примесей, например осевые зоны дендритов в литой стали или волокна в катаной стали, протравливаются меньше, чем межосные зоны дендритов или граничные зоны волокон. После травления первые оказываются более выступающими и светлыми. Ликвационные участки и неметаллические включения (оксиды, сульфиды, шлаки) вытравливаются более сильно и имеют более темный цвет.

1.4. Определение структурной и химической неоднородности металла, созданной термической, термомеханической или химикотермической обработкой

Макроанализом стали можно определить толщину закаленного слоя, обладающего более высокой твердостью по сравнению с мягкой сердцевиной. Макроанализ позволяет быстро определять толщину слоя с точностью, достаточной для производства. Для этой цели образец закаливают, а затем ломают. Закаленный слой имеет более мелкое зерно и после закалки без перегрева получает матовый излом.

Цементированный слой можно определить погружением на 1...2 мин в реактив состава 2 г $\text{CuCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и 1 мл HCl на 100 мл спирта. Мягкая нецементированная сердцевина покрывается красным налетом меди.

Для выявления макроструктуры стального сварного соединения макрошлиф травят в 15%-ном растворе персульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ в течение 5...8 с. После травления шлиф тщательно промывают для удаления с поверхности сажистого налета.

На макрошлифе при визуальном осмотре видны структура наплавленного металла шва, зона термического влияния (участки свариваемого металла, которые в процессе сварки подвергались тепловому воздействию, достаточному для изменения их структуры), а также заметны дефекты в виде пор, непроваров.

1.5. Макроанализ излома

Качество металлов характеризуется видом их излома. Методом макроанализа, в частности, при внешнем осмотре изломов различают разные сплавы. Например стали и белые чугуны, у которых весь углерод связан в цементит, имеют светлый излом, а серые, ковкие и высокопрочные чугуны – темный из-за присутствия графита.

По характеру разрушения различают два основных вида изломов – хрупкий и вязкий. Вязкий излом имеет обычно матовый волокнистый вид, тогда как хрупкий – кристаллический блестящий. Наиболее опасной для службы изделия является именно вероятность появления хрупкого излома как результата внезапного, быстро развивающегося разрушения, отличающегося существенно меньшей энергоемкостью по сравнению с вязким, происходящим относительно медленно.

Макроанализ шлифов

1. Подготовка макрошлифа

Подготовка макрошлифа заключается в следующем: поверхность детали или темплета зачищают на станке и шлифуют различными номерами шлифовальной бумаги. Шлифовка производится последовательно, начиная с более крупного абразивного зерна шлифовальной бумаги. При шлифовке макрошлиф каждый раз при переходе от одного номера шлифовальной бумаги к другому поворачивают на 90°. Шлифовку в одном направлении ведут до тех пор, пока не исчезнут риски от предыдущего номера шлифовальной бумаги.

2. Реактивы для травления макрошлифов

Для определения дефектов, нарушающих сплошность стали, применяют реактивы глубокого и поверхностного травления. Определение основано на том, что соответствующие реактивы более сильно воздействуют на участки с более развитой и активной поверхностью, т. е. именно на те, где имеются дефекты несплошности. Поэтому после травления поверхность макрошлифа в указанных участках протравливается более сильно и глубоко, и они четко выявляются на фоне более выступающих и светлых (т. е. менее сильно протравленных) участков без подобных дефектов.

Реактивы глубокого травления используют, главным образом, для макроанализа слитков (отливок) и проката (поковок).

Реактивы поверхностного травления хорошо выявляют сравнительно крупную пористость (например, в сварных заготовках) и другие дефекты несплошности, выходящие на поверхность, но они из-за меньшей агрессивности не могут заменить реактивы глубокого травления, применяемые для определения флокенов, а также трещин, рыхлости и пор, не выходящие непосредственно на поверхность металла. Состав реактивов приведен в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Реактивы и режимы травления макрошлифов

Сплавы	Состав реактива	Режим травления
Для глубокого травления стали		
Стали всех составов, кроме коррозионно-стойких и жаропрочных аустенитного и ферритного классов	Соляная кислота 100 мл; вода 100 мл; $t = 60 \dots 80^\circ \text{C}$; $\tau = 5 \dots 45$ мин; соляная кислота 100 мл, HNO_3 10 мл (или 100 мл), вода 100 мл; $t = 60 \dots 70^\circ \text{C}$; $\tau = 5 \dots 10$ мин.	Для получения светлой поверхности после травления шлифов их промывают водой, а затем 10...15%-ным раствором азотной кислоты и просушивают. Иногда с той же целью протирают поверхность ластиком (для стирания записей с бумаги)
Коррозионно-стойкие, жаропрочные и другие стали аустенитного класса	Соляная кислота 100 мл, HNO_3 100 мл; H_2O 100 мл, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 11...11,5 г, $t = 20^\circ \text{C}$; $\tau = 5 \dots 10$ мин. Соляная кислота 100 мл, H_2SO_4 7 мл, CuSO_4 (безводная) 20 г; $t = 20^\circ \text{C}$; $\tau = 15 \dots 25$ мин	Травление рекомендуется проводить протиркой ватой, смоченной в реактиве. Шлиф промывают водой и 5...10 % раствором $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
Для поверхностного травления		
Стали всех составов	Реактив Гейна: NH_4Cl 53 г; CuCl_2 85 г; H_2O 1000 мл; $t = 20^\circ \text{C}$; $\tau = 0,5 \dots 1$ мин. Реактив Обергоффера: соляная кислота 3 мл, $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,2 г, FeCl_2 3 г, SnCl_2 0,1 г, спирт этиловый 10 мл, вода 100 мл; $t = 20^\circ \text{C}$; $\tau = 2$ мин	Осевший при травлении вследствие обменной реакции слой меди, пористый на участках с дефектами, удаляют ватой под струей воды. Более сильно растравлены дефектные участки
	Реактив Стэда: соляная кислота 5 мл, $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 25 г; MgCl_2 20 г; $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 500 мл; $t = 20^\circ \text{C}$; $\tau = 1$ мин. Метод Баумана: бромсеребряная бумага, смоченная 2...5%-ным раствором H_2SO_4 ; $t = 20^\circ \text{C}$; $\tau = 3 \dots 14$ мин.	Если вытравливание недостаточно, то процесс травления повторяется несколько раз

Сплавы	Состав реактива	Режим травления
Сплавы меди	10...20 % $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$; $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$; $\tau = 1...5$ мин. 10%-ный водный раствор перекиси водорода в насыщенном водном растворе аммиака; $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$; $\tau = 1...3$ мин;. FeCl_3 10 г, соляная кислота 30 мл; вода 120 мл; $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 2...5$ мин	Для алюминия и медных сплавов после травления производится промывка в воде, погружение на 1...2 с в 50%-ный раствор HNO_3 , промывка в горячей воде и 10%-ном водном растворе NaOH
Алюминиевые сплавы	Соляная кислота 40 мл, HNO_3 40 мл; $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$; $\tau = 1...10$ мин. Плавиковая кислота 10 мл, вода 150 мл; $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$. Азотная кислота 4 мл, плавиковая кислота 4 мл, 10%-ный раствор Желтой кровяной соли 4 мл; перекись водорода (30%-ная) 2 мл, вода 1000 мл; $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$; $\tau = 1...10$ мин.	Для сплавов типа дуралюмина после травления необходимы промывка и сушка
Никелевые сплавы	FeCl_3 10 г, соляная кислота 30 мл, H_2O 120 мл, $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$.	

Методика проведения экспериментов и обработка результатов

Анализ целесообразно начинать с осмотра шлифа и травления его реактивом Гейна. Это позволяет судить о предшествующей обработке металла (литье, ковке, прокатке, сварке), о ликвации фосфора и углерода, о качестве и типе сварки и о нарушении сплошности.

Изображения, полученные в результате травления этим реактивом, следует зарисовать. Затем проводят макроанализ для определения ликвации серы методом фотоотпечатка. При перемене реактива снова подготавливают поверхность макрошлифа. Ее достаточно шлифовать шкуркой с мелким зерном, чтобы снять следы предыдущего травления.

Схема проведения опыта

1. Ознакомиться с коллекцией типичных макроструктур, зарисовать и описать их.
2. Исследовать макроструктуру сварного соединения по образцу, зарисовать и описать особенности структуры, дефекты, и т. д.

3. Определить на образце стали ликвацию серы (изготовить макрошлиф, получить серный отпечаток, составить заключение о распределении серы по сечению шлифа).

Требования графической интерпретации результатов проделанной лабораторной работы

Схематично зарисовать макроструктуру. Зарисовка изученных макроструктур всех шлифов производится карандашом в квадрате 40×40 мм. При зарисовке обращается внимание на характерные особенности структуры, выносными линиями обозначаются основные структурные составляющие.

Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов

1. Что такое макроструктура?
2. Какими способами изучают макроструктуру?
3. Для каких целей применяют анализ макроструктуры?
4. Как выявляют макроструктуру?
5. Как выявляют ликвацию серы при макроструктурном анализе?
6. Как оценивается макроструктура и качество сварного соединения?
7. Что такое ликвация? Виды ликвации?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ

Цель работы

Изучение основных типов микроструктур металлов и сплавов.

Задачи

1. Изготовить один микрошлиф к исследованию микроструктуры.
2. Ознакомиться с устройством и основными правилами работы микроскопа МЕТАМ-Р1.

Оборудование, приборы и материалы

1. Металлографический микроскоп. МЕТАМ-Р1.
2. Набор шлифов.
3. Фотография микроструктур.
4. Шлифовальная бумага.
5. Реактивы.

Краткая характеристика объекта исследования

Микроструктурный анализ заключается в исследовании структуры (строения) материалов при больших увеличениях с помощью микроскопа (от 50 до 2000 раз). Микроструктура показывает взаимное расположение фаз, их форму, размеры.

Этот метод широко используется для изучения строения металлов и для технического контроля их качества в промышленности. Это объясняется тем, что между структурой металла и многими его свойствами существует достаточно определенная, хотя и качественная связь. Микроанализ позволяет во многих случаях объяснить причины изменения свойств сплавов в зависимости от изменения химического состава и условий обработки.

Методы оптической микроскопии:

- определение фазового состава и структуры сплавов в условиях равновесия;
- определение неравновесных структур;
- определение характера обработки металла;
- количественная металлография – определение величины зерна.

1. Определение фазового состава и структуры сплавов в условиях равновесия

Под структурой понимают форму, размеры и характер взаимного расположения фаз в сплаве. Чистые металлы, как правило, не отвечают необходимым требованиям, предъявляемым к материалам для деталей современных машин. Поэтому наибольшее применение в технике получили не чистые металлы, а их сплавы. Сплавы являются сложными атомарными структурами (композициями) из двух или более элементов. Они состоят из чистых металлов, однако могут содержать и неметаллические элементы; при этом сохраняются свойства, присущие металлам. В этих сплавах с помощью микроанализа можно установить ориентировку кристаллов, т. е. текстуру, можно выявить дислокации (линейные дефекты кристалла), размеры субзерен и степень их разориентации. В каждом сплаве различают компоненты и фазы. **Компоненты** в данном случае – это элементы сплава. **Фаза** – это однородная часть системы, имеющая одинаковый состав, кристаллическое строение, свойства и отделенная от других частей системы поверхностью раздела.

Совокупность находящихся в состоянии равновесия фаз определяет **систему** сплава. В зависимости от количества фаз системы сплавов могут быть **однофазными**, **двухфазными** и т. д.

После затвердевания сплава образуются зерна различной огранки, но с идентичным строением, составом и свойствами.

Строение сплава определяется взаимодействием составляющих его компонентов. Так, компоненты сплава могут химически взаимодействовать, образуя структуру **химического соединения**, или взаимно диффундировать, образуя **твердые растворы**. Однако в твердом состоянии компоненты сплава могут не взаимодействовать химически и взаимно не диффундировать, образуя **механическую смесь** прочно сцепленных зерен различных компонентов, составляющих сплав.

2. Свойства компонентов

Чистое железо – серебристо-светлый металл, атомный номер 26, атомарный вес 55, 85. Для технически чистого железа температура плавления равна 1539 °С, плотность 7,85 г/см³. Железо обладает невысокой твердостью и прочностью ($HB\ 80$; $\sigma_b = 250\ \text{МПа}$; $\sigma_{0,2} = 120\ \text{МПа}$) и хорошей пластичностью ($\psi = 80\ \%$; $\delta = 50\ \%$). При нагреве железо испытывает превращения: до 911 °С железо имеет объемно-центрированную кубическую (ОЦК) кристаллическую решетку и его обозначают Fe_α (альфа-железо). Свыше 911 °С происходит превращение ОЦК решетки

в гранецентрированную кубическую (ГЦК) и железо обозначают Fe_γ (гамма-железо).

Углерод в природе встречается в виде двух модификаций: в форме алмаза, имеющего сложную кристаллическую решетку, в форме графита, имеющее простую гексагональную решетку.

3. Свойства и строение фаз в системе железо–углерод

Аустенит – твердый раствор углерода в Fe_γ . Аустенит парамагнитен, пластичен, имеет низкие значения временного сопротивления и твердости (HV 170...220). Элементы, растворяющиеся в аустените, могут значительно изменять его свойства, а также температурные границы его существования.

Цементит – химическое соединение железа с углеродом Fe_3C (карбид железа), образующийся при содержании углерода 6,67 %. Цементит имеет очень высокую твердость и хрупкость.

Феррит – твердый раствор углерода в Fe_α максимальная растворимость углерода в феррите около 0,006 % при 20 °С и 0,025 % при 727 °С. Твердость и механические свойства феррита близки к свойствам технически чистого железа. Феррит имеет зернистое строение, но в структуре литой или перегретой среднеуглеродистой стали наблюдаются пластинчатые выделения феррита в перлите. Такая структура называется видманштеттовой.

Перлит – механическая смесь двух фаз, феррита и цементита. Перлит образуется при медленном охлаждении из аустенита при $T = 727$ °С и содержит 0,8 % углерода. В зависимости от формы частиц цементита, перлит может быть пластинчатым или зернистым.

Ледебурит – механическая смесь аустенита с цементитом. Имеет высокую твердость и очень хрупок.

Мартенсит – пересыщенный твердый раствор углерода в Fe_α . Мартенсит имеет высокую твердость (HRC 65), хрупкость с высокими внутренними напряжениями, т. к. очень искажена решетка.

Таблица 10.1

Механические свойства структурных составляющих

Структурные составляющие	Твердость HV	Предел прочности, МПа	Относительное сужение %	Относительное удлинение %
Феррит	80...90	190...250	60...75	40...50
Цементит	800	До 30	–	–
Перлит пластинчатый	250	860...900	10...15	9...12
Перлит зернистый	180	650...700	18...25	18...25

4. Определение неравновесных структур

Изучение структур в закаленном состоянии (образование мартенсита) и превращения при отпуске.

5. Определение характера обработки металла

Микроанализ позволяет определить, находится ли сплав в литом состоянии или он подвергался обработке давлением и какое влияние оказала пластическая деформация на его структуру.

По микроструктуре видно дендритное строение твердого раствора (однофазная латунь) в литом состоянии и полиэдрическое после дальнейшей обработки давлением. В катанной углеродистой стали отчетливо видно распределение неметаллических включений, вытянутых вдоль направления прокатки.

Микроанализ позволяет отчетливо определить, подвергался ли сплав холодной деформации и находится ли он в наклепанном (упрочненном) состоянии или он был подвергнут последующему отжигу (рекристаллизации) для снятия наклепа. При этом отчетливо видно изменение формы и размера зерна.

Микроанализом можно установить состояние, в котором находится сплав и во многих случаях определить, какой термической обработке он подвергался. Для этого сравнивают наблюдаемую структуру с той, которой должен обладать сплав согласно диаграмме состояния, или подвергают сплав дополнительной термической обработке, переводящей его в состояние равновесия (т. е. отжигу) и сравнивают полученную структуру с исходной.

Микроанализ позволяет определить глубину слоя, подвергаемого химико-термической обработке.

6. Устройство металлографического микроскопа МЕТАМ-Р1

Металлографический микроскоп – это прибор для наблюдения микроструктуры непрозрачных объектов в отраженном свете.

Основными характеристиками микроскопа являются: увеличения микроскопа и разрешающая способность микроскопа. Увеличение микроскопа метам – р1 от 50 до 507 раз. Увеличение изображения объекта в микроскопе происходит в две стадии: первое увеличение дает объектив, второе – окуляр.

Характеристика увеличений объективов и окуляров, входящих в комплект микроскопа МЕТАМ-Р1, приведена в табл. 10.2.

Оптическая схема микроскопа МЕТАМ-Р1 представлена на рис. 10.1. При наблюдении в светлом поле лучи от источника света / проходят

через коллектор 2, теплофильтр 3, осветительную линзу 4, диафрагму 5, отражаются от плоскопараллельной полупрозрачной пластины 6 и направляются через объектив 7 на объект 8.

Таблица 10.2

Увеличение окуляров и объективов микроскопа МЕТАМ-Р1

Объективы	Окуляры			
	6,3 ^{-x}	10 ^{-x}	12,5 ^{-x}	16 ^{-x}
	Увеличение	Увеличение	Увеличение	Увеличение
$F = 25, a = 0,25$	50	80	100	128
$F = 16, a = 0,30$	80	125	156	200
$F = 6,3, a = 0,60$	200	317	400	507

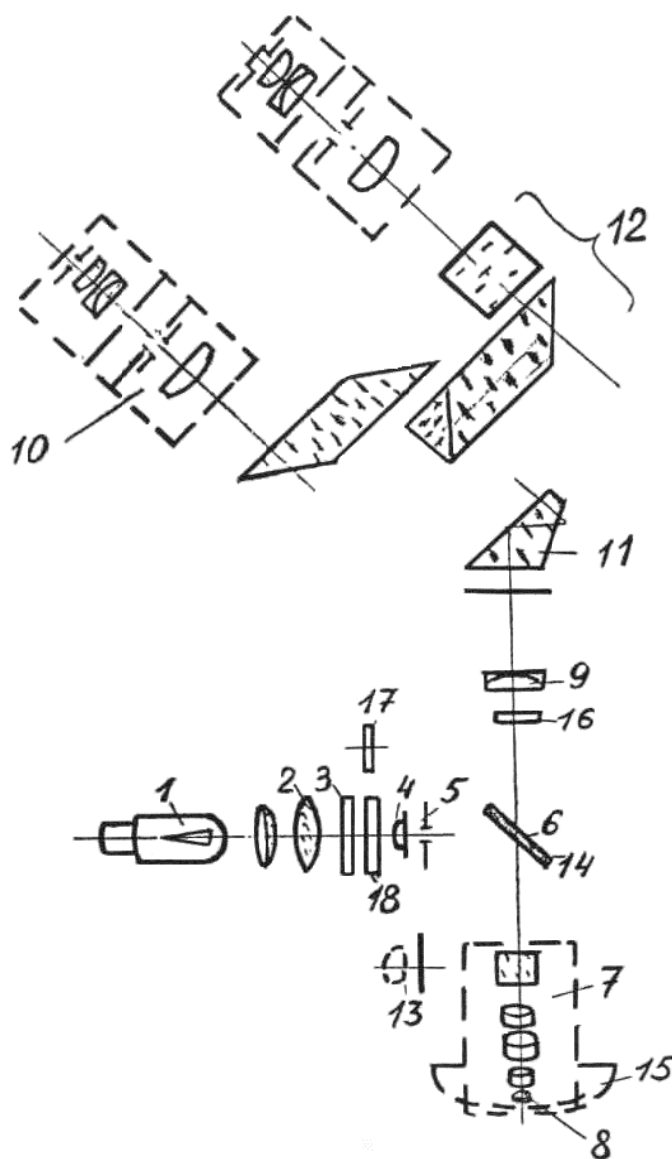


Рис. 10.1. Оптическая схема микроскопа МЕТАМ-Р1

Лучи, отраженные от поверхности объекта, снова проходят через объектив, который совместно с линзой 9 проецирует изображение объекта в фокальную плоскость окуляров 10. С помощью призмы 11 изменяется направление оптической оси микроскопа. Призмный блок 12 бинокулярной насадки разделяет пучок лучей и обеспечивает возможность бинокулярного наблюдения объекта.

При наблюдении в темном поле из хода лучей выключаются пластины 6, линза 4 и диафрагма 5 и вводится диафрагма 13, центральная зона которой экранирована.

Свет, пройдя через кольцевую диафрагму 13, отражается от кольцевого зеркала 14 и попадает на параболический конденсатор 15, который собирает пучок лучей на объекте.

Лучи, диффузно отраженные от неровностей объекта, попадают в объектив. В поле зрения микроскопа неровности объекта изображаются светлыми на общем темном фоне.

При наблюдении в поляризованном свете в ход лучей вводятся анализатор 16, поляризатор 17 и полупрозрачная пластина 6.

Светофильтр 18 повышает контрастность исследуемого объекта.

7. Исследование микроструктуры

Исследование структуры с помощью металлографического микроскопа проводят на микрошлифе.

Микрошлифом называют небольшой образец металла, имеющий специально подготовленную поверхность. Наиболее удобными являются образцы размером 12×10 мм, 10×10 мм, $\varnothing = 10...12$ мм и т. д. Образцы небольшого сечения – проволока, листы и др. – заливаются в специальные оправки, легкоплавкие сплавы, смолы, пластмассы либо монтируются в зажимах.

Плоскую поверхность шлифуют на разных номерах шлифовальной бумаги с зернами различных размеров (номеров). Начинают шлифование на шкурке с более крупным зерном, постепенно переходят к более мелким зернам. На каждом номере бумаги образец шлифуют до полного исчезновения рисок, оставленных предыдущим номером шкурки на поверхности,

При переходе с одного номера на другой шлиф поворачивают на 90° . Можно шлифовать специальными пастами. После окончания шлифования на шкурке самой мелкой зернистости для удаления мелких рисок поверхность шлифа подвергают полированию на полировальном станке, полировальный круг которого обтянут сукном или фетром.

Полировальный круг вращается со скоростью 700...800 об/мин. Сукно смачивают суспензией (взвесь окиси алюминия, хрома в воде). Полирование производится до получения зеркальной поверхности шлифов.

После полирования образец промывают водой, полированную поверхность смачивают ваткой со спиртом и просушивают.

Для выявления микроструктуры подготовленный микрошлиф подвергают травлению методом избирательного растворения фаз. Для травления микрошлифов применяют различные реактивы. Чаще всего это слабые спиртовые или водные растворы кислот или щелочей, а также смеси кислот. Микроструктуру можно выявить также методом электролитического, термического травления, слабого окисления и т. д. Любой металл или сплав – это поликристаллический материал, т. е. он состоит из большого числа разориентированных кристаллов или зерен. На границах даже самого чистого металла всегда располагаются примеси. Кроме того, границы имеют гораздо больше дефектов кристаллического строения, чем тело зерна. Атомы металла на границах и внутри зерна имеют разный уровень свободной энергии. В электрохимической паре (граница зерна – поверхность зерна) электродный потенциал границы имеет более отрицательное значение, чем поверхности зерна. Под действием травителя структурные составляющие, которые имеют более низкий потенциал, а также границы зерна, растворяются быстрее, чем структурные составляющие с более высоким потенциалом.

Смеси кристаллов разных фаз (эвтектики, эвтектоиды) травятся быстрее, чем однофазные металлы, т. к. у них образуется больше электрохимических пар.

В результате неодинаковой травимости фаз на поверхности образуется микрорельеф. При рассмотрении рельефной поверхности микрошлифа под микроскопом будет создаваться сочетание света и тени. Различные структурные составляющие, которые травятся по-разному, неодинаково отражают свет. Структура, травящаяся сильнее, кажется под микроскопом более темной, так как имеет неровности поверхности и больше рассеивает свет. Границы зерен после травления выглядят тонкими линиями из-за рассеивания отраженного света в углублениях границы между зернами. Часто зерна одного и того же металла травятся по-разному, что объясняется тем, что в плоскости зерна находятся зерна с разной кристаллографической ориентировкой, а, следовательно, их химическая активность (травимость) разная.

Составы реактивов для травления микрошлифов приведены в табл. 10.3.

Таблица 10.3

Реактивы для микроисследования структуры сплавов

Наименование реактива	Состав реактива	Назначение и особенности применения
I. Реактивы для травления железа и его сплавов		
1. Для травления углеродистых, низколегированных сталей и чугуна		
1. Спиртовой раствор азотной кислоты (реактив Ржешотарского)	Азотная кислота 1...5 мл, этиловый или метиловый спирт 100 мл	Реактивы окрашивают перлит в темный цвет, выявляют границы зерен феррита, структуру мартенсита и продуктов отпуска
2. Спиртовой раствор пикриновой кислоты (реактив Ижевского)	Пикриновая кислота (кристаллическая) 3...5 мл, этиловый или метиловый спирт 100 мл	Применяется также для выявления структуры азотированной и цементованной стали С увеличением количества азотной кислоты в реактиве Ржешотарского возрастает скорость травления
3. Раствор азотной, пикриновой кислот	Азотная кислота 2...4 мл, пикриновая кислота 22 г, этиловый спирт 100 мл	Продолжительность травления от нескольких секунд до нескольких минут Для выявления границ зерен в закаленной стали
4. Раствор азотной и соляной кислот	Азотная кислота 25 мл, соляная кислота 50 мл, двухромово-кислый калий 12 г, вода 25 мл	Для выявления величины зерен в закаленной стали. Травление в реактиве, выдержанном 24...48 ч; время травления 1...2 с
2. Для травления высоколегированных сталей и никелевых сплавов		
5. Раствор азотной и соляной кислот в глицерине	Азотная кислота 10 мл, соляная кислота 20...30 мл, глицерин 30 мл	Для выявления структуры высокохромистой, быстрорежущей и аустенитной марганцовистой стали в закаленном состоянии рекомендуется производить попеременное травление и полирование
6. Царская водка	Соляная кислота 3 ч, азотная кислота 1 ч	Для выявления структуры нержавеющих сталей и сплавов. Перед употреблением реактив надо выдержать 20...30 ч

Наименование реактива	Состав реактива	Назначение и особенности применения
7. Солянокислый раствор хлорного железа	Хлорное железо 5 г, соляная кислота 50 мл, вода 100 мл	Для исследования структуры высоконикелевой нержавеющей аустенитной стали
8. Раствор хромовой и соляной кислот	Соляная кислота 50 мл, хромовая кислота (10%-я) 50 мл	Для выявления структуры термически обработанной аустенитной стали
9. Солянокислый раствор медного купороса (реактив Марбе)	Сернокислая медь 10 г, соляная кислота 50 мл, вода (или этиловый спирт) 50 мл	Для выявления структуры сложнолегированной аустенитной стали
10. Раствор хромпика в соляной и азотной кислотах	Соляная кислота 45 мл, азотная кислота 5 мл, двуххромово-кислый калий 12 г	Для выявления структуры сплавов типа нимоник
3. Для выявления карбидов, фосфидов, вольфрамовидов		
11. Щелочной раствор пикрата натрия	Пикриновая кислота 2 г, едкий натр 25 г, вода 100 мл	Для выявления цементита, который окрашивается в темный цвет; карбиды хрома и вольфрама не окрашиваются. Реактив применяется в кипящем состоянии
12. Щелочной раствор красной кровяной соли (реактив Муроками)	Красная кровяная соль 10 г, едкий калий 10 г, вода 100 мл	Применяется в горячем состоянии для выявления хромистых карбидов, вольфрамовидов в быстрорежущей и других сталях. Этот же реактив выявляет фосфиды, в фосфидной эвтектике, фосфид окрашивается в темный цвет
4. Для выявления линий напряжений		
13. Солянокислый раствор хлорной меди	Соляная кислота 40 мл, хлорная медь 5 г, вода 30 мл, этиловый спирт 25 мл	Для выявления напряжений и дисперсионного твердения стали. Реактив применяется на холоду. Время травления до 10 с

II. Реактивы для травления меди и медных сплавов		
14. Солянокислый раствор хлорного железа	Хлорное железо 10 г, соляная кислота 25 мл, вода 100 мл или хлорное железо 5 г, соляная кислота (плотность 1,19) 10 мл, вода 100 мл.	Для выявления структуры меди, латуни оловянной и алюминиевой бронзы, сплавов висмут-сурьма и др. В латунях β -фаза окрашивается в темный цвет. Применяют также для выявления макростроения
15. Аммиачный раствор двойной соли хлорной меди и хлористого аммония	Двойная соль 10 г, вода 100 мл, аммиак для получения нейтральной или щелочной реакции	Для выявления структуры меди и ее сплавов и, в частности, двухфазных латуней (β -фаза окрашивается в темный цвет)
16. Раствор персульфата (надсернокислого) аммония	Персульфат аммония 10 г, вода 90 мл	Для выявления структуры меди, латуни, оловянной бронзы, монель-металла
III. Реактивы для травления алюминиевых сплавов		
17. Плавиковая кислота	Плавиковая кислота (48 %) 0,5 мл, вода 99,5 мл	Для выявления структуры дуралюминов и литых сплавов на алюминиевой основе
18. Едкий натр	Едкий натр 1...10 г, вода 99...90 мл	
19. Раствор кислот	Плавиковая кислота концентрированная 1,0 мл, соляная кислота 1,5 мл, азотная кислота 2,5 мл, вода 95,0 мл	Для выявления микроструктуры в сплавах типа дуралюмин

Методика проведения экспериментов и обработка результатов

В ходе проведения лабораторных работ студентам необходимо выполнить следующее.

1. Самостоятельно осуществить предварительную подготовку отчета с необходимыми формами таблиц и графиков.
2. Изучить характеристику объекта исследования, способы его исследования, используя методические указания, конспект лекций и предлагаемую литературу.
3. Пройти инструктаж по технике безопасности проведения лабораторной работы.
4. Получить допуск к выполнению лабораторной работы.
5. Составить список оборудования и приборов с краткими техническими характеристиками.
6. Ознакомиться с устройством и основными правилами работы микроскопа МЕТАМ-Р1.
7. Изготовить один микрошлиф и с помощью микроскопа исследовать микроструктуру.
8. Зарисовать и описать особенности микроструктуры. Определить класс сплава, используя каталоги с фотографиями микроструктур.

Схема проведения опыта

1. В соответствии с выбранным увеличением по данным табл. 10.2 установить объектив и окуляр.
2. Включить трансформатор и настроить его на требуемую силу света.
3. При помощи винтов предметного столика микроскопа установить отверстие вкладыша предметного столика точно против линзы объектива.
4. Установить микрошлиф на предметный столик полированной поверхностью вверх.
5. Опустить механизм грубой настройки и произвести настройку на фокус.
6. Произвести тонкую наводку на фокус с помощью микрометрического винта.
7. Исследовать, зарисовать и описать типичные микроструктуры.
8. Для проведения этой части работы используется коллекция микрошлифов. Последовательно просмотреть на микроскопе всю коллекцию шлифов.
9. Описать особенности изученных микроструктур.

Требования графической интерпретации результатов проделанной лабораторной работы

Схематично зарисовать. Зарисовка изученных микроструктур всех шлифов производится карандашом в квадрате 40×40 мм. При зарисовке обращается внимание на характерные особенности структуры, выносными линиями обозначаются основные структурные составляющие.

Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов

1. Что такое микроструктура металла?
2. Расскажите принцип работы металлографического микроскопа.
3. От чего зависит увеличение микроскопа?
4. Что такое разрешающая способность микроскопа?
5. Основные узлы металлографического микроскопа.
6. Как изготовить микрошлиф?
7. Что такое микрошлиф?
8. Для чего проводится травление микрошлифа?
9. Как формируется изображение на металлографическом микроскопе?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

СТРУКТУРА, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ЧУГУНОВ

Цель работы

Изучить основные разновидности чугунов, их обозначение, свойства и области применения.

Задачи

1. Изучить микроструктуры белых, серых, ковких, высокопрочных чугунов по фотографиям микрошлифов.
2. Изучить под микроскопом шлифы нетравленных образцов, зарисовать их, по форме графитных включений определить, какие это чугуны.
3. Изучить под микроскопом микроструктуры чугунов, определить, какие это чугуны (белый, серый, ковкий, высокопрочный).
4. Зарисовать схемы микроструктур, обратив внимание на форму и расположение графитных включений.
5. Пользуясь приложениями Б, В, Г (ГОСТ 1215-79, ГОСТ 7293-85, ГОСТ 1412-85), расшифровать несколько марок чугуна (по указанию преподавателя).

Оборудование, приборы и материалы

1. Металлографический микроскоп. МЕТАМ-Р1.
2. Набор шлифов.
3. Фотография микроструктур.
4. Шлифовальная бумага.
5. Реактивы.

Краткая характеристика объекта исследования

Сплавы железа с углеродом, содержащие более 2,14 % углерода, называются **чугунами**. Кроме углерода, обязательно присутствуют примеси: кремний, марганец, сера, фосфор. В отличие от сталей чугуны имеют более высокое содержание углерода, лучшие литейные свойства и худшие пластические свойства. Углерод определяет структуру и свойства чугуна. С повышением содержания углерода ухудшаются механические свойства серого чугуна, что объясняется увеличением количества включений графита, ослабляющих металлическую основу чугуна. Вместе с тем углерод повышает литейные свойства чугуна, позволяя получать качественное тонкостенное литье.

1. Виды чугунов

В зависимости от формы выделения углерода в чугуне различают разные его виды.

Белый чугун назван так по виду излома. Весь углерод в белом чугуне находится в связанном состоянии в виде цементита Fe_3C . Структура состоит из перлита, ледебурита и избыточного цементита. Поэтому он отличается высокой твердостью, хрупкостью, низкой прочностью и трудоемкостью механической обработки. Практически данный чугун для изготовления деталей машин не используется, а благодаря наличию цементита не поддается обработке режущим инструментом. Из белого чугуна делают отливки деталей с последующим отжигом на ковкий чугун. Чугун в изломе имеет белый цвет и характерный блеск.

Чугун с отбеленной поверхностью, в котором основная масса металла имеет структуру серого чугуна, а поверхностный слой – белого чугуна. Из отбеленного чугуна производят прокатные валки.

Половинчатый чугун – тот, в котором одна часть углерода находится в связанном состоянии, а другая – в свободном. Чугун имеет структуру перлита, ледебурита и пластинчатого графита. Половинчатые чугуны так же, как и белые, для изготовления деталей машин не используются.

Серый чугун в изломе имеет темно-серый цвет вследствие того, что весь углерод или большая часть находится в свободном состоянии в виде пластинчатого графита, а содержание углерода в связанном состоянии в виде цементита составляет не более 0,8 %.

В зависимости от распада цементита различают ферритный, ферритно-перлитный и перлитный серые чугуны.

Серый ферритный чугун получается при полном распаде цементита (входящего в состав ледебурита), перлита, а также структуры свободного цементита. Структура чугуна состоит из феррита и графита.

Серый ферритно-перлитный чугун характеризуется меньшей степенью графитизации. При этом образуется структурно свободный феррит, освобождающийся из перлита. Структура становится ферритно-перлитной с графитом.

Серый перлитный чугун образуется, когда графитизации подвергается полностью цементит, входящий в состав ледебурита, и вторичный цементит. Структура состоит из перлита и графита.

Таким образом, серый чугун имеет структуру стали, испещренную включениями графита.

Чугун с перлитной структурой обладает наибольшей твердостью, прочностью и износостойкостью.

Наличие феррита в структуре вызывает снижение прочностных характеристик и износостойкости. Наименьшую прочность имеет ферритный чугун. Твердость чугуна с различной структурой металлической основы представлена в табл. 11.1

Таблица 11.1

Твердость чугуна с различной структурой металлической основы

Чугун	Виды чугуна		
	Ферритный	Феррито-перлитный	Перлитный
Твердость, HB	150	200	250

Зависимость свойств серого чугуна от структуры значительно сложнее, чем у стали, так как его структура состоит из металлической основы и включений графита, вкрапленных в эту основу. Для характеристики структуры серого чугуна необходимо определять размеры, форму, распределение графита, а также структуру металлической основы.

Графитные включения лучше определять на нетравленных шлифах. Хрупкие графитные включения в металлической основе (в поверхностном слое) выкрашиваются при шлифовании и полировании микрошлифа, поэтому участки, в которых они находились, кажутся в микроскопе темными. Они имеют характерную форму пластинок. Можно качественно оценить влияние графитных включений на механические свойства серого чугуна: чем меньше графитных включений, чем они мельче и больше степень изолированности их друг от друга, тем выше прочность чугуна при одной и той же металлической основе. Оценка графитных включений осуществляют по типовой шкале ГОСТ 3443-77.

Металлическую основу изучают после травления микрошлифа. Она состоит из феррита и перлита, количественное соотношение их может быть различным. При одинаковом характере графитных включений чугун с преобладающим количеством перлита (перлитовый чугун) обладает более высокими механическими свойствами, чем чугун с преобладающим количеством феррита (ферритовый чугун). Типичные структуры серых чугунов с различной металлической основой приведены на фотографиях микрошлифов.

Высокопрочный чугун. Серый чугун, в котором графит имеет шаровидную (округлую) форму. Он получается при модификации магнием или хромом. Такая форма графита определяет наибольшую сплошность металлической основы, а следовательно, высокую прочность, повышенную пластичность и ударную вязкость. Высокопрочный чугун получают из обычного серого перлитного чугуна присадкой в ковш с жидким чугуном 0,5...1 % магния от веса чугуна. Высокопрочный чугун имеет структуру феррита и перлита с округлыми включениями графита.

Ковким чугуном является белый чугун, графитизированный термической обработкой (отжигом, томлением). Для получения ковкого чугуна необходимо белый чугун нагреть до 950...1000 °С и затем после длительной выдержки охладить с малой скоростью до обычной температуры. Структура ковкого чугуна характеризуется графитом в виде хлопьевидных включений. Такая форма графита в меньшей степени снижает механические свойства ковкого чугуна.

Легированные чугуны. Представляет интерес использование чугунов для деталей, работающих в специфических условиях (агрессивные среды, высокие температуры и др.). Для этого в чугуны вводят соответствующие легирующие элементы, способствующие повышению необходимых свойств. Такие чугуны называются легированными, специального назначения. Они дешевле легированных сталей и вследствие лучших литейных свойств оказываются предпочтительнее для получения отливок.

Пластичность чугунов мало зависит от структуры металлической основы. Форма графитных включений мало влияет на твердость чугуна, однако на прочность и пластические свойства она оказывает значительное влияние. Наиболее благоприятной формой графита является шаровидная, а пластинчатый графит снижает прочность и пластичность чугуна. Это связано с тем, что графитные включения играют роль трещин, пустот в чугуне и являются концентраторами напряжений.

Чем компактнее форма включений графита и чем меньше их количество, тем в меньшей степени они ослабляют металлическую основу, тем выше прочность и пластичность чугуна при одной и той же структуре металлической основы.

Таблица 11.2

Зависимость пластичности чугуна от формы включений графита

Форма графита	Пластинчатая	Хлопьевидная	Шаровидная
Относительное удлинение δ , %	0,2...0,5	5...10	10...15

Следует отметить, что в определенных случаях наличие графита в структуре полезно и дает чугуну преимущества перед сталью: включения графита облегчают обрабатываемость чугуна резанием (стружка делается ломкой); благодаря смазывающему действию графита, чугун обладает хорошими антифрикционными свойствами.

Стоит также отметить хорошие литейные свойства чугуна, (хорошая жидкотекучесть и малая усадка) дающие ему преимущество по сравнению со сталью.

2. Факторы, способствующие графитизации

Графитизацией называется процесс выделения графита при кристаллизации или охлаждении сплавов железа с углеродом. Графитизация чугуна зависит от ряда факторов. К ним относятся присутствующие в чугуне центры графитизации, скорость охлаждения и химический состав чугуна.

Влияние скорости охлаждения обусловлено тем, что графитизация чугуна является диффузионным процессом и протекает медленно. Значительная длительность процесса графитизации обусловлена необходимостью реализации нескольких стадий: образования центров графитизации в жидкой фазе или аустените, диффузии атомов углерода к центрам графитизации и роста выделений графита. При графитизации цементита добавляется необходимость предварительного распада Fe_3C и растворения углерода в аустените. Чем медленнее охлаждение чугуна, тем большее развитие получает процесс графитизации. В одной и той же отливке чугуна может иметь различную структуру. В тонких частях отливки, где выше скорость кристаллизации и охлаждения, чугун имеет меньшую степень графитизации, чем в массивных. Быстрое охлаждение способствует получению белого чугуна, более медленное – серого чугуна.

Из примесей, входящих в состав чугуна, наиболее сильное положительное влияние на графитизацию оказывает кремний. Содержание кремния в чугуне колеблется от 0,5 до 4...5 %. Марганец препятствует графитизации, увеличивая склонность чугуна к отбеливанию. Содержание марганца в чугуне обычно не более 0,5...1,0 %.

Сера является вредной примесью в чугуне. Ее отбеливающее влияние в 5–6 раз выше, чем марганца. Кроме того, сера снижает жидкотекучесть, способствует образованию газовых пузырей, увеличивает усадку и склонность к образованию трещин.

Влияние фосфора в чугуне существенно отличается от его влияния в стали. Хотя фосфор почти не влияет на графитизацию, он является полезной примесью, увеличивая жидкотекучесть серого чугуна за счет образования легкоплавкой (950...980 °C) фосфидной эвтектики.

Обычно используют чугуны следующего химического состава, %: 3,0...3,7 C; 1...3 Si; 0,5...1,0 Mn, менее 0,3 P и 0,15 S.

3. Маркировка чугунов

Серые чугуны обозначают буквами СЧ (С – серый, Ч – чугун) и цифрами, показывающими значение временного сопротивления при растяжении σ_b в МПа $\cdot 10^{-1}$. Стандартные марки чугунов (ГОСТ 1412-85): СЧ10, СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35.

Примерный химический состав чугунов стандартных марок: 2,9...3,7 % С; 1,2...2,6 % Si; 0,5...1,1 % Mn; не более 0,2...0,3 % Р и не более 0,12...0,15 % S. Отливки из серых чугунов широко применяют в машиностроении. Чугуны марок СЧ10, СЧ15 предназначены для работы с небольшими или средними нагрузками. Чугун марки СЧ10 используют для изготовления стоек, оснований, кожухов, коробок, изложниц.

Из чугунов марок СЧ20 и СЧ25 изготавливают блоки цилиндров, картеры двигателей, поршни цилиндров. Твердость серых чугунов ($HВ$ 160...20 МПа) сопоставима с твердостью отожженных сталей, по структуре соответствующих металлической основе чугуна. Однако из-за влияния графита, нарушающего сплошность металлической основы и являющегося концентратором напряжений, свойства серых чугунов в условиях растяжения низкие: мала прочность, пластичность; относительное удлинение не превышает 0,5 %, предел прочности – не более 400 МПа. В значительно меньшей степени графитные включения оказывают влияние на механические свойства в условиях сжатия. Предел прочности при сжатии в 1,5–3 раза больше, чем при растяжении.

Ковкий чугун обозначают буквами КЧ (К – ковкий, Ч – чугун) и цифрами, обозначающими минимальное значение временного сопротивления при растяжении $Мпа \cdot 10^{-1}$ и относительное удлинение, например КЧ 35–10. Ковкие чугуны обладают хорошим сочетанием прочности и пластичности. Применяется этот чугун для изготовления деталей, работающих в более тяжелых условиях, для более ответственных изделий по сравнению с изготавливаемыми из серого чугуна. Например, картеры редукторов, коробки передач автомобилей, кронштейны рессор, различные крюки, фланцы и т. д.

Высокопрочный чугун маркируют буквами ВЧ (В – высокопрочный, Ч – чугун) и цифрами, обозначающими значение временного сопротивления при растяжении, $Мпа \cdot 10^{-1}$. Чугуны с шаровидным графитом по механическим свойствам приближаются к сталям, сохраняя при этом хорошие литейные свойства, способность легко обрабатываться резанием.

Высокопрочные чугуны применяют в авто-, тракторо- и дизелестроении, их используют для изготовления коленчатых валов, поршней и многих других ответственных деталей, работающих при высоких циклических нагрузках и в условиях изнашивания. В тяжелом машиностроении из них изготавливают оборудование прокатных станков, детали кузнечно-прессового оборудования, в турбостроении – корпус паровой турбины, лопатки направляющего аппарата. Во многих изделиях детали из высокопрочных чугунов успешно заменяют детали из стали (зубчатые колеса, коленчатые валы).

Методика проведения экспериментов и обработка результатов

В ходе проведения лабораторных работ студентам необходимо выполнить следующее.

1. Самостоятельно осуществить предварительную подготовку отчета с необходимыми формами таблиц и графиков.
2. Изучить характеристику объекта исследования, способы его исследования, используя методические указания, конспект лекций и предлагаемую литературу.
3. Пройти инструктаж по технике безопасности проведения лабораторной работы.
4. Получить допуск к выполнению лабораторной работы.
5. Составить список оборудования и приборов с краткими техническими характеристиками.
6. Ознакомиться с устройством и основными правилами работы микроскопа МЕТАМ-Р1 (см. рис. 10.1.)
7. Изготовить один микрошлиф и с помощью микроскопа исследовать микроструктуру.
8. Зарисовать и описать особенности микроструктуры. Определить класс сплава используя каталоги с фотографиями микроструктур.

Схема лабораторной установки и схема проведения опыта

1. В соответствии с выбранным увеличением по данным табл. 10.2 установить объектив и окуляр.
2. Включить трансформатор и настроить его на требуемую силу света.
3. При помощи винтов предметного столика микроскопа установить отверстие вкладыша предметного столика точно против линзы объектива.
4. Установить микрошлиф на предметный столик полированной поверхностью вверх.
5. Опустить механизм грубой настройки и произвести настройку на фокус.
6. Произвести тонкую наводку на фокус с помощью микрометрического винта.
7. Исследовать, зарисовать и описать типичные микроструктуры
8. Для проведения этой части работы используется коллекция микрошлифов. Последовательно просмотреть на микроскопе всю коллекцию шлифов.
9. Описать особенности изученных микроструктур.

Требования графической интерпретации результатов проделанной лабораторной работы в форме графиков

Схематично зарисовать. Зарисовка изученных микроструктур всех шлифов производится карандашом в квадрате 40×40 мм. При зарисовке обращается внимание на характерные особенности структуры, выносными линиями обозначаются основные структурные составляющие.

Типовые вопросы для контроля и самоконтроля студентов

1. Какие формы графита существуют в чугунах?
2. Как влияет графит на механические свойства чугунов?
3. Для каких деталей рекомендуется применение серых чугунов?
4. Какой чугун называется высокопрочным и почему?
5. Как классифицируются чугуны по структуре?
6. Как подразделяются чугуны по структуре металлической основы?
7. Как маркируются серые, высокопрочные и ковкие чугуны?
8. Какие элементы способствуют графитизации?
9. Какие элементы способствуют отбелу?
10. Какие элементы способствуют образованию шаровидного графита?
11. Как получают высокопрочный чугун?
12. Как получают ковкий чугун?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ, ОБОЗНАЧЕНИЕ МАРОК, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Цель работы

1. Изучить принципы классификации и обозначения марок углеродистых сталей.
2. Изучить принципы классификации и маркировки коррозионно-стойких сталей России и зарубежных стран.
3. Установить область применения углеродистых сталей от химического состава и механических свойств.

Теоретическая часть

1. Общее положение

Сталью называют железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода от сотых долей процента до 2,14 %. Стали, содержащие в своем составе углерод, кремний, марганец, серу и фосфор, называют углеродистыми.

С увеличением содержания углерода прочность и твердость сталей возрастают, а пластичность и ударная вязкость уменьшается.

Углеродистые стали, в зависимости от назначения и свойств, подразделяются на конструкционные (мягкие стали и стали средней твердости) и инструментальные (твердые).

Качество стали определяется способом выплавки и содержанием вредных примесей S и P .

2. Основы классификации углеродистых сталей

Углеродистые стали классифицируют по следующим признакам:

1. По структуре в отожженном состоянии согласно диаграмме железа-углерода:

- а) доэвтектоидная сталь $C < 0,8 \%$, структура перлит + феррит;
- б) эвтектоидная сталь $C = 0,8 \%$, структура перлит (феррит + цементит);
- в) заэвтектоидная сталь $C > 0,8 \%$, структура перлит + цементит (цементит образует тонкую сетку на поле перлита).

Феррит – фаза мягкая, пластичная.

Цементит – твердый, хрупкий.

2. По способу раскисления (способу металлургического производства):

а) спокойная (сп) – сталь полностью раскисленная Si, Mn, Al, содержание кремния 0,15...0,35 %, повышает предел текучести (σ_T), снижает пластичность;

б) полуспокойная (пс) – сталь раскисленная Mn, Al, содержание кремния до 0,2 %;

в) кипящая (кп) – сталь раскисленная только Mn, содержание кремния до 0,1 %. Эти стали выпускаются с содержанием углерода до 0,27 %, а следовательно, имеют повышенную пластичность (низкий предел текучести σ_T).

Процесс кипения ($\text{FeO} + \text{C} = \text{CO} \uparrow + \text{Fe}$) частично протекает при затвердевании слитка. Пузырьки CO всплывают и частично остаются в литой стали. В процессе горячей деформации такие пустоты завариваются.

Марки стали СтЗсп, СтЗпс, СтЗкп при одинаковом содержании углерода имеют близкие величины прочностных свойств, но различаются пластичностью (так как содержание кремния понижается).

3. По химическому составу:

а) низкоуглеродистая, углерода до 0,25...0,3 %;

б) среднеуглеродистая, углерода 0,25...0,6 % (0,45 %);

в) высокоуглеродистая, углерода больше 0,6 % (0,45 %).

4. По назначению:

а) общего назначения;

б) конструкционная качественная;

в) инструментальная нелегированная.

5. По качеству:

а) обыкновенного качества $S \leq 0,05 \%$; $P \leq 0,04 \%$;

б) качественная конструкционная $S \leq 0,04 \%$; $P \leq 0,035 \%$;

в) качественная инструментальная $S \leq 0,03 \%$; $P \leq 0,035 \%$;

г) высококачественная инструментальная $S \leq 0,025 \%$; $P \leq 0,025 \%$;

д) особо высококачественная $S \leq 0,015 \%$; $P \leq 0,015 \%$.

При одинаковом содержании углерода качественные стали имеют более высокие пластичность и вязкость, особенно при низких температурах.

Качественность стали определяется содержанием вредных примесей, газов и неметаллических включений.

3. Маркировка углеродистых сталей

1. Сталь углеродистая общего назначения ГОСТ 380-71.

Углеродистая сталь поставляется по 3 группам:

А – поставляемая по механическим свойствам: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6. Они используются в изделиях в состоянии поставки, без обработки давлением и сварки;

Б – поставляемая по химическому составу: БСт0, БСт1, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6 – могут подвергаться деформации (ковке, штамповке) и термической обработке;

В – поставляемая по химическому составу и механическим свойствам: ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5 (могут подвергаться сварке).

Ст 1, 2, 3, 4 – кипящие, полуспокойные, спокойные ($C = 0,06...0,27 \%$).

Ст 5, 6 – полуспокойные и спокойные ($C = 0,28...0,49 \%$).

Обозначение – Ст3кп.

Ст – сталь.

Цифра 3 обозначает условный номер марки.

Степень раскисления:

«кп» – кипящая;

«пс» – полуспокойная;

«сп» – спокойная.

С увеличением номера марки содержание углерода увеличивается, и повышаются механические свойства.

Применение: для арматуры, крепежа, деталей, не несущих больших нагрузок.

2. Углеродистая качественная конструкционная сталь ГОСТ 1050-88.

ГОСТ 1050-88 – прокат сортовой, калиброванный со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной стали.

Марки: 05кп, 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 11кп, 15кп, 15пс, 15, 18кп, 20кп, 20пс, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58 – (55пп), 60.

Марки 10, 25 – цементируемые, 35–50 – улучшаемые = закалка + высокий отпуск.

Обозначение – сталь 10кп.

10 – двузначные цифры в марке обозначают содержание углерода в сотых долях процента.

Применение: для ответственных деталей машин, поковок, штамповок.

3. Сталь нелегированная инструментальная ГОСТ 1435-74.

Марки: У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13, У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А.

Обозначение – У12А.

У – углеродистая инструментальная.

Цифра 12 обозначает содержание углерода в десятых долях процента.
А – высококачественная.

Применение: для ударного и режущего инструмента.

У7А, У8А – зубила, штампы, молотки (обладает некоторой вязкостью).

У9А, У10А напильники, шаберы, калибры (высокая твердость и износостойкость).

4. Зарубежная маркировка сталей и сплавов

В России принята буквенная система обозначения марок сталей. При этом химические элементы обозначаются следующими буквами:

А – азот;	Е – селен;	Т – титан;
Б – ниобий;	М – молибден;	Ф – ванадий;
В – вольфрам;	Н – никель;	Ю – алюминий;
Г – марганец;	Р – бор;	П – фосфор.
Д – медь;	С – кремний;	

Наименование марки стали состоит из букв и цифр, стоящих за буквами. Цифры, стоящие за буквами, указывают среднее содержание элемента в целых единицах, кроме элементов, присутствующих в сталях в малых количествах. Первая цифра перед буквами указывает среднее содержание углерода в сотых долях процента. Букву А в случае наличия в стали азота в конце марки ставить не разрешается, так как буква А в конце обозначения марки указывает на то, что сталь отличается высоким качеством.

Пример буквенного обозначения марки: 12Х25Н16Г7АР. Из обозначения марки следует, что она содержит до 0,12 % С, 25 % Cr, 16 % Ni, 7 % Mn, содержание азота и бора находят в справочниках.

Обычно в стали присутствует кремний, если его $< 1\%$, то он в марке не обозначается.

В Германии принята двойственная система: буквенная по Din 17006 и цифровая по Din 17007. В буквенной маркировке углерод обозначен буквой Х цифра, стоящая за буквой, означает содержание углерода в сотых долях процента. После того, как записан углерод, следует перечень химических элементов по мере убывания их процентного содержания. Элементы обозначаются так же, как они обозначены в таблице Д.И. Менделеева.

После букв идет ряд цифр, указывающих на среднее содержание трех основных легирующих элементов. Например, марка стали Х1CrNiMoNb28.4.2 означает, что сталь содержит в среднем 0,01 % углерода; 28 % хрома; 4 % никеля; 2 % молибдена. Содержание ниобия

в обозначении марки не отражено, но ясно, что его меньше, чем молибдена. В последних справочных изданиях отдается предпочтение именно буквенному обозначению марки стали.

Во Франции также принято буквенное обозначение, в котором элементы обозначаются следующими буквами:

Z – углерод;	W – вольфрам;
P – фосфор;	Pb – свинец;
M – марганец;	S – кремний;
C – хром;	N – никель;
T – титан;	V – ванадий;
Nb – ниобий;	A – алюминий;
Zr – цирконий;	F – сера;
B – бор;	D – молибден;
Az – азот;	K – кобальт.
U – медь;	

Начинается марка с обозначения содержания углерода, который указан в сотых долях процента, например, Z6 или Z45 означают, что в первом случае содержится 0,06 % C, во втором 0,45 % C. Далее следует в убывающем порядке перечень основных легирующих элементов; в конце написания марки пишут содержание двух, определяющих свойства стали, элементов в процентах. Чтобы избежать путаницы, второй элемент, если его меньше 10 %, записывается, например, так; 04, что означает полных 4 %.

Пример сложной марки Z30CNWS20-08 следует читать так: < 0,3 % C; 20 % Cr; 8 % Ni. Кроме этого, в стали присутствуют вольфрам и повышенное количество кремния. Если кремния содержится менее 1 %, он в название марки стали не входит, если больше (и это важно), тогда записывают то содержание кремния в десятых долях, которые превышает 1 %, например, Z45CS10 означает, что сталь содержит 0,45 % C и 2 % Si; другая марка Z70CSD22-02 содержит 0,7 % C, 22 % Cr, 2 % Mo и повышенный кремний, но его содержание в этой марке до 3 % отражено лишь тем, что он указан в буквенном обозначении.

В других основных производителях стали США, Англии, Швеции, Японии принята номерная система, при которой стали присваивается какой-то определенный порядковый номер в стандарте. Например, по американской системе AISI стали имеют номера 201,316 и т. д., не характеризующие состав сразу. В Англии по системе EN сталь обозначают двумя цифрами, по системе BS – четырьмя. Часто к цифровому обозначению добавляется химический символ, означающий, что сталь дополнительно легирована этим элементом, например, в американском

стандарте есть стали 303 и 303 Se. Вторая сталь отличается от первой добавками селена. Другая разновидность стали 303 Pb отличается от основной марки добавками свинца. Цифровые обозначения марок свойственны так же стандартам Чехии и Швеции.

Сплавы на основе железа и никеля в России обозначаются буквенно, подобно сталям, но в отличие от сталей содержание углерода из обозначения марки изъято. Поскольку все сплавы содержат хром и никель, описание марки начинается с двух символов ХН, далее следует цифра содержания никеля ХН77, а затем перечень элементов в убывающем порядке, например, ХН77ТЮР означает сплав на основе никеля (никеля > 50 %), содержащий 2,5 % Ti, до 1 % Al малые добавки бора, но количественное содержание титана и алюминия в написании марки не отражено.

Маркировка сплавов на основе железа содержание железа не отражает, но обязательно отражает содержание никеля. Сплавы ХН35ВТЮ или ХН45Ю, например, содержат, соответственно 35 и 45 % Ni.

По немецкому стандарту содержание углерода в никелевых сплавах также не указывается. Первой буквой обозначается основа – никель (или кобальт), далее следует кобальт (или никель для сплава на основе кобальта) и цифры, указывающие на его среднее содержание, потом – хром и его среднее содержание. Затем в убывающем порядке указывается два-три основных элемента. Примером может служить расшифровка сплава NiCo19Cr18MoAlTi: сплав содержит 18 % Cr, 19 % Co; 4,5 % Mo; 1,4 % Al; 2,4 % Ti. Видно, что после молибдена указывается комплекс Al–Ti, а содержание элементов не описано.

На практике для сплавов получили широкое распространение названия серий сплавов, выпускаемых основными разработчиками, например, сплавы типа «Нлмоник» или серии сплавов типа «Хастеллой», «Инкаллой» и другие.

Обозначение марки стали в России и за рубежом характеризует основной состав. За рубежом принято, что фирма, поставляющая марку стали, сама заботится о качестве и не допускает лишних элементов, если заказчик сам заранее их не оговорит. В России ГОСТами гарантируется основной состав и механические свойства, помимо этого ГОСТ оговаривает и некоторые допущения по отклонению от состава, дающие возможность металлургам интенсивно использовать вторичное сырье. Если по условиям эксплуатации заказчику требуется повышенная чистота сплава, то это оговаривается специальным соглашением. Что же это за отклонения? Прежде всего, ГОСТ 5632-72 оговаривает, что содержание серы в сталях, получаемых методом электрошлакового переплава,

не должно превышать 0,015 % за исключением некоторых марок, в которых содержание серы еще ниже – 10X11H2313MP, 03X16H15M3, 03X16H15M3K.

В сталях и сплавах, не легированных титаном, допускается его попадание из шихты в количестве до 0,2 %, а в сталях 12X18H9, 08X18H10, 17X18H9 – до 0,5 %.

В таких же сталях, как 03X18H11, 03X16H15M3, 03X17H14M2, 09X15H8Ю, 07X16H6, 08X17H5M3 содержание титана не должно превышать 0,05 %, т. е. стали надо выплавлять на особо чистой шихте.

В сталях, не легированных медью, допускается остаточное содержание меди до 0,3 %, в сплавах на железоникелевой основе – содержание углерода до 25 %, в сплавах на основе никеля – не более 0,007 %. Если сталь не легирована никелем, то остаточное содержание никеля не может превышать 0,6 %. Допускается присутствие в хромо-никелевых сталях остаточного молибдена не более 0,3 %, вольфрама и ванадия не более 0,2 % каждого. В случае необходимости сталь 08X18H10T может быть поставлена с остаточным молибденом не более 0,1 %. Ограничено содержание молибдена и в марках 08X18H12T, 08X18H12Б, где его остаточное количество не должно быть выше 0,1 %. В сталях, легированных вольфрамом, допускается содержание остаточного молибдена до 0,3 %. В стали 15X28, предназначенной для сварки ее со стеклом, содержание кремния не должно превышать 0,4 %.

Системы обозначения для сталей по стандартам EN 10027-1 EN 10027-2 DIN V 17006-100 (рис. 12.1 и табл. 12.1, 12.2).

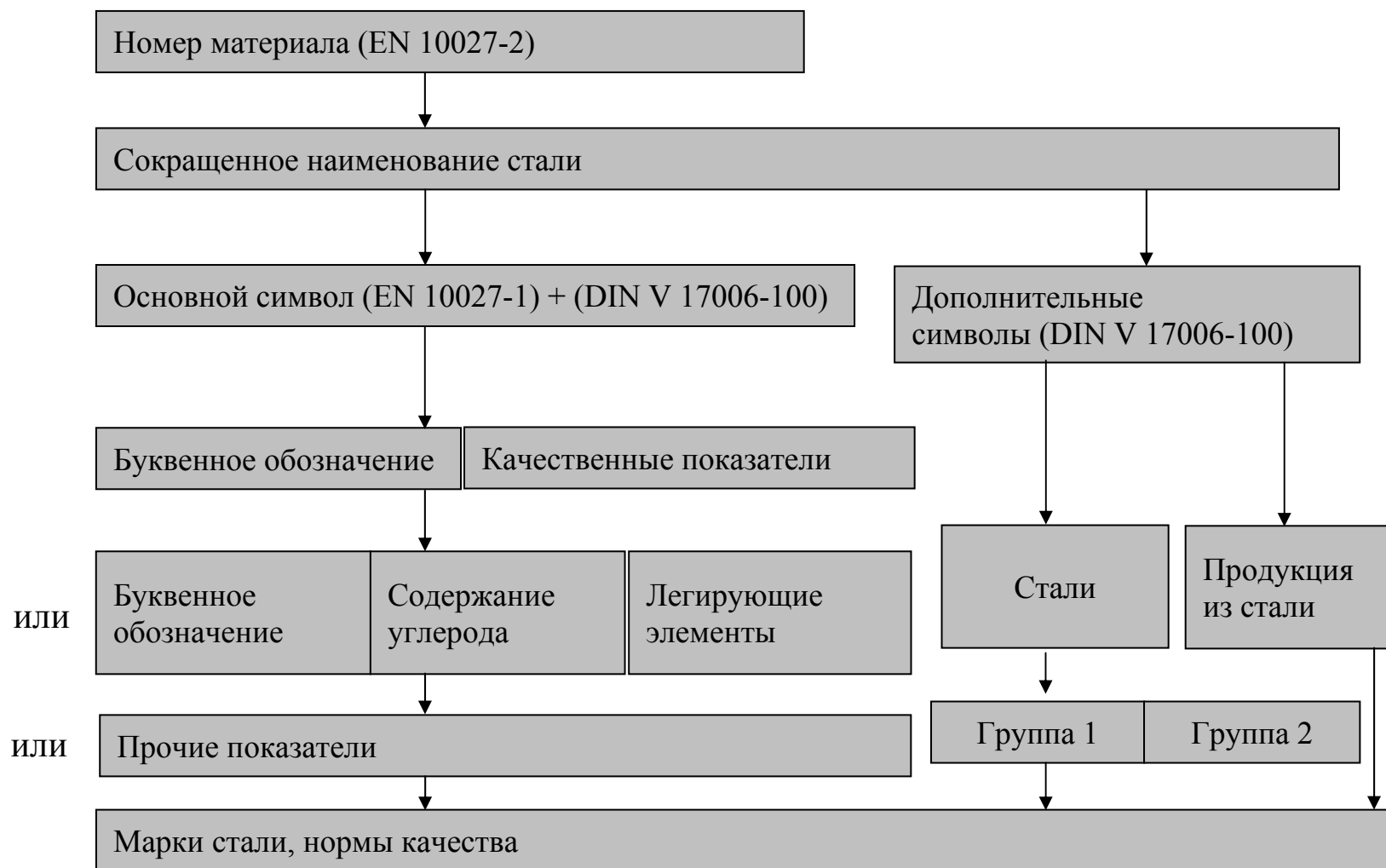


Рис. 12.1. Система обозначений для сталей по стандартам EN 10027-1 EN 10027-2 DIN V 17006-100

Таблица 12.1

Группа 1. Сокращенные наименования марок сталей, построенные на основе областей применения, а также физических и механических свойств сталей

Главный символ		Дополнительный символ для сталей				
Буквенное обозначение	Механические свойства	Группа 1			Группа 2	
S = G = литейная сталь (при необходимости может использоваться для изготовления литых заготовок)	Конструкционные стали строительного назначения. <i>Например:</i> S355JO. <i>Прежнее обозначение:</i> Fe 510 C. Свойства: минимальный предел текучести (R _e) в Н/мм ² (три цифры) для изделий минимальной толщины	Ударная вязкость в джоулях			Температура испытаний	С = пригодна для холодной штамповки (обработки давлением в холодном состоянии) D = для нанесения покрытий путем погружения в расплав E = для эмалирования F = дляковки L = для низких температур M = термомеханическая вальцовка N = нормальный отжиг или нормализованные катаные заготовки O = для шельфовых сооружений Q = улучшенная сталь S = для судосторения T = для труб W = изделия, устойчивые к атмосферным явлениям (погодостойкие) Буквы и цифры = химические символы, соответствующие дополнительным легирующим элементом + однозначное число, которое представляет собой среднее процентное содержание легирующего элемента (например, 01%), умноженное на 10
		27 J	40 J	60 J	°C	
		JR	KR	LR	+20	
		J0	K0	L0	0	
		J2	K2	L2	−20	
		J3	K3	L3	−30	
		J4	K4	L4	−40	
		J5	K5	L5	−50	
		J6	K6	L6	−60	
		A = термоупрочненная.			Мелкозернистые стали	
M = термомеханически обработанные катаные заготовки.						
N = заготовки подвергнутые нормальному отжигу или нормализованные катаные заготовки.						
Q = улучшенная сталь.						
G = другие характеристики, при необходимости дополняется одной или двумя последующими цифрами						

P = G = литейная сталь (при необходимости может использоваться для изготовления литых заготовок)	Стали для сосудов высокого давления. <i>Например:</i> P256B. Свойства: минимальный предел текучести (R_e) в Н/мм² (три цифры) для минимальной толщины стенок	M = термомеханически обработанные катаные заготовки. N = нормальный отжиг или нормализация. Q = улучшение. B = баллоны для сжатого газа. S = простые сосуды высокого давления. G = другие характеристики, при необходимости дополняется одной или двумя последующими цифрами	Мелкозернистые стали H = высокая температура. L = низкая температура. R = комнатная температура. X = высокая и низкая температура
L =	Трубы для магистральных трубопроводов. <i>Например:</i> L360QB. <i>Прежнее обозначение:</i> 360QT. Свойства: минимальный предел текучести (R_e) в Н/мм² (три цифры) для минимальной толщины стенок	M = термомеханическая вальцовка. N = нормальный отжиг или нормализация. Q = улучшение. G = другие характеристики, при необходимости дополняется одной или двумя последующими цифрами	Мелкозернистые стали Буква и цифра, если необходимо
E =	Машиностроительные стали. <i>Например:</i> E295. <i>Прежнее обозначение:</i> Fe490-2. Свойства: минимальный предел текучести (R_e) в Н/мм² (три цифры) для минимальной толщины	G = другие характеристики, при необходимости дополняется одной или двумя последующими цифрами	C = пригодность к холодному волочению

Главный символ		Дополнительный символ для сталей	
Буквенное обозначение	Механические свойства	Группа 1	Группа 2
B =	Арматурные стали. <i>Например:</i> B500A. Свойства: минимальный предел текучести (R_e) в Н/мм ² (три цифры) для минимальной толщины.	Класс ковкости (буквенное обозначение), при необходимости дополняется одной или двумя последующими цифрами	
Y =	Стали для предварительно напряженных конструкций. <i>Например:</i> Y1771C. <i>Прежнее обозначение:</i> Fe 1770. Свойства: номинальный предел прочности на растяжение (R_m) в Н/мм ² (четыре цифры, возможен предшествующий нуль)	C = холоднотянутая проволока. H = горячекатаные или предварительно напряженные прутки. Q = термообработанная проволока. S = тонкие тросы. G = другие характеристики, при необходимости дополняется одной или двумя последующими цифрами	
R =	Рельсовые стали. <i>Например:</i> R0880Mn. <i>Прежнее обозначение:</i> 3B Свойства: минимальный предел прочности на растяжение (R_m) в Н/мм ² (четыре цифры, возможен предшествующий нуль)	Mn = высокое содержание марганца C = легированные хромом Буквы и цифры = химические символы, соответствующие дополнительным легирующим элементам + однозначное число, которое представляет собой среднее процентное содержание легирующего элемента (например, 0,1 %), умноженное на 10. G = другие характеристики, при необходимости дополняется одной или двумя последующими цифрами	Q = термообработанная

Н (Т) =	Холоднокатаные плоские заготовки из высокопрочных сталей для холодной обработки давлением. <i>Например:</i> Н420М. <i>Прежнее обозначение:</i> Fe E 420 HF. Свойства: минимальный предел текучести (R_e) в Н/мм² (три цифры). <i>Например:</i> ТН52. <i>Прежнее обозначение:</i> Т 52. Минимальный предел прочности на растяжение (R_m) в Н/мм² (четыре цифры, возможен предшествующий нуль)	М = термомеханическая вальцовка и холодная обработка давлением. В = упрочнение при нагреве после штамповки. Р = легированные фосфором. Х = двухфазная. У = низкоуглеродистая сталь повышенной ковкости с малым количеством включений (С и N). Г = другие характеристики, при необходимости дополняется одной или двумя последующими цифрами	D = для нанесения покрытий путем погружения в расплав
D =	Плоские заготовки из мягких (низкоуглеродистых) сталей для холодной обработки давлением. <i>Например:</i> DC12EK. <i>Прежнее обозначение:</i> Fe R4. Свойства: С = холодная обработка давлением (плюс две цифры); D = горячая обработка давлением непосредственно перед холодной обработкой давлением (плюс две цифры); Х = прокат (горячее- или холоднокатаная) заготовка (плюс две цифры)	D = для нанесения покрытий путем погружения в расплав. EK = для стандартного эмалирования. ED = для прямого эмалирования. Н = для полых профилей. Т = для труб. Буквы и цифры = химические символы, соответствующие дополнительным легирующим элементам + однозначное число, которое представляет собой среднее процентное содержание легирующего элемента (например, 0,1 %), умноженное на 10 Г = другие характеристики, при необходимости дополняется одной или двумя последующими цифрами	

Продолжение табл. 12.1

Главный символ		Дополнительный символ для сталей	
Буквенное обозначение	Механические свойства	Группа 1	Группа 2
Т (Н)	Упаковочные листы и ленты. <i>Например:</i> Т660. <i>Прежнее обозначение:</i> DR 660. Свойства: номинальный предел текучести (R_e) в Н/мм ² (три цифры). <i>Например:</i> ТН52. <i>Прежнее обозначение:</i> F 52 Свойства: предписанное среднее число твердости для простого обжатия изделия (ТН плюс две цифры)	Дополнительные символы не предусмотрены	Дополнительные символы не предусмотрены
М =	Электротехническая листовая сталь и ленты <i>Например:</i> М400-50А. <i>Прежнее обозначение:</i> FeV400-50НА Свойства: Предельно допустимые потери на перемагничивание в Вт/кг х 100 (плюс четыре цифры) и (плюс две цифры) 100 х номинальная толщина (мм). Оба показателя должны разделяться дефисом	Особые характеристики: Для магнитной индукции при 50 Hz от 1,5 Тесла. А = с неориентированным зерном. D = нелегированные, без заключительного отжига. Е = легированные, без заключительного отжига. N = С ориентированной зернистой структурой и нормальными потерями на перемагничивание. Для магнитной индукции при 50 Hz от 1,7 Тесла. S = с ориентированной зернистой структурой и ограниченными потерями на перемагничивание. Р = с ориентированной зернистой структурой и низкими потерями на перемагничивание	Дополнительные символы не предусмотрены

Продолжение табл. 12.1

С = углеродистая сталь. G = литейная сталь (при необходимости может использоваться для изготовления литых заготовок)	Нелегированные стали со средним содержанием Mn < 1 %, кроме автоматных сталей. <i>Например:</i> С35Е. <i>Прежнее обозначение:</i> 2 С 35. Содержание углерода: до трех цифр = 100 х среднее содержание С заданного интервала. Если интервал для возможных значений процентного содержания углерода не указан, значение берется эмпирически на основе репрезентативной выборки	Е = заданное максимальное значение серы. R = заданный диапазон возможных значений содержания серы. D = для волочения проволоки. С = для холодной обработки давлением (например, холодная высадка, холодное прессование). S = для пружин и рессор. Т = для инструмента. W = для сварочной проволоки. G = другие характеристики, при необходимости дополняется одной или двумя последующими цифрами. Е, R плюс цифра, представляющая собой максимально допустимое или среднее содержание серы, умноженное на коэффициент 100	Буквы и цифры = химические символы, соответствующие легирующим элементам + однозначное число, которое представляет собой среднее процентное содержание легирующего элемента (например, 0,1 %), умноженное на 10
--	---	--	---

Таблица 12.2

Группа 2. Сокращённые наименования марок сталей, построенные на основе свойств сталей

Главный символ		Дополнительный символ для сталей	
Буквенное обозначение	Механические свойства	Группа 1	Группа 2
HS =	Быстрорежущие стали. <i>Например:</i> HS2-9-1-8. <i>Прежнее обозначение:</i> HS 2-9-1-8. Цифры, следующие за буквенным обозначением, разделяются дефисом и соответствуют процентному содержанию легирующих элементов в следующем порядке:	Дополнительные символы не предусмотрены	Дополнительные символы не предусмотрены

Главный символ		Дополнительный символ для сталей	
Механические свойства	Группа 1	Группа 2	
	W (Вольфрам); Mo (Молибден); V (Ванадий); Co (Кобальт)		
G = литейная сталь (при необходимости может использоваться для изготовления литых заготовок)	Нелегированные стали с содержанием Mn > 1 %, нелегированные автоматные стали, а также легированные стали (кроме быстрорежущих), у которых среднее содержание отдельных легирующих элементов ниже 5 %. Например: 28Mn6. Содержание углерода: до трех цифр = 100 x среднее содержание C заданного интервала	Легирующие элементы: Буквы = химические символы, соответствующие легирующим элементам. Числа = разделяются дефисом. Они соответствуют среднему значению процентного содержания соответствующего химического элемента, умноженному на соответствующий коэффициент. Таблица соответствия коэффициентов и легирующих элементов приведена ниже.	
		Элементы	Коэффициент
		Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
		Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10
		Ce, N, P, S	100
B	1000		
X = G = литейная сталь (при необходимости может использоваться для изготовления литых заготовок)	Легированные стали (кроме быстрорежущих), для которых среднее содержание по меньшей мере одного легирующего элемента > 5 %. Например: X5CrNi18-10. Прежнее обозначение: X 5 CrNi 18 10. Содержание углерода: до трех цифр = 100 x среднее содержание C заданного интервала. Если интервал для возможных значений процентного содержания углерода не указан, значение берется эмпирически на основе репрезентативной выборки	Легирующие элементы: Буквы = химические символы легирующих элементов, в убывающем порядке по содержанию легирующих элементов (при одинаковом содержании – в алфавитном порядке). Числа = разделяются дефисом. Они соответствуют среднему значению процентного содержания соответствующего химического элемента, умноженному на соответствующий коэффициент. Таблица соответствия коэффициентов и легирующих элементов приведена в предыдущей строке соответствующего столбца	

5. Механические свойства металлов

5.1. Общие сведения

Под механическими свойствами понимают совокупность показателей, характеризующих сопротивление материалов деформированию и разрушению при действии на него нагрузки.

К основным механическим свойствам относят прочность, пластичность, твердость, вязкость.

Прочностью называют способность материалов сопротивляться деформации или разрушению под действием нагрузок.

Пластичность – способность материалов под действием нагрузки изменять свою форму и размеры без разрушения, а после снятия нагрузки сохранять измененную форму и размеры. Иными словами, пластичность – это способность материалов к остаточной (необратимой) деформации, т. е. к пластической деформации. Деформация, исчезающая после снятия нагрузки, называется упругой.

Твердостью называют способность материала сопротивляться проникновению в него более твердого тела.

Вязкостью называют способность материала поглощать механическую энергию под действием ударной (динамической) нагрузки.

Под действием нагрузки в материале возникают напряжения, являющиеся мерой интенсивности внутренних сил. Напряжение обозначается буквой σ и численно равно

$$\sigma = \frac{P}{F_0}, \quad \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} \left(\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right), \quad (12.1)$$

где P – нагрузка в Н; F_0 – площадь поперечного сечений действия сил в м^2 (мм^2).

Для надежной работы деталей машин необходимо, чтобы напряжения и деформации при эксплуатации деталей не превосходили допустимых пределов, что достигается правильным выбором материала детали, основанном на знании основных характеристик механических свойств.

Такие механические свойства, как прочность, пластичность, твердость определяются статическими механическими испытаниями. Ударная вязкость оценивается при динамических механических испытаниях. Эти испытания отличаются скоростью приложения нагрузки.

При статических испытаниях нагрузка или очень медленно возрастает во времени, достигая скорости 2...50 мм/мин, или остается постоянной.

При динамических испытаниях нагрузка резко возрастает, достигая скорости десятков метров в секунду.

5.2. Испытания для определения характеристик механических свойств

1. Испытание на растяжение.

При испытаниях на растяжение определяют характеристики прочности: пределы пропорциональности, упругости, текучести, временное сопротивление разрыву (предел прочности), а также показатели пластичности: относительное удлинение и относительное сужение.

Для испытаний на растяжение чаще всего применяют цилиндрические или плоские образцы с расчетной длиной 50 мм и диаметром (шириной) 10 мм (рис. 12.2).

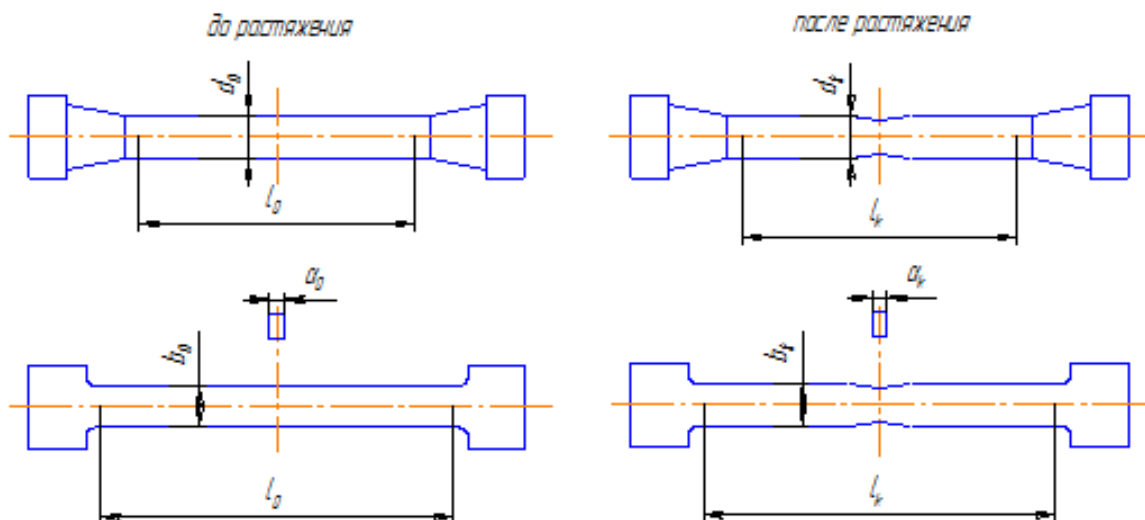


Рис. 12.2. Образцы для проведения испытаний на растяжение

При растяжении образца в испытательной машине записывающий прибор вычерчивает диаграмму растяжения, показывающую зависимость деформации образца от растягивающей нагрузки. На диаграмме (рис. 12.3) имеются характерные точки, по которым определяются показатели механических свойств. От начала деформации (точка О) до точки А образец деформируется пропорционально приложенной нагрузке. Точка А является предельной, до которой сохраняется прямолинейная зависимость между прилагаемой нагрузкой и деформацией образца, и соответствует пределу пропорциональности. Предел пропорциональности $\sigma_{\text{пц}}$, МПа определяется по формуле

$$\sigma_{\text{пц}} = P_{\text{пц}} / F_0, \quad (12.2)$$

где $P_{\text{пц}}$ – нагрузка, выше которой нарушается пропорциональность между прилагаемым напряжением и деформацией образца, Н; F_0 – площадь поперечного сечения образца до деформации (расчетная), мм².

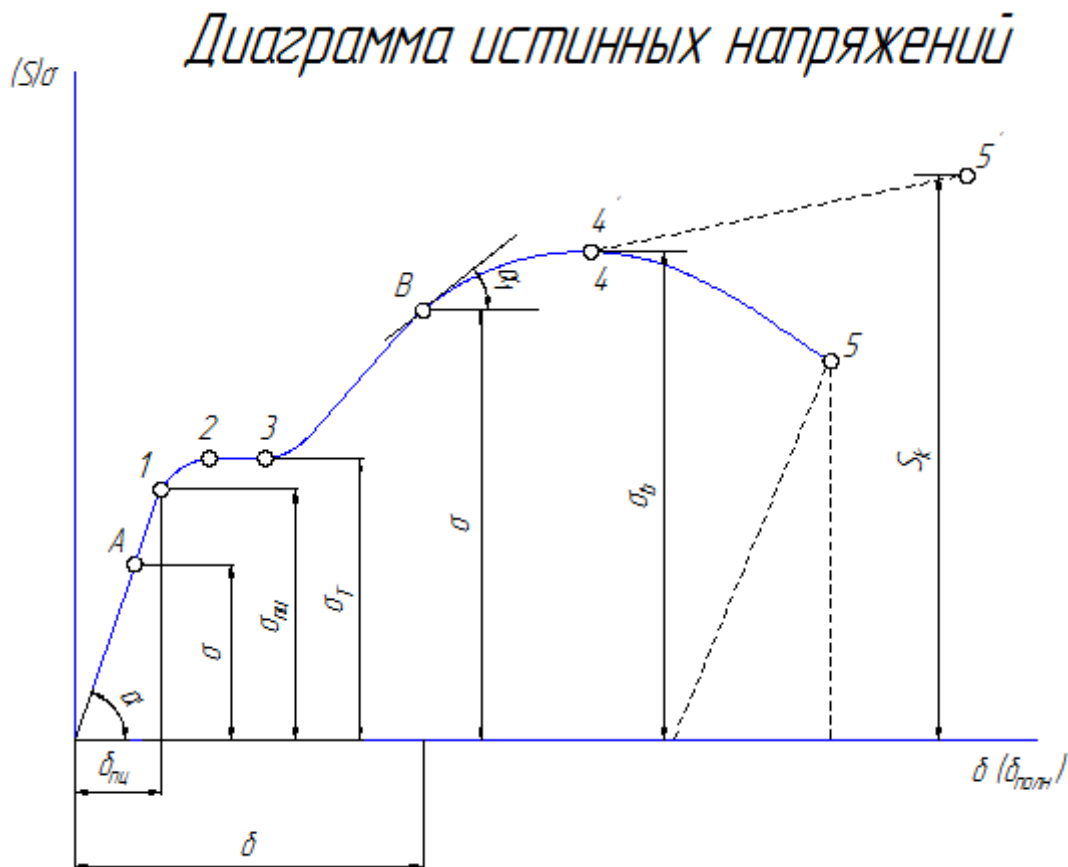


Рис. 12.3. Диаграмма растяжения металла: I – область упругой деформации; II – область пластической деформации; III – область развития трещин или разрушения

При нагрузках выше $P_{пл}$ нарушается пропорциональность между прилагаемой нагрузкой и деформацией образца, но образец по-прежнему деформируется упруго, т. е. при снятии нагрузки он принимает первоначальные размеры. Точка В на диаграмме соответствует нагрузке $P_{уп}$, вызывающей остаточное удлинение образца, равное 0,05 его расчетной длины l_0 . Предел упругости $\sigma_{уп}$, МПа определяется как отношение этой нагрузки к площади поперечного сечения образца до деформации

$$\sigma_{уп} = P_{уп} / F_0. \quad (12.3)$$

При дальнейшем увеличении нагрузки криволинейный участок ВС при испытаниях пластичных материалов может перейти в горизонтальный.

Это свидетельствует о том, что металл деформируется, «течет» без увеличения нагрузки. По нагрузке P_T (точка 2–3 на диаграмме) определяют физический предел текучести

$$\sigma_T = P_T / F_0. \quad (12.4)$$

Напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке P_B , называется временным сопротивлением при растяжении и определяется по формуле

$$\sigma_B = P_B / F_0. \quad (12.5)$$

Максимальное напряжение перед разрушением образца – истинное сопротивление разрыву

$$S_K = P_K / F_K, \quad (12.6)$$

где F_K – площадь минимального поперечного сечения образца после разрыва.

Различные значения S_K и S'_K объясняются, тем что в процессе растяжения металл испытывает деформационное упрочнение (наклеп).

По результатам обмеров разрывных образцов до и после испытаний определяют показатели пластичности:

- относительное удлинение

$$\delta = (l_K - l_0) \cdot 100 \% / l_0; \quad (12.7)$$

- относительное сужение

$$\psi = (F_0 - F_K) \cdot 100 \% / F_0, \quad (12.8)$$

где l_0 и l_K – соответственно исходная и конечная длины образца.

2. Испытание на твердость.

Твердостью называется свойство поверхностного слоя материала, которое сопротивляется вдавливанию в него твердого наконечника. Для многих сплавов установлена четкая зависимость между твердостью, механическими, эксплуатационными и технологическими характеристиками (прочностью, износостойкостью, обработка резанием, давлением и др.), поэтому измерение твердости является наиболее распространенным методом механических испытаний. К основным методам испытаний на твердость относятся три стандартных метода – Бринелля, Виккерса, Роквелла.

3. Испытание на ударную вязкость.

В условиях эксплуатации многие детали и конструкции могут хрупко разрушаться под действием ударных нагрузок.

При этом склонность металлов к хрупкому разрушению возрастает при увеличении скорости приложения нагрузки, снижении температуры, увеличении зерна, наличии надрезов, повышении содержания в стали углерода, а также вредных примесей: фосфора, серы, кислорода, водорода, азота.

Наибольшее распространение получили динамические испытания на изгиб образцов с надрезом (испытания на ударную вязкость) на маятниковом копре. Ударная вязкость КС представляет собой удельную

работу, затраченную на деформацию и разрушение образца, и определяется как отношение работы ударного разрушения путем изгиба к площади поперечного сечения образца в месте надреза (образцы из хрупких материалов испытываются без надреза).

В верхнем положении маятник (рис. 12.5) массой P обладает потенциальной энергией PH , при опускании маятник разрушает образец и, истратив на это часть энергии, поднимается на высоту h , обладая при этом энергией Ph . Работа разрушения A определяется по формуле

$$A = PH - Ph. \quad (12.9)$$

Ударную вязкость определяют по формуле

$$КС = \frac{A}{F}, \quad \frac{Дж}{см^2}, \quad (12.10)$$

где F – площадь поперечного сечения образца в месте надреза.

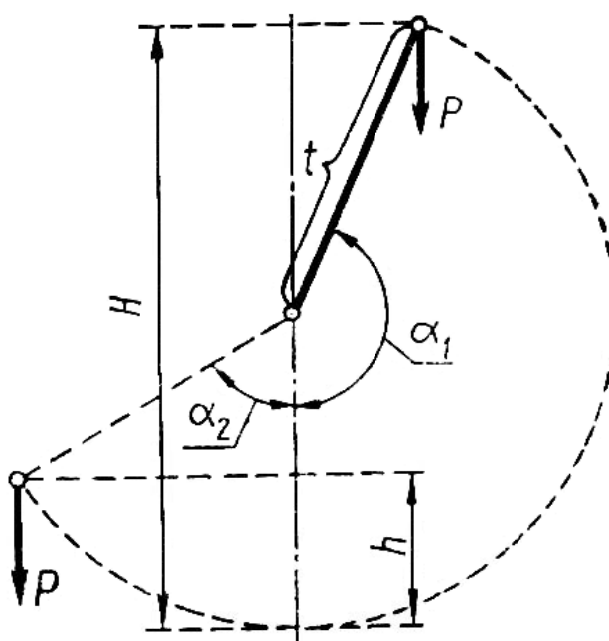


Рис. 12.5. Схема для определения работы по разрушению образца

В зависимости от вида концентратора различают образцы трех типов: с радиусом дна надреза 1,0 (тип U); 0,25 мм (тип V) и инициированной трещиной (тип T) (рис. 12.6)

Применение угледостых сталей

1. Стали общего назначения

Стали общего назначения (обыкновенного качества) широко распространены в промышленности из-за дешевизны и технологичности. Из этих сталей изготавливают болты, заклепки, гайки, швеллера, уголок,

строительные конструкции, оси, валы, шестерни, трубы, ленту, проволоку и т. д. Эти стали выпускают горячекатанными в виде сортовых, фасонных, листовых и широкополосных заготовок, а также холоднокатаными в виде тонких листов.

Стали группы А, поставляющиеся только по механическим свойствам, идут на изготовление изделий машиностроения способами холодной обработки, не подвергаются горячей обработке (например, сварке, пайке, горячей обработке давлением), так как при горячей обработке меняется структура, а следовательно, и свойства стали.

Из сталей группы Б, поставляемых по химическому составу, можно изготавливать изделия способами горячей обработки (ковкой, штамповкой), так как химический состав их известен, что важно для определения режима горячей обработки и оценки их свойств.

Стали группы В используются, главным образом, для сварных конструкций и изделий, так как в этом случае необходимо знать и их химический состав, определяющий свойства сварного шва, и исходные механические свойства стали для оценки прочностных свойств отдельных частей конструкции или изделия.

2. Стали конструкционные

Стали конструкционные качественные поставляются по химическому составу и механическим свойствам. К ним предъявляются более жесткие требования по содержанию вредных примесей, неметаллических включений и газов. По содержанию углерода конструкционные стали подразделяются на низкоуглеродистые (до 0,3 % С) и среднеуглеродистые (0,3...0,6 % С), табл. 12.3, 12.4.

Эти стали применяются для изделий ответственного назначения.

Таблица 12.3

Применение углеродистых сталей в зависимости от содержания в них углерода

Содержание С в %	Свойства сталей	Назначение сталей
Низкоуглеродистые стали С до 0,3	Мягкие, пластичные, хорошо обрабатываются давлением. При необходимости иметь твердую поверхность цементируются, планируются	Для малонагруженных деталей: болты, фланцы, гайки, шпильки, втулки, серьги, оси, диски, кузова
Среднеуглеродистые стали С 0,3...0,6	После термической обработки обладают повышенной прочностью при достаточной вязкости и пластичности	При изготовлении ответственных деталей: шестерни, валы, оси, штоки, диски, зубчатые колеса и пр.

Высокоуглеродистые стали С 0,6...0,8	После термической обработки имеют повышенные упругие свойства	Пружины, рессоры, эксцентрики, шпиндели и центры токарных станков. Из марок У7А, У8А – зубила, молотки, матрицы, пуансоны, деревообрабатывающий инструмент
Высокоуглеродистые стали С 0,9...1,3	После термической обработки имеют повышенную твердость	Режущий инструмент, измерительный, калибры, столярный инструмент, граверный инструмент и пр.

Таблица 12.4

Применение углеродистых конструкционных сталей

Марки сталей	Назначение
05, 08	Для деталей, изготовляемых холодной штамповкой и глубокой вытяжкой: кузова, кабины, топливные баки, каркасы и пр.
10–15, 18	Болты, гайки, заклепки, трубы
20–25	Крепежный материал, соединительные муфты, лонжероны автомобилей, поперечны, косынки рам, рамы автомобилей
30, 35	Слабонагруженные оси, валы, цилиндры, шестерни
40, 45, 50	Средненагруженные оси, валы, шестерни, втулки, коленчатые валы
55, 58, 60	Пружины, рессоры, пружинные шайбы, подвески

3. Стали инструментальные

Инструментальные стали применяются для изготовления инструмента, причем инструмент, работающий в условиях динамических нагрузок, изготовляют из сталей марок У7А, У8А. Стали марок У9, У10, У11, У12, У13 применяются для изготовления инструмента, не подвергающегося при эксплуатации сильным ударам. От этих сталей требуется высокая твердость и износостойкость (табл. 12.5).

Таблица 12.5

Применение инструментальных сталей

Марки сталей	Назначение
У7, У7А	Зубила, молотки, пневмоинструмент и пр.
У8, У8А	Фрезы, зенковки, штампы, матрицы, пуансоны, ножи, ножницы, столярный инструмент, деревообрабатывающий инструмент и пр.

Марки сталей	Назначение
У9, У9А, У10, У10А	Сверла, метчики, развертки, матрицы для холодной штамповки и пр.
У11, У11А, У12, У12А, У13, У13А	Напильники, резцы, сверла, мерительный инструмент (калибры, штангенциркули и др.), граверный инструмент, керны и пр.

Порядок выполнения работы

Работа состоит из пяти заданий, которые выбираются согласно варианту задания табл. 12.6.

Задание № 1

По заданному содержанию углерода, используя ГОСТы на материал (прил. Д, Е, Ж), определить марку стали, указать ГОСТ на эту сталь, характеристики механических свойств и применение. Область применения можно определить согласно сведениям, приведенным в табл. 12.3, 12.4, 12.5.

Все данные заполнить в виде рекомендуемой табл. 12.7.

Задание № 2

По заданной марке стали, используя ГОСТы на материал (прил. Д, Е, Ж), определить содержание углерода, указать ГОСТ на эту сталь, характеристики механических свойств и применение подобно заданию № 1.

Все данные заполнить в виде рекомендуемой табл. 12.7.

Задание № 3

Используя настоящую методику, ответить на контрольные вопросы, номер вопроса указан в варианте задания табл. 12.6.

Задание № 4

Расшифровать марку стали по ее написанию, указать ГОСТ на материал и назначение согласно этому ГОСТу.

Задание № 5

Расшифровать марку стали по ее написанию, указать назначение и расшифровать все цифры и буквы входящие в эту марку.

Таблица 12.6

Варианты заданий

№ варианта	Задание № 1	Задание № 2	Задание № 3	Задание № 4	Задание № 5
1	2	3	4	5	6
1	0,06...0,12 0,57...0,65 0,76...0,83	БСт0 У13 20	21 23 25	У7 45 Ст1пс	S355JO C10
2	0,05...0,12 0,38...0,49 1,06...1,13	ВСт3 45 У7А	9 20 26	20 У8 Ст3пс	P265B C10GPb
3	1,26...1,34 0,28...0,37 0,17...0,24	БСт3кп У9 55	12 9 25	У13 35 Ст3сп	P235N 16NiCr4
4	0,42...0,50 0,14...0,22 0,76...0,83	Ст5пс 08кп У12А	1 8 11	55 У9 Ст4пс	P235Q 14NiCr10
5	0,66...0,73 0,38...0,49 0,86...0,93	Ст6пс 10 БСт2	5 24 29	08 У12 БСт3пс	P235S C10E
6	0,14...0,22 0,07...0,14 0,96...1,03	БСт1кп 40 У13А	2 10 30	45 У7 Ст1сп	P235M 20NiCrMo2-2
7	0,06...0,12 0,52...0,60 0,66...0,73	Ст6пс 10кп У11	3 17 31	У13А 10кп Ст1кп	S355KR 17CrNi 6-6
8	0,06...0,12 0,81...0,89 1,26...1,34	У7 Ст4 30	1 19 32	20 У8А Ст2кп	S355LR 13Cr2
9	0,12...0,19 0,28...0,37 0,37...0,45	У7 У12 Ст0	13 10 33	У7А 35 Ст4	L360M 20CrMo5
10	0,27...0,35 0,09...0,15 0,38...0,49	У8 Ст5сп 08	14 20 34	10 У8А Ст5пс	L360N 22CrMoS3-5
11	0,42...0,50 0,86...0,93 0,96...1,03	Ст1пс 10 60	15 19 35	15 У9А Ст4пс	L360Q 25MoCr4
12	0,47...0,55 1,06...1,13 0,17...0,24	Ст2кп 35 У8	4 21 36	У10Ш 25 Ст6	E295 20MnCr5
13	0,76...0,83 0,12...0,19 0,06...0,12	У11А 25 БСт4пс	18 25 37	У11 Ст5сп 08	E365 18NiCr5-4

Продолжение табл. 12.6

1	2	3	4	5	6
14	0,28...0,37 1,16...1,23 0,37...0,45	18кп У7А БСт1сп	16 10 38	Ст3пс У7 08	E276 15CrMo5
15	0,28...0,37 0,37...0,45 0,12...0,19	У7 Ст0 У12	7 24 39	Ст1пс 20 У8А	Y1770C 20Cr5
16	0,96...1,03 0,86...0,93 0,42...0,50	10 Ст1пс 60	8 11 19	35 Ст3сп У7А	Y1770H 14NiCr10
17	1,16...1,23 0,37...0,45 0,28...0,37	У7А ВСт1сп 18кп	9 14 41	У9 Ст0 55	Y1770Q C16E
18	0,38...0,49 1,06...1,13 0,05...0,12	45 У7А БСт3пс	21 25 41	БСт3пс У12А 08	Y1770S 23CrMoB3-3
19	0,14...0,22 0,76...0,83 0,42...0,50	08кп У12 Ст5	36 17 22	У7А 45 Ст1сп	R0880Mn 34CrAl6
20	0,38...0,49 0,66...0,73 0,86...0,93	ВСт2 15 Ст6пс	13 25 26	Ст6сп 10кп У13	R0990C 34CrAlS5
21	0,52...0,60 0,06...0,12 0,66...0,73	20пс Ст6пс У11	10 24 27	10 Ст4пс У13	H420M 41CrMo12
22	0,66...0,73 0,17...0,24 0,38...0,49	У12 08 БСт4сп	3 17 28	У10А Ст6сп 55	H300P 10S20
23	0,05...0,12 0,12...0,20 0,28...0,37	У9 ВСт3сп 40	5 18 29	11кп Ст6 У12А	H256B 35SPb20
24	0,57...0,65 0,76...0,83 0,06...0,12	20 У12 Ст0	12 19 30	Ст3пс У7 55	H270M 15S22
25	0,81...0,89 1,26...1,34 0,09...0,15	Ст4 30 У7	2 20 31	15пс Ст1кп У12	H287Y 11SMn37
26	0,28...0,37 0,37...0,45 0,12...0,19	У12 Ст0 60	1 10 23	Ст2 05кп У9А	T266 34CrAl6
27	0,09...0,15 0,27...0,35 0,38...0,49	Ст5пс 08 У7	15 21 33	ВСт3 У12 08	T660 C10Pb

Окончание табл. 12.6

1	2	3	4	5	6
28	0,22...0,30 0,86...0,93 0,96...1,03	10 Ст1кп 60	18 16 34	Ст4пс 05 У9	T550 20CrMo5
29	1,06...1,13 0,17...0,24 0,47...0,55	У8 Ст2кп 35	7 24 35	Ст0 У7 10кп	T460 34CrAl6
30	1,16...1,23 0,37...0,45 0,18...0,27	У7 18кп Ст1кп	21 25 36	Ст1кп У9А 11кп	Д12Д 15Cr3
31	0,28...0,37 0,86...0,93 0,07...0,14	08 кп У7 Ст3сп	5 17 35	11кп БСт3пс У7А	C12ЕК 10NiCr5-4
32	0,42...0,5 1,06...1,13 0,06...0,12	БСт6пс У9 40	1 18 34	ВСт2 05кп У13	X17H 15CrMo5
33	0,38...0,49 0,96...1,03 0,05...0,12	15кп У13А Ст4кп	2 19 31	18кп Ст0 У12А	L360Q 15S22
34	0,12...0,19 0,14...0,22 0,81...0,89	18кп У10А ВСт3пс	4 20 32	АСт5 08пс У11	P265N 15NiCr5
35	0,57...0,65 0,18...0,27 0,66...0,73	20 Ст6пс У11	8 21 33	БСт4сп 55 У13	S355J0 60SPb20

Порядок оформления отчета

Отчет по практической работе должен содержать:

- 1) формулировку цели работы;
- 2) краткую теоретическую часть с перечислением ГОСТа на углеродистые стали и принципов классификации;
- 3) выписки задания согласно варианту;
- 4) практическую часть, состоящую из пяти заданий, перед выполнением каждого задания четко формулировать его задачу, задание № 1, № 2 оформить в виде рекомендуемой табл. 12.7.

Таблица 12.7

*Зависимость применения углеродистых сталей от химического состава
и механических свойств*

№ п/п	Содержание углерода	Марка стали и ГОСТ	Прочностные характеристики			Характери- стики пла- стичности δ %, ψ %	Ударная вязкость a_H , $\frac{\text{кгс} \cdot \text{м}}{\text{см}^2}$	При- ме- чание
			σ_B , $\frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$	σ_T , $\frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$	НВ			
Зад. № 1								
Зад. № 2								

Контрольные вопросы

1. Что называется углеродистой сталью?
2. Как разделяются по качеству углеродистые конструкционные стали?
3. Как разделяются по качеству углеродистые инструментальные стали?
4. Как маркируются углеродистые конструкционные стали?
5. Как маркируются углеродистые качественные инструментальные стали?
6. Как маркируются углеродистые высококачественные инструментальные стали?
7. В каких сталях меньше вредных примесей: в сталях обыкновенного качества, в сталях качественных и высококачественных?
8. Что указывает буква А в конце марки стали?
9. Как раскисление стали указывается в маркировке?
10. Какая сталь будет более твердой: сталь 10, сталь 10кп, сталь 10пс?
11. Назвать марку стали, имеющей 0,3%С, 0,5%С, 1,2%С.
12. Как подразделяются углеродистые стали по назначению?
13. Что такое доэвтектоидная, эвтектоидная и заэвтектоидная сталь?
14. Какая реакция протекает при процессе кипения стали?
15. На каком оборудовании определяют ударную вязкость?
16. Из каких марок изготавливают инструмент, работающий в условиях динамических нагрузок?
17. Какая из указанных марок поставляется по механическим свойствам: ВСт2, Ст2, БСт3?
18. Укажите содержание углерода в следующих марках: сталь 08, сталь 15, У8А, У8, БСт6.
19. Какая сталь будет более прочной: сталь 15 или сталь 50?
20. Какая сталь более пластичная: сталь 10 или У10?

21. Какая сталь более твердая: сталь 10 или У10?
22. Какая сталь будет иметь большую ударную вязкость: У12 или сталь 55?
23. В каких инструментальных сталях меньше всего вредных примесей: в качественных или высококачественных?
24. Чем отличается сталь 08кп от стали 08?
25. Что влияет на твердость стали?
26. Какие свойства относят к механическим свойствам материалов?
27. Что такое деформация?
28. Какие виды деформации бывают?
29. Что называют упругой деформацией?
30. Что называют пластической деформацией?
31. Что такое напряжение?
32. Что такое прочность?
33. Какие виды испытаний материалов на механические свойства бывают?
34. Чем характеризуются статические и динамические испытания?
35. В каких координатах получается машинная кривая растяжения?
36. Укажите на кривой растяжения характерные участки деформирования образца.
37. При каких испытаниях определяется σ_s ?
38. Перечислите характеристики прочностных свойств материалов.
39. Перечислите характеристики пластических свойств материалов?
40. Что называют твердостью?
41. Укажите способы измерения твердости.
42. Как измеряют ударную вязкость?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Цель работы

1. Ознакомиться с технологией изготовления деталей методом порошковой металлургии.
2. Освоить методику расчета навески порошка.
3. Научиться составлять технологический процесс.

Практическая работа студентов под контролем преподавателя по предмету «Технологические процессы в машиностроении» предполагает изучение технологических процессов машиностроительного производства, работу с конструкторскими чертежами деталей, работу с государственными стандартами (ГОСТ) и отраслевыми стандартами (ОСТ). В соответствии с ГОСТ выбираются материалы. Эскизы и технологические процессы оформляются согласно правил ЕСКД (Единая система конструкторской документации) и ЕСТД (Единая система технологической документации). В результате выполнения лабораторной работы студент приобретает навыки работы с технической документацией и составления технологического процесса.

Теоретическая часть

Порошковой металлургией называют область техники, которая занимается изготовлением изделий из металлических порошков или смесей металлических и неметаллических порошков.

Отличительной особенностью порошковой металлургии является, то, что исходным материалом является порошок, а его превращение в изделие происходит без расплавления основы в результате спекания прессованных заготовок.

Технология получения изделий методом порошковой металлургии включает следующие этапы: производство и сортировка порошков, приготовление смеси порошков (шихты), формование изделий из смеси порошков, спекание изделия для придания ему необходимой прочности, окончательная обработка спеченного изделия (пропитка, механическая обработка, калибровка, уплотняющее обжигание, термообработка и др.).

Существуют отклонения от этих типичных элементов технологии. Например, процессы формования и спекания можно совместить в одной операции; спеченный пористый брикет пропитывают расплавленным металлом. Могут быть и другие отклонения от указанной схемы, однако

использование исходной порошкообразной шихты и спекание при температуре ниже точки плавления основного компонента остается неизменным.

Главным достоинством метода порошковой металлургии является то, что он позволяет получать материалы, которые невозможно получить другими методами: пористые изделия (фильтры); самосмазывающиеся подшипники скольжения (пористая металлическая основа, пропитанная минеральным маслом, серой, сульфидами и другими веществами); композиционные материалы из металлов и неметаллов типа бронза-графит; износостойкие, жаропрочные материалы из тугоплавких карбидов, нитридов, боридов, силицидов и фосфидов; материалы с заданными электрическими, магнитными и другими свойствами.

Промышленность выпускает различные металлические порошки: железный, медный, никелевый, хромовый, кобальтовый, вольфрамовый, молибденовый, титановый и др. Способы получения порошков условно разделяются на две основные группы: механические и физико-химические.

При механических способах получения порошка исходный продукт (например, стружка) измельчается без изменения химического состава в специальных мельницах или путем распыления расплавленных металлов. К физико-химическим методам получения порошков относятся: восстановление химических соединений, электролиз, автоклавное осаждение и др.

Поведение металлических порошков при прессовании и спекании зависит от свойств порошков, которые, в свою очередь, определяются способами их получения.

Формование (прессование) – это придание заготовкам из порошка форм, размеров, плотности и механической прочности, необходимых для последующего изготовления изделий. Формование более чем другая операция лимитирует технологические возможности порошковой металлургии. Сложность происходящих при этом явлений делает необходимым проведение специальных операций по подготовке порошка к последующему уплотнению.

В практике порошковой металлургии металлические порошки чаще всего производят на специализированных заводах, поэтому невозможно учесть все требования потребителя в соответствии с техническими условиями на готовую продукцию. Даже когда порошки производят непосредственно сами потребители, некоторые дополнительные операции перед прессованием порошков необходимы. Основные операции при подготовке порошков к прессованию: отжиг, рассев и смешение.

Отжиг применяют с целью повышения пластичности порошков, а следовательно, для улучшения прессуемости и формуемости. При отжиге снимается наклеп, и происходит восстановление окислов. Нагрев осуществляют в защитной атмосфере при температуре

$$t_{\text{отжига}} = (0,4 \dots 0,6) t_{\text{плавления}}.$$

Рассев – это разделение порошков по величине частиц на фракции, используемые затем либо непосредственно для формования, либо для составления смеси, содержащей требуемый процент частиц нужного размера. Порошки разделяют на фракции при помощи вибрационных сит или воздушных сепараторов. Рассев чаще всего производят на заводах-изготовителях порошков.

Смешивание порошковых материалов производят в специальных смесительных установках: шаровых мельницах, шнековых и лопастных смесителях. Очень важно обеспечить однородность смеси, так как от этого во многом зависят конечные свойства изделий. В состав смешиваемых порошков добавляют смазку (стеарат цинка, парафин и др.) для улучшения прессуемости.

Прессование представляет собой формование тел путем приложения давления к порошку в закрытой металлической форме (пресс-форме) или оболочке. Для прессования используют прессы гидравлические и механические, одно- и двухстороннего прессования.

После прессования, для придания заготовкам прочности, производят спекание в печах с защитной атмосферой при температуре

$$t_{\text{спекания}} = (0,6 \dots 0,9) t_{\text{плавления}}.$$

Время выдержки после достижения температуры спекания по всему сечению составляет 30...90 мин. Спекание может быть твердофазным и жидкофазным, но при этом не происходит расплавления основного компонента спекаемого материала. При спекании происходит увеличение плотности порошковых изделий. Для повышения физико-механических свойств спеченных заготовок применяют повторное прессование и спекание. Спеченные материалы можно подвергать ковке, прокатке, штамповке при повышенных температурах. Обработка давлением позволяет снизить пористость материалов и повысить их пластичность.

На пути развития порошковой металлургии встречаются трудности, которые ограничивают масштабы производства. Прежде всего, это сравнительно высокая стоимость исходных порошков и инструмента для формования заготовок (пресс-форм), что делает экономически выгодным лишь крупномасштабное производство. Высокие давления, которые приходится использовать при прессовании, все еще ограничивают размер деталей, получаемых методом порошковой металлургии.

Низкая текучесть порошков затрудняет прессование изделий сложной формы. Ограничение размеров и массы изделий на операции прессования вызвано отсутствием прессов требуемой мощности, а также недостаточно высоким качеством крупных изделий, спрессованных в стальных пресс-формах. Один из эффективных способов преодоления указанных трудностей – применение изостатического прессования, представляющего собой прессование порошка в эластичной оболочке под действием всестороннего сжатия (вода, масло, аргон и др.). Существуют и другие методы формования: прокатка, мундштучное прессование, высокоскоростные методы формования (взрывное и др.).

Процесс прессования порошковых материалов, главной целью которого является получение брикетов с размерами и формой, необходимыми для получения готовых изделий, складывается из следующих операций:

- 1) расчет навески и дозировка шихты;
- 2) засыпка шихты в матрицу пресс-формы;
- 3) прессование;
- 4) удаление брикета из пресс-формы.

Дозирование (выделение определенной порции порошка) осуществляют весовым или объемным способом. При объемном дозировании требуемое количество порошка отмеряется специальной меркой или путем заполнения порошком полости матрицы пресс-формы, отрегулированной на определенный объем. Правильность выбора навески порошка – одно из важных условий изготовления изделия заданной формы и размеров.

Расчет навески порошка

Общепринятой является расчетная формула для величины навески

$$Q = \gamma_k \cdot V (1 - П/100) \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (13.1)$$

где Q – навеска порошка, г; γ_k – плотность беспористого (компактного) материала, г/см³; V – объем изделия после спекания, см³; $П$ – фактическая пористость спеченного изделия, %; K_1 – коэффициент, учитывающий потери порошка при прессовании и зависящий от точности изготовления деталей пресс-формы, 1,005...1,01; K_2 – коэффициент, учитывающий потерю массы прессовкой при спекании в результате восстановления оксидов и удаления примесей, в том числе и смазки, 1,01...1,03.

При прессовании смесей разнородных компонентов их плотность определяют по правилу аддитивности, г/см³

$$\gamma_k = \frac{100}{\frac{a_1}{\gamma_1} + \frac{a_2}{\gamma_2} + \dots + \frac{a_n}{\gamma_n}}, \quad (13.2)$$

где $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_n$ – плотности отдельных компонентов, г/см³; a_1, a_2, a_n – содержание отдельных компонентов в смеси, % (по массе).

Вместо расчета аддитивной плотности в качестве γ_k можно принять результат прямого определения пикнометрической плотности спеченного материала.

Пример: необходимо рассчитать при прессовании навеску порошка материала ЖГр1ДЗ (96 % Fe, 1 % С и 3 % Cu), обеспечивающую получение цилиндрической детали диаметром и высотой 20 мм с конечной пористостью 20 %. По формуле найдем аддитивную плотность указанного материала, приняв плотности Fe, С и Cu равными соответственно 7,8; 2,2 и 8,8 г/см³:

$$\gamma_k = \frac{100}{\frac{96}{7,8} + \frac{1}{2,2} + \frac{3}{8,8}} = \frac{100}{12,308 + 0,454 + 0,341} = 7,63 \text{ г/см}^3. \quad (13.3)$$

Определим объем спеченной детали

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 2 = 6,28 \text{ см}^3, \quad (13.4)$$

где $D = 2$ см – диаметр детали; $h = 2$ см – высота детали.

Принимаем значения коэффициентов K_1 и K_2 равными соответственно 1,01 и 1,02. По формуле рассчитываем требуемую навеску

$$Q = 7,63 \cdot 6,28 \cdot \left(1 - \frac{20}{100}\right) \cdot 1,01 \cdot 1,02 = 39,49 \text{ г}. \quad (13.5)$$

Объем деталей определяется по геометрическим формулам в зависимости от формы детали.

Плотность различных компонентов:

железо – 7,87 г/см ³ ;	фосфор – 2,4 г/см ³ ;	молибден – 10,2 г/см ³ ;
медь – 8,96 г/см ³ ;	марганец – 7,44 г/см ³ ;	титан – 4,5 г/см ³ ;
углерод – 2,2 г/см ³ ;	никель – 8,91 г/см ³ ;	кремний – 2,34 г/см ³ .
сера – 2,07 г/см ³ ;	хром – 7,19 г/см ³ ;	

Технологический процесс

На Юргинском машиностроительном заводе из железных порошков изготавливают детали погрузчика и крана. Детали изготавливаются из порошковых материалов следующих марок: ПСт 3, ПСт 6, ЖГр1ДЗ, ЖГр1, бронзографита.

Технологические процессы изготовления деталей из железных порошков, освоенные на Юргинском машиностроительном заводе, представляют следующее:

Техпроцесс № 1

Деталь – гайка (КС 4361А 44-591) – материал ПСт6. Операции:

1. Приготовление шихты.
2. Холодное прессование.
3. Спекание.
4. Термообработка (закалка + отпуск).
5. Галтовка.
6. Дробеочистка.
7. Контроль готовой детали (плотность 6,8 г/см³).

Техпроцесс № 2

Деталь – гайка специальная (ПЭК 01.816) – материал ЛСт6. Операции:

1. Приготовление шихты.
2. Холодное прессование.
3. Спекание.
4. Нагрев детали в индукторе.
5. Горячая штамповка.
6. Нормализация.
7. Галтовка.
8. Дробеочистка.
9. Контроль готовой детали (плотность 7,5 г/см³).

Техпроцесс № 3

Деталь – пластик (КС 4361А 47-209) – материал ПСт3. Операции:

1. Приготовление шихты.
2. Холодное прессование.
3. Спекание.
4. Нагрев детали в индукторе.
5. Горячая штамповка.
6. Галтовка.
7. Дробеочистка.
8. Контроль готовой детали (плотность 7,6 г/см³).

Техпроцесс № 4

Деталь – поршень (ПЭК 34.101) – материал ЖГр1ДЗ. Операции:

1. Приготовление шихты.
2. Холодное прессование.
3. Спекание ($T = 1140\text{ }^{\circ}\text{C}$).
4. Контроль готовой детали (плотность 6,25...6,5 г/см³).

Техпроцесс № 5

Деталь – втулка, материал – бронзо-графит (медь 86 %, олово 10 %, углерод 4 %). Операции:

1. Приготовление шихты.
2. Прессование.
3. Спекание ($T = 740^\circ$).
4. Калибровка (для получения более точных размеров).
5. Пропитка маслом $T = 80 \dots 100^\circ\text{C}$, в теч. 2 час).
6. Контроль готовой детали (плотность 6,0...6,5 г/см).

В данных техпроцессах подготовку шихты производят в специальных барабанных смесителях. Холодное прессование осуществляется в пресс-формах на гидравлических или механических прессах. Спекание заготовок производят в электрических печах, в среде эндогаза при 1140°C . Эндогаз получают из природного газа на специальной установке. Для получения более высокой плотности деталей предусмотрено повторное горячее прессование. Для этого заготовку нагревают в высокочастотном индукторе до температуры $800 \dots 1000^\circ\text{C}$ и прессуют на гидравлическом или механическом прессе. При необходимости назначается термообработка деталей. Для удаления заусенцев, образовавшихся при повторном горячем прессовании, и для удаления окалины предусмотрены галтовка и дробеочистка.

В некоторые изделия добавляют медный порошок, как более легкоплавкая составляющая ($T_{\text{пл}} = 1083^\circ\text{C}$), которая при спекании расплавляется. Наиболее характерной чертой спекания с участием жидкой фазы является большая степень уплотнения по сравнению со спеканием в твердой фазе. Образовавшаяся жидкая фаза заполняет поры, и происходит перегруппировка частиц под действием сил поверхностного натяжения.

Детали, полученные методом порошковой металлургии, хорошо свариваются при плотности $7,6 \text{ г/см}^3$, поэтому в техпроцессе изготовления свариваемых деталей предусмотрено повторное горячее прессование. При сварке деталей с плотностью менее $7,6 \text{ г/см}^3$ формируется рыхлый, с низкой прочностью, сварной шов.

Технологические возможности порошковой металлургии имеют ограничения. На стадии прессования заготовок в жестких формах высокое давление прессования ограничивает размеры деталей, получаемых методом порошковой металлургии. Низкая текучесть порошков затрудняет прессование изделий сложной формы. В конструкциях деталей выступы, пазы и отверстия должны располагаться в направлении прессования.

В порошковой металлургии до сих пор производят порошковые материалы по составу, и детали по конфигурации представляют собой копию того, что создается литьем, прокаткой и последующей станочной обработкой. Необходимо же научно обоснованное конструирование порошковых изделий и разработка рациональной технологии их изготовления.

Порядок выполнения работы

1. Начертить эскиз детали с размерами.
2. Указать исходные данные согласно варианта задания: материал детали, пористость.
3. Рассчитать массу детали по геометрическим формулам. Принять теоретическую плотность стали $\rho = 7,85 \text{ г/см}^3$.
4. Рассчитать навеску порошка. Химический состав материала определить согласно выписки из ОСТ 92-1744-87 или ГОСТ 13084-88. Плотность компонентов, входящих в состав материала детали, определить из справочной литературы.
5. Составить технологический процесс получения детали с указанием оборудования и контроля качества. За основу взять заводской технологический процесс.

Структура отчета по лабораторной работе и правила его оформления

Отчет является документом, свидетельствующим о выполнении студентом лабораторной работы, и должен включать:

- титульный лист согласно прил. А к настоящему учебному пособию;
- цель выполненной лабораторной работы;
- основную часть (краткая постановка задач лабораторной работы, краткая характеристика объекта исследования, методика выполнения лабораторной работы);
- обсуждение результатов выполнения лабораторной работы в виде кратких, но принципиально необходимых доказательств, обоснований, разъяснений, анализов, оценок, обобщений и выводов;
- общий вывод.

Внимание! Оформление отчета по лабораторной работе выполняется в соответствии с требованиями СТО ТПУ.

Таблица 13.1

Марки, химический состав порошковых материалов на основе железа ОСТ 92-1744-87

Марка и назначение материала	Углерод, %		Медь, %	Никель, %	Фосфор, %,не более	Кремний, %	Марганец, %
	общий	свободный					
КонструкционныеСП10	0,15...0,20	От 0 до 0,05	—	—	—	—	—
СП30 (ПСт3)	0,25...0,30		—	-	0,03	0,3	0,5
СП50	0,44...0,55	От 0 до 0,1		—	0,05	0,5	0,7
СП70 (ПСт6)	0,50...0,80			—			
СП90 (ЖГр1)	0,80...1,10	От 0 до 0,15		—			
СП10Д3	0,10...0,15	От 0 до 0,05	2,0...3,0	—			
СП30Д3	0,15...0,20			—			
СП50Д3	0,25...0,35			—			
СП70Д3	0,30...0,50			—			
СП90Д3 (ЖГр1Д3)	0,60...0,90	От 0 до 0,10		—			
СП50ДВ	0,25...0,35	От 0 до 0,05	7,5...8,5	—			
СП70ДВ	0,30...0,60			—			
СП90ДВ	0,60...0,90	От 0 до 0,15		—			
СП30Д3Ф	0,20...0,30	от 0 до 0,05	2...3		0,3		
СП150Д2,5	1,10...1,60	от 0 до 0,20	2,0...2,5		0,05	0,5	0,7
СП60Н2Д2	0,50...0,70	от 0 до 0,10	1,5...2,5	1,5...2,5			
СП60Н	0,55...0,65			0,8...1,1			
СП60Н3				2,5...3,5			
СП30Н3М	0,25...0,35	от 0 до 0,05					
СП60Н3М	0,55...0,65			2,5...3,5			
СП20Х	0,15...0,20						
СП40Х	0,35...0,45						
СП45Х3	0,40...0,5.						

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология конструкционных материалов : учебник для вузов / А.М. Дальский, И.А. Арутюнова, Т.М. Барсукова и др. ; под общ. ред. А.М. Дальского. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1985. – 448с., ил.
2. Технология металлов / под ред. Б.В. Кнорозова. – Москва : Металлургия, 1978. – 904 с.
3. Технология конструкционных материалов / А.М. Дальский, В.С. Гаврилюк, Л.Н. Бухаркин и др. ; под общ. ред. А.М. Дальского. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1990. – 352., ил.
4. Материаловедение и технология металлов : учебник для студентов машиностроит. спец. вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карыман, В.М. Матюнин и др.; под ред. Г.П. Фетисова. – Москва : Высш. шк., 2002. – 638 с.: ил.
5. Металловедение и технология металлов : учебник для вузов / Ю.П. Солнцев, В.А. Веселов, В.П. Демянцевич и др. – Москва : Металлургия, 1988. – 512с.
6. Технология металлов и материаловедение / под ред. Л.Ф. Усовой. – Москва : Металлургия. 1987. – 800 с.
7. Лахтин Ю.М. Материаловедение : учебник для высших технических учебных заведений / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьев. – Москва : Машиностроение, 1990. – 528 с., ил.
8. Гуляев А.П. Металловедение : учебник для вузов / А.П. Гуляев. – Москва : Металлургия, 1986. – 544 с.
9. Геллер Ю.А. Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи : учебное пособие для вузов / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштад. – Москва : Металлургия, 1989. – 456 с.
10. Материаловедение : учебник для вузов / О.В. Травин, Н.Г. Травина – Москва : Металлургия, 1989. – 384 с.
11. Металловедение : учебник для техникумов / А.И. Самохоцкий, М.Н. Кунявский и др. – Москва : Металлургия, 1990. – 416 с.
12. Богодухов С.И. Курс материаловедения в вопросах и ответах : учебное пособие / С.И. Богодухов, В.Ф. Гребенюк, А.В. Синюхин. – Москва : Издательство «Машиностроение», 2003. – 256 с.
13. Апасов А.М. Материаловедение : учебное пособие / А.М. Апасов, Г.В. Галевский, В.И. Данилов. – Томск : Издательство ТПУ, 2005. – 622 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Форма титульного листа отчета по лабораторной работе

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Механико-машиностроительный факультет
Кафедра сварочного производства

(наименование учебной дисциплины)

Лабораторная работа № ____

(Название работы – прописными буквами)

Исполнитель

Студент гр. № _____ И.О. Фамилия
(подпись, дата)

Руководитель

(должность, ученая степень, звание) _____ И.О. Фамилия
(подпись, дата)

Юрга 20 ____

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Выписка из ГОСТ 1412-85

Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки

Настоящий стандарт распространяется на чугун с пластинчатым графитом для отливок и устанавливает его марки, определяемые на основе временного сопротивления чугуна при растяжении.

1.1. Для изготовления отливок предусматриваются следующие марки чугуна: СЧ10, СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35.

По требованию потребителя для изготовления отливок допускаются марки чугуна СЧ18, СЧ21 и СЧ24.

1.2. Условное обозначение марки включает буквы СЧ – серый чугун и цифровое обозначение минимального временного сопротивления при растяжении в МПа 10^{-1} .

Пример условного обозначения: СЧ15 ГОСТ 1412-85.

Таблица Б.1

Механические свойства

Марка чугуна	Марка чугуна по СТ СЭВ 4550-84	Временное сопротивление при растяжении σ_B , МПа, не менее
СЧ10	31110	100
СЧ15	31115	150
СЧ18	—	180
СЧ20	31120	200
СЧ21	—	210
СЧ24	—	240
СЧ25	31125	250
СЧ30	31130	300
СЧ35	31135	350

Таблица Б.2

Марки и химический состав

Марка Чугуна	Массовая доля элементов, %				
	Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера
				Не более	
СЧ10	3,5...3,7	2,2...2,6	0,5...0,8	0,3	0,15
СЧ15	3,5...3,7	2,0...2,4	0,5...0,8	0,2	0,15
СЧ20	3,3...3,5	1,4...2,4	0,7...1,0	0,2	0,15
СЧ25	3,2...3,4	1,4...2,2	0,7...1,0	0,2	0,15
СЧ30	3,0...3,2	1,3...1,9	0,7...1,0	0,2	0,12
СЧ35	2,9...3,0	1,2...1,5	0,7...1,1	0,2	0,12

Таблица Б.3

Ориентировочные данные о временном сопротивлении при растяжении и твердости в стенках отливки различного сечения

Марка чугуна	Толщина стенки отливки, мм						
	4	8	15	30	50	80	150
Временное сопротивление при растяжении, МПа, не менее							
СЧ10	140	120	100	80	75	70	65
СЧ15	220	180	150	110	105	90	80
СЧ20	270	220	200	160	140	130	120
СЧ25	310	270	250	210	180	165	150
СЧ30	–	330	300	260	220	195	180
СЧ35	–	380	350	310	260	225	205
Твердость НВ, не более							
СЧ10	205	200	190	185	156	149	120
СЧ15	241	224	210	201	163	156	130
СЧ20	255	240	230	216	170	163	143
СЧ25	260	255	245	238	187	170	156
СЧ30	–	270	260	250	197	187	163
СЧ35	–	290	275	270	229	201	179

Таблица Б.4

Физические свойства чугуна с пластинчатым графитом

Марка чугуна	Плотность P , кг/м ³	Линейная усадка ϵ , %	Модуль упругости при растяжении, $\cdot 10^{-2}$ мпа	Удельная теплоемкость при температуре от 20 до 200 °С, Дж (кг·К)	Коэффициент линейного расширения при температуре от 20 до 200 °С, Δ , 1/°С	Теплопроводность при 20 °С, Λ , Вт (м·К)
СЧ10	$6,8 \cdot 10^3$	1,0	от 700 до 1100	460	$8,0 \cdot 10^{-6}$	60
СЧ15	$7,0 \cdot 10^3$	1,1	от 700 до 1100	460	$9,0 \cdot 10^{-6}$	59
СЧ20	$7,1 \cdot 10^3$	1,2	от 850 до 1100	480	$9,5 \cdot 10^{-6}$	54
СЧ25	$7,2 \cdot 10^3$	1,2	от 900 до 1100	500	$10,0 \cdot 10^{-6}$	50
СЧ30	$7,3 \cdot 10^3$	1,3	от 1200 до 1450	525	$10,5 \cdot 10^{-6}$	46
СЧ35	$7,4 \cdot 10^3$	1,3	от 1300 до 1550	545	$11,0 \cdot 10^{-6}$	42

ВЫПИСКА ИЗ ГОСТ 1215-79

Отливки из ковкого чугуна. Общие технические условия

Настоящий стандарт распространяется на отливки из ковкого чугуна, изготовленные из белого чугуна и подвергнутые термической обработке с целью получения необходимых механических свойств и микроструктуры, состоящие из феррита и перлита в различных соотношениях и углерода отжига.

Марки

В зависимости от состава микроструктуры металлической основы ковкий чугун делят на ферритный (Ф) и перлитный (П) классы.

Отливки изготовляют из ковкого чугуна следующих марок: КЧ 30-6; КЧ 30-8; КЧ 35-10; КЧ 37-12 ферритного класса, характеризующегося ферритной или ферритно-перлитной микроструктурой металлической основы.

КЧ 45-7; КЧ 50-5; КЧ 55-4; КЧ 60-3; КЧ 65-3; КЧ 70-2; КЧ 80-1,5 перлитного класса, характеризующегося в основном перлитной микроструктурой металлической основы.

Сортамент

Формы и размеры отливок должны соответствовать чертежам, утвержденным в установленном порядке.

Предельные отклонения по размерам и массе, припуски на механическую обработку должны соответствовать требованиям ГОСТ 26645-85, формовочные уклоны – требованиям ГОСТ 3212-80.

Примеры условных обозначений

Отливка из ковкого чугуна марки КЧ 30-6 ферритного класса:

Отливка КЧ 30-6 Ф ГОСТ 1215-79.

Отливка из ковкого чугуна марки КЧ 60-3 перлитного класса:

Отливка КЧ 60-3 П ГОСТ 1215-79.

Технические требования

1. Отливки из ковкого чугуна должны изготовляться в соответствии с требованиями ГОСТ 26358-84, нормативно-технической документации (НТД) на конкретные отливки по чертежам, утвержденным в установленном порядке.

2. Механические свойства чугуна ферритного и перлитного классов должны соответствовать требованиям, указанным в табл. В.1.

3. На поверхности отливок из ковкого чугуна допускаются перлитная кайма и обезуглероженный слой суммарной толщиной до 1,2 мм.

Таблица В.1

Механические свойства

Марка ковкого чугуна ферритного и перлитного класса	Временное сопротивление разрыву, МПа, не менее	Относительное удлинение, % не менее	Твердость по Бринеллю НВ
КЧ 30-6	294	6	100...163
КЧ 33-8	323	8	100...163
КЧ 35-10	333	10	100...163
КЧ 37-12	362	12	110...163
КЧ 45-7	441	7	150...207
КЧ 50-5	490	5	170...230
КЧ 55-4	539	4	192...241
КЧ 60-3	588	3	200...269
КЧ 65-3	637	3	212...269
КЧ 70-2	686	2	241...285
КЧ 80-1,5	784	1,5	270...320

Таблица В.2

Марки и химический состав

Марка чугуна	Способ выплавки	Химический состав, %						
		Углерод	Кремний	Массовая доля углерода и кремния	Марганец	Фосфор	Сера	Хром
Ферритного класса								
КЧ 30-6 КЧ 33-8	Вагранка	2,6...2,9	1,0...1,6	3,7...4,2	0,4...0,6	0,18	0,20	0,08
КЧ 35-10	Вагранка- электропечь	2,5...2,8	1,1...1,3	3,6...4,0	0,3...0,6	0,12	0,20	0,06
КЧ 37-12	Электропечь- электропечь	2,4...2,7	1,2...1,4	3,6...4,0	0,2...0,4	0,12	0,06	0,06
Перлитного класса								
КЧ 45-7 КЧ 50-5	Вагранка- электропечь	2,5...2,8	1,1...1,3	3,6...3,9	0,3...1,0	0,10	0,20	0,08
КЧ 55-4 КЧ 60-3	Электропечь- электропечь	2,4...2,7	1,2...1,4	3,6...3,9	0,3...1,0	0,10	0,06	0,08

ВЫПИСКА ИЗ ГОСТ 7293-85

Чугун с шаровидным графитом для отливок

Настоящий стандарт распространяется на чугун для отливок, имеющий в структуре графит шаровидной или вермикулярной формы, и устанавливает марки чугуна, определяемые на основе механических свойств.

Стандарт полностью соответствует СТ СЭВ 4558-84.

1. Для изготовления отливок предусматриваются следующие марки чугуна: ВЧ 35; ВЧ 40; ВЧ 45; ВЧ 50; ВЧ 60; ВЧ 70; ВЧ 80; ВЧ 100.

2. Марка чугуна определяется его временным сопротивлением при растяжении и условным пределом текучести.

Условное обозначение марки включает буквы ВЧ – высокопрочный чугун и цифровое обозначение минимального значения временного сопротивления при растяжении в МПа $\cdot 10^{-1}$.

Пример условного обозначения: ВЧ 50 ГОСТ 7293-85.

Таблица Г.1

Механические свойства

Марка Чугуна	Временное сопротивление при растяжении σ_B , МПа	Условный предел текучести σ_{02} , МПа
	Не менее	
ВЧ 35	350	220
ВЧ 40	400	250
ВЧ 45	450	310
ВЧ 50	500	320
ВЧ 60	600	370
ВЧ 70	700	420
ВЧ 80	800	480
ВЧ100	1000	700

3. Относительное удлинение, твердость и ударная вязкость определяются при наличии требований в нормативно-технической документации и должны соответствовать нормам, приведенным в табл. Г.3. По согласованию между изготовителем и потребителем допускается устанавливать значения относительного удлинения, твердости и ударной вязкости, отличающиеся от указанных в табл. Г.3.

Таблица Г.2

Марки и химический состав чугуна

Марка Чугуна	Массовая доля элементов, %					
	Углерод			Кремний		
	Толщина стенки отливки, мм					
	До 50	Св. 50 до 100	Св. 100	До 50	Св. 50 до 100	Св. 100
ВЧ 35	3,3...3,8	3,0...3,5	2,7...3,2	1,9...2,9	1,3...1,7	0,8...1,5
ВЧ 40	3,3...3,8	3,0...3,5	2,7...3,2	1,9...2,9	1,2...1,7	0,5...1,5
ВЧ 45	3,3...3,8	3,0...3,5	2,7...3,2	1,9...2,9	1,3...1,7	0,5...1,5
ВЧ 50	3,2...3,7	3,0...3,3	2,7...3,2	1,9...2,9	2,2...2,6	0,8...1,5
ВЧ 60	3,2...3,6	3,0...3,3	—	2,4...2,6	2,4...2,8	—
ВЧ 70	3,2...3,6	3,0...3,3	—	2,6...2,9	2,6...2,9	—
ВЧ 80	3,2...3,6	—	—	2,6...2,9	—	—
ВЧ100	3,2...3,6	—	—	3,0...3,8	—	—
Марка чугуна	Массовая доля элементов, %					
	Марганец	Фосфор	Сера	Хром	Медь	Никель
ВЧ 35	0,2...0,6	0,1	0,02	0,05	—	—
ВЧ 40	0,2...0,6	0,1	0,02	0,1	—	—
ВЧ 45	0,3...0,7	0,1	0,02	0,1	—	—
ВЧ 50	0,3...0,7	0,1	0,02	0,15	—	—
ВЧ 60	0,4...0,7	0,1	0,02	0,15	0,3	0,4
ВЧ 70	0,4...0,7	0,1	0,015	0,15	0,4	0,6
ВЧ 80	0,4...0,7	0,1	0,01	0,15	0,6	0,6
ВЧ 100	0,4...0,7	0,1	0,01	0,15	0,6	0,8

Таблица Г.3

Относительное удлинение и твердость чугуна

Марка чугуна	Относительное удлинение δ , %, не менее	Твердость по Бринеллю, НВ
ВЧ 35	22	140...170
ВЧ 40	15	140...202
ВЧ 45	10	140...225
ВЧ 50	7	153...245
ВЧ 60	3	192...277
ВЧ 70	2	228...302
ВЧ 80	2	248...351
ВЧ 100	2	270...360

Примечание.

Чугун марки ВЧ 35 с шаровидным графитом должен иметь среднее значение ударной вязкости KCV не менее 21 Дж/см² при температуре плюс 20 °С и 15 Дж/см² при температуре минус 40 °С, минимальное значение ударной

вязкости должно быть не менее 17 Дж/см² при температуре плюс 20 °С и 11 Дж/см² при температуре минус 40 °С.

Чугун марки ВЧ 35 и ВЧ 40 с вермикулярным графитом должен иметь относительное удлинение δ не менее 1,0 %.

Методы испытаний

Испытания на растяжение проводят по ГОСТ 1497-84 на одном образце диаметром 14 мм с расчетной длиной 70 мм. Допускается применять образцы других размеров, если это оговорено в нормативно-технической документации или на чертеже отливки.

Испытания на ударную вязкость *KCV* проводят на трех образцах шириной 10 мм по ГОСТ 9454-78.

Определение твердости проводят по ГОСТ 24805-81.

ВЫПИСКА ИЗ ГОСТ 380-71

Сталь углеродистая общего назначения.

Марки и технические требования

Настоящий стандарт распространяется на углеродистую сталь общего назначения, горячекатаную – листовую, сортовую, фасонную, универсальную. В части норм химического состава стандарт распространяется также на слитки, блюмсы, слябы, сутунки, заготовки катаные и литые с машин непрерывного литья, трубы, поковки и штамповки, ленту, проволоку, метизы и гнутые профили проката.

1.1. В зависимости от назначения сталь подразделяется на три группы:

А – поставляемую по механическим свойствам;

Б – поставляемую по химическому составу;

В – поставляемую по механическим свойствам и химическому составу.

1.2. В зависимости от нормируемых показателей сталь каждой группы подразделяют на категории:

1, 2, 3 – группы А;

1, 2 – группы Б;

1, 2, 3, 4, 5, 6 – группы В.

Примечание. Указанные категории не распространяются на сталь толщиной менее 4 мм.

1.3. Сталь изготовляют следующих марок:

группы А – Ст0; Ст1; Ст2; Ст3; Ст3Г; Ст4; Ст5; Ст5Г; Ст6;

группы Б – БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт3Г, БСт4, БСт5, БСт5Г, БСт6;

группы В – ВСт1, ВСт2, ВСт3Г, ВСт4, ВСт5, ВСт5Г.

1.4. Сталь всех групп с номерами марок 1, 2, 3, 4 по степени раскисления изготовляют кипящей, полуспокойной и спокойной; с номерами 3Г, 5, 6 – полуспокойной и спокойной; 5Г – полуспокойной.

Буква Г указывает на повышенное содержание марганца в стали.

Стали марок Ст0 и БСт0 по степени раскисления не разделяют.

1.4.1. Степень раскисления всех групп выбирается предприятием-изготовителем, если она не указана в заказе.

1.5. Сталь марок ВСт1, ВСт2, ВСт3 всех категорий и всех степеней раскисления, в том числе и с повышенным содержанием марганца, а по требованию заказчика сталь марок БСт1, БСт2, БСт3 второй категории всех степеней раскисления, в том числе и с повышенным содержанием марганца, поставляется с гарантией свариваемости.

1.5.1. Свариваемость обеспечивается технологией изготовления и соблюдением всех требований, предъявляемых к стали группы Б по химическому составу, к стали группы В по химическому составу и механическим свойствам.

1.5.2. Поставка стали группы Б с гарантией свариваемости оговаривается в заказе и в документе о качестве буквами «св» после обозначения марки стали.

1.5.3. Сталь с содержанием углерода в готовом прокате более 0,22 % применяется для сварных конструкций при условиях сварки, обеспечивающих надежность сварного соединения.

1.6. Обозначение марок стали при заказе, клеймении, в документе о качестве, на чертежах и в другой документации – буквенно-цифровое.

1.6.1. Буквы Ст обозначают «сталь», цифры от 0 до 6 – условный номер марки в зависимости от химического состава стали и механических свойств, например: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3.

1.6.2. Буквы Б и В перед обозначением марки обозначают группу стали; группа А в обозначении марки стали не указывается, например: БСт3, ВСт3, Ст3.

1.6.3. Для обозначения степени раскисления к обозначению марки стали после номера марки и буквы Г добавляют индексы: кп – кипящая, пс – полуспокойная, сп – спокойная, например: Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, БСт3сп, ВСт3сп.

1.6.4. Для обозначения категории стали к обозначению марки добавляют в конце номер соответствующей категории, например: Ст3пс2, БСт3кп2, ВСт4пс2.

1.6.5. Первую категорию в обозначении марки стали не указывают, например: БСт3кп, ВСт3пс.

1.6.6. При заказе стали необходимой категории без указания степени раскисления в обозначении марки стали номер марки и категорию отделяют друг от друга тире, например: Ст3-2, БСт3-2.

Химический анализ стали по планочному анализу ковшевой пробы должен соответствовать нормам, указанным в табл. Д.2.

Примечания к табл. Д.1:

1. В стали, выплавленной на базе керченских руд, допускается массовая доля мышьяка до 0,15 %, фосфора до 0,050 %.

2. При раскислении полуспокойной стали алюминием, а также несколькими раскислителями, (ферросилицием и алюминием, ферросилицием и титаном и др.), массовая доля кремния в стали допускается менее 0,05 %. Раскисление титаном, алюминием и другими раскислителями, не содержащими кремния, указывается в сертификате.

3. Для проката из стали с номерами марок 3, 4, 5, 6 (всех степеней раскисления) толщиной до 12 мм включительно. Допускается снижение массовой доли марганца на 0,10 %.

4. Массовая доля азота в готовом прокате, а также в слитках, блюмах, слябах, сутунках и заготовках, предназначенных для дальнейшей прокатки, из кислородно-конверторной и мартеновской стали должна быть не более 0,008 %.

5. Для кипящей химически закупоренной стали в готовом прокате допускается массовая доля кремния до 0,15 %, за исключением случаев, когда сталь предназначена для холодной высадки и вытяжки или штамповки, что должно быть оговорено в заказе.

6. В стали, изготовленной скрап-процессом, допускается массовая доля меди до 0,40 % при массовой доле углерода не более 0,20 % и массовой доле хрома, никеля и меди в сумме не более 0,80 %.

Таблица Д.1

Механические свойства

Марка стали	Временное сопротивление, σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа для толщин, мм				Относительное удлинение δ_5 , % для толщин, мм			Изгиб до параллельности сторон (a – толщина образца, d – диаметр оправки) для толщин, мм	
		до 20	св.20 до 40	св.40 до 100	Св. 100	до 20	св.20 до 40	св. 40		
		не менее							до 20	св. 20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ст0	Не менее 300	–	–	–	–	23	22	20	$d=2a$	$d=3a$
Ст1кп	300...390	–	–	–	–	35	34	32	$d=0$	$d=a$
Ст1пс	310...410	–	–	–	–	34	33	31	$d=0$	$d=a$
Ст1сп	320...410	215 (22)	205	195	185	33	32	30	$d=0$	$d=a$
Ст2кп	330...430	225	215	205	195	32	31	29	$d=0$	$d=a$
Ст2пс	360...460	235	225	215	195	27	26	24	$d=0,5a$	$d=1,5a$
Ст2сп	370...480	245	235	225	205	26	25	23	$d=0,5a$	$d=1,5a$
Ст3кп	370...490	245	235	225	205	26	25	23	$d=0,5a$	$d=1,5a$
Ст3пс	390...570	–	245	–	–	–	24	–	–	$d=2a$
Ст3сп	400...510	255	245	235	225	25	24	22	$d=2a$	$d=3a$
Ст3Гпс	410...530	265	255	245	235	24	23	21	$d=2a$	$d=3a$
Ст3Гсп	490...630	285	275	265	255	20	19	17	$d=3a$	$d=4a$
Ст5пс	450...590	285	275	265	255	20	19	17	$d=3a$	$d=4a$
Ст5сп	Не менее 590	315	305	295	295	15	14	12	–	–
Ст6пс										
Ст6сп										

Таблица Д.2

Марки и химический состав

Марка стали	Массовая доля элементов, %								
	углерод	марганца	кремния	фосфора	серы	хрома	никеля	меди	мышьяка
				не более					
БСт0	Не более 0,23	—	—	0,07	0,06				
БСт1кп	0,06...0,12	0,25...0,50	не более 0,05	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт1пс	0,06...0,12	0,25...0,50	0,05...0,17	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт1сп	0,06...0,12	0,25...0,50	0,12...0,30	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт2кп	0,09...0,15	0,25...0,50	не более 0,07	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт2пс	0,09...0,15	0,25...0,50	0,05...0,17	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт2сп	0,09...0,15	0,25...0,50	0,12...0,30	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт3кп	0,14...0,22	0,30...0,60	не более 0,07	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт3пс	0,14...0,22	0,40...0,65	0,05...0,17	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт3сп	0,14...0,22	0,40...0,65	0,12...0,30	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт3Гпс	0,14...0,22	0,80...1,10	не более 0,15	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт3Гсп	0,14...0,22	0,80...1,10	0,12...0,30	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт4кп	0,18...0,27	0,40...0,70	не более 0,07	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт4пс	0,18...0,27	0,40...0,70	0,05...0,17	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт4сп	0,18...0,27	0,40...0,70	0,12...0,30	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт5пс	0,28...0,37	0,50...0,80	0,05...0,17	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт5сп	0,28...0,37	0,50...0,80	0,15...0,35	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт5Гпс	0,22...0,30	0,80...1,20	не более 0,15	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт6пс	0,38...0,49	0,50...0,80	0,05...0,17	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08
БСт6сп	0,38...0,49	0,50...0,80	0,15...0,35	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,08

ВЫПИСКА ИЗ ГОСТ 1050-88**Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой
поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали.****Общие технические условия**

Настоящий стандарт устанавливает общие технические условия для горячекатаного и кованого сортового проката из углеродистой качественной конструкционной стали марок 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58, (55кп) и 60 диаметром или толщиной до 250 мм, а также проката калиброванного и со специальной отделкой поверхности всех марок.

В части норм химического состава стандарт распространяется на другие виды проката, слитки, поковки, штамповки из стали марок, перечисленных выше, а также из стали марок 05кп, 08кп, 08пс, 10кл, 10пс, 11кп, 15кп, 15пс, 18кп, 20кп и 20пс.

Примечания:

1. По степени раскисления сталь обозначают: кипящую – кп, полуспокойную – пс, спокойную – без индекса.

Сталь марки 05кп не допускается к применению ко вновь создаваемой и модернизируемой технике.

1.1.1. Массовая доля серы в стали должна быть – не более 0,040 %, фосфора – не более 0,035 %.

Для стали марок 11кп и 18кп, применяемой для плакировки, массовая доля серы должна быть не более 0,035 %, фосфора – не более 0,030 %.

1.1.2. Остаточная массовая доля никеля в стали всех марок не должна превышать 0,30 %, меди в стали марок 11кп и 18кп – 0,20 %, в сталях остальных марок – 0,30 %.

1.1.3. В стали марок 35, 40, 45, 50, 55 и 60, предназначенной для изготовления патентированной проволоки, массовая доля марганца должна быть 0,30...0,60 %, никеля – не более 0,15 %, хрома – не более 0,15 %, меди – не более 0,20 %. Массовая доля серы и фосфора – соответственно требованиям стандартов на проволоку, но не превышает норм, приведенных в п. 1.1.1.

1.1.4. В стали марок 08кп, 10пс, 15пс и 20пс, предназначенной для изготовления листового проката и для холодной штамповки, допускается массовая доля марганца до 0,25 % по нижнему пределу.

1.1.5. В стали марок 08пс, 10пс, 15пс и 20пс допускается массовая доля кремния менее 0,05 % при условии применения других (кроме кремния) раскислителей в необходимых количествах.

1.1.6. В стали допускается массовая доля мышьяка не более 0,08 %.

1.1.7. Массовая доля азота в кислородно-конвертерной стали не должна превышать 0,006 % для тонколистового проката и ленты и 0,008 % – для остальных видов проката.

Таблица Е.1

Марки и химический состав

Марка стали	Массовая доля элементов, %			
	углерода	кремния	марганца	хрома, не более
05кп	не более 0,06	не более 0,03	не более 0,40	0,10
08кп	0,05...0,12	не более 0,03	0,25...0,50	0,10
08пс	0,05...0,11	0,05...0,17	0,35...0,65	0,10
08	0,05...0,12	0,17...0,37	0,35...0,65	0,10
10кп	0,07...0,14	не более 0,07	0,25...0,50	0,15
10пс	0,07...0,14	0,05...0,17	0,35...0,65	0,15
10	0,07...0,14	0,17...0,37	0,35...0,65	0,15
11кп	0,05...0,12	не более 0,06	0,30...0,50	0,15
15кп	0,12...0,19	не более 0,07	0,25...0,50	0,25
15пс	0,12...0,19	0,05...0,17	0,35...0,65	0,25
15	0,12...0,19	0,17...0,37	0,35...0,65	0,25
18кп	0,12...0,20	не более 0,06	0,30...0,50	0,15
20кп	0,17...0,24	не более 0,07	0,25...0,50	0,25
20пс	0,17...0,24	0,05...0,17	0,35...0,65	0,25
20	0,17...0,24	0,17...0,37	0,35...0,65	0,25
25	0,22...0,30	0,17...0,37	0,50...0,80	0,25
30	0,27...0,35	0,17...0,37	0,50...0,80	0,25
35	0,32...0,40	0,17...0,37	0,50...0,80	0,25
40	0,37...0,45	0,17...0,37	0,50...0,80	0,25
45	0,42...0,50	0,17...0,37	0,50...0,80	0,25
50	0,47...0,55	0,17...0,37	0,50...0,80	0,25
55	0,52...0,60	0,17...0,37	0,50...0,80	0,25
58(55кп)	0,55...0,63	0,10...0,30	не более 0,20	0,15
60	0,57...0,65	0,17...0,37	0,50...0,80	0,25

2. Сортамент проката должен соответствовать требованиям:

ГОСТ 2590 для горячекатаного круглого; ГОСТ 2591 или другой нормативно-технической документации – для горячекатаного квадратного; ГОСТ 1133 для кованого круглого и квадратного; ГОСТ 2879 для горячекатаного шестигранного; ГОСТ 103 – для горячекатаного полосового; ГОСТ 4405 для кованого полосового; ГОСТ 7417 для калиброванного круглого; ГОСТ 8559 для калиброванного квадратного; ГОСТ 8560 для калиброванного шестигранного; нормативно-технической документации – для калиброванного полосового; ГОСТ 14955 со специальной отделкой поверхности.

Таблица Е.2

Механические свойства

Марка стали	Механические свойства, не менее			
	Предел текучести σ_t , МПа	Временное сопротивление разрыву σ_b , МПа	Относительное удлинение, δ	Относительное сужение, ψ
			%	
08	196	320	33	60
10	205	330	31	55
15	225	370	27	55
20	245	410	25	55
25	275	450	23	50
30	295	490	21	50
35	315	530	20	45
40	335	570	19	45
45	355	600	16	40
50	375	630	14	40
55	380	650	13	35
58(55кп)	315	600	12	28
60	400	680	12	35

3. Прокат из стали марок 25, 30, 35, 40, 45, 50 с контролем ударной вязкости на термически обработанных (закалка + отпуск) образцах.

Нормы ударной вязкости должны соответствовать указанным в табл. Е.3.

Таблица Е.3

Ударная вязкость

Марка стали	Ударная вязкость Дж/см ² , не менее
25	88
30	78
35	69
40	59
45	49
50	38

Таблица Е.4

Твердость

Марка стали	Число твердости НВ, не более			
	для горячекатаного и кованого проката		для калиброванного проката и со специальной отделкой поверхности	
	без термической обработки	после отжига или высокого отпуска	нагортованного	Отожженного или высокоотпущенного
08	131	—	179	131
10	143	—	187	143
15	149	—	197	149
20	163	—	207	163
25	170	—	217	170
30	179	—	229	179
35	207	—	229	187
40	217	187	241	197
45	229	197	241	207
50	241	207	255	217
55	255	217	269	229
58(55кп)	255	217	—	—
60	255	229	269	229

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

ВЫПИСКА ИЗ ГОСТ 1435-74

Сталь нелегированная инструментальная. Технические условия

Настоящий стандарт распространяется на углеродистую, инструментальную, горячекатаную, кованую, калиброванную сталь, сталь со специальной отделкой поверхности и сталь для сердечников.

В части норм химического состава стандарт распространяется на слитки, лист, ленту, проволоку и другую продукцию.

Таблица Ж.1

Марки и химический состав

Марка стали	Массовая доля, %				
	углерода	кремния	марганца	серы	фосфора
				не более	
У7	0,66...0,73	0,17...0,33	0,17...0,33	0,028	0,030
У8	0,76...0,83	0,17...0,33	0,17...0,33	0,028	0,030
У8Г	0,81...0,89	0,17...0,33	0,33...0,58	0,028	0,030
У9	0,86...0,93	0,17...0,33	0,17...0,33	0,028	0,030
У10	0,96...1,03	0,17...0,33	0,17...0,33	0,028	0,030
У11	1,06...1,13	0,17...0,33	0,17...0,33	0,028	0,030
У12	1,16...1,23	0,17...0,33	0,17...0,33	0,028	0,030
У13	1,26...1,34	0,17...0,33	0,17...0,33	0,028	0,030
У7А	0,66...0,73	0,17...0,33	0,17...0,28	0,018	0,025
У8А	0,76...0,83	0,17...0,33	0,17...0,28	0,018	0,025
У8ГА	0,81...0,89	0,17...0,33	0,33...0,58	0,018	0,025
У9А	0,86...0,93	0,17...0,33	0,33...0,58	0,018	0,025
У10А	0,96...1,03	0,17...0,33	0,33...0,58	0,018	0,025
У11А	1,06...1,13	0,17...0,33	0,33...0,58	0,018	0,025
У12А	1,16...1,23	0,17...0,33	0,33...0,58	0,018	0,025
У13А	1,26...1,34	0,17...0,33	0,33...0,58	0,018	0,025

Примечания:

1. К группе качественных сталей относятся марки стали без буквы А, к группе высококачественных сталей, более чистых по массовой доле серы и фосфора, а также примесей других элементов – марки стали с буквой А.

2. Массовая доля серы в стали, полученной методом электрошлакового переплава, не должна превышать 0,013 %.

3. Буквы и цифры в обозначении марок сталей обозначают: У – углеродистая, следующая за ней цифра – средняя массовая доля углерода в десятых долях процента, Г – повышенная массовая доля марганца.

4. Сортамент.

4.1. По форме, размерам и предельным отклонениям сталь должна соответствовать требованиям:

- кованая круглого и квадратного сечений – ГОСТ 1133-71;
- горячекатаная круглого сечения – ГОСТ 2590-71;
- горячекатаная квадратного сечения – ГОСТ 2591-71, ГОСТ 4693-77;
- горячекатаная, шестигранная – ГОСТ 2879-69;
- полосовая, горячекатаная – ГОСТ 4405-75 и ГОСТ 103-76;
- кованая – ГОСТ 4405-75;
- калиброванная – ГОСТ 7417-75, ГОСТ 8559-75 и ГОСТ 8560-78;
- сталь со специальной отделкой поверхности – ГОСТ 14955-77.

Допускается изготовление горячекатаной стали со стороной квадрата до 100 мм по ГОСТ 2591-71 с углами, скругленными радиусом, не превышающим 0,15 стороны квадрата.

4.2. Сталь изготавливается термически обработанной. По требованию заказчика сталь может изготавливаться без термической обработки.

4.3. Твердость термически обработанной стали по длине прутка или полосы и твердость образцов после закалки должны соответствовать нормам, указанным в табл. Ж.2.

Таблица Ж.2

Механические свойства

Марка стали	Твердость термически обработанной стали		Твердость образцов после закалки в воде	
	НВ, не более	диаметр отпечатка, мм, не менее	температура, °С	HRC ₃ , (HRC), не менее
У7, У7Л У8, У8А У8Г, У8ГА	187	4,4	800...820 780...800 780...800	63(62)
У9, У9А	192	4,35	760...780	63(62)
У10, У10А	207	4,2	770...800	63(62)
У11, У11А	212	4,15	770...800	
У12, У12А	212	4,15	760...790	64(63)
У13, У13А	217	4,1	760...790	

ВЫПИСКА ИЗ ГОСТ 13084-88

Порошки высоколегированных сталей и сплавов

Настоящий стандарт распространяется на порошки высоколегированных сталей и сплавов, изготовленные методом совместного восстановления смесей окислов с металлическими порошками гидридом кальция. Порошки предназначены для изготовления коррозионностойких изделий, деталей машин, приборов, пористых и плотных листов, лент, проволоки и для других целей.

Технические требования

1.1. Порошок должен изготавливаться в соответствии с требованиями настоящего стандарта по технологическому регламенту, утвержденному в установленном порядке.

1.2. Основные параметры.

1.2.1. Порошки высоколегированных сталей и сплавов подразделяют:

- по химическому составу – на марки ПХ17Н2, ПХ18Н15, ПХ23Н18, ПХ18Н9Т, ПХ30, ПХ20Н80, ПХ13М2, ПХН28МДТ, ПХ40Н60;
- по гранулометрическому составу, по максимальной крупности зерна: крупный – 280 мкм, средний – 160 мкм, мелкий – 56 мкм;
- по насыпной плотности – на 21, 23, 24, 25, 26.

Условное обозначение порошка представляют при следующих сокращениях:

- порошок – П ;
- марка порошка – буквенное обозначение элемента и число, обозначающие среднее содержание элемента в процентах;
- гранулометрический состав – 280, 160, 56;
- насыпная плотность – 21, 23, 24, 25, 26.

Примеры условного обозначения:

Порошок марки Х17Н2, по гранулометрическому составу 160, с насыпной плотностью 24: ПХ17Н2-160-24 ГОСТ 13084-88.

Таблица И.1

Марки химический состав порошков высоколегированных сталей ГОСТ 13084-88

Марка порошка	Массовая доля, %																
	Основные компоненты							Примеси, не более									
	Железо	Хром	Никель	Молибден	Титан	углерод	Мель	Железо	Никель	Титан	Углерод	Кремний	Марганец	Сера	Фосфор	Кальций	Кислород
ПХ17Н2	основное	15,0...19,0	1,5...2,5	—	—	0,08...0,17	—	—	—	0,08	—	0,10	0,35	0,02	0,03	0,20	0,35
ПХ18Н15		16,0...20,0	12,0...16,0	—	—	—					0,08			0,015		0,15	0,30
ПХ23Н18		21,0...25,0	16,0...20,0	—	—	—					0,08			0,02		0,15	0,30
ПХ18Н9Т		16,0...20,0	7,0...10,0	—	0,5...0,8	0,5...0,12				—	—			0,02		0,15	0,35
ПХ30		28,0...32,0	—	—	—	—			0,3	0,30	0,01			0,20		0,30	
ПХ20Н80	—	18,0...22,0	осн.	—	—			0,30	0,08	0,06	0,05		0,01		—	0,30	
ПХ13М2	основное	12,0...14,0	—	1,5...2,5	—			2,5...3,5		—	0,08		0,20		0,02	0,03	0,50
ПХН28МДТ		21,0...25,0	28,0...30,0	2,5...3,5	0,4...0,7						—		0,20		0,20		0,02
ПХ40Н60	—	38,0...42,0	осн.	—	—	—		—	0,08	0,06	—		0,20	0,02	—		

Учебное издание

ИЛЬЯЩЕНКО Дмитрий Павлович
ЗЕРНИН Евгений Александрович
ЧЕРНОВА Светлана Андреевна

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»**

Учебное пособие

Научный редактор
доктор технических наук С.Б. Сапожков

Редактор *Л.А. Холопова*
Компьютерная верстка *В.Д. Пяткова*
Дизайн обложки *Д.П. Ильященко*

Подписано к печати 10.05.2016. Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 9,89. Уч.-изд. л. 8,94.
Заказ 238-16. Тираж 100 экз.



Издательство

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ