

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»



О. П. Штемпель
С. В. Пилипенко

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 1-36 01 01
«Технология машиностроения»

Текстовое электронное издание

В двух частях

Часть первая

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой
2023

1 – дополнительный титульный экран – сведения об издании

УДК 621.81(075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией
механико-технологического факультета
в качестве методических указаний (протокол № 8 от 22.02.2023 г.)

Кафедра автомобильного транспорта

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Технология конструкционных материалов» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Технические требования:

1 оптический диск.

Системные требования:

PC с процессором не ниже Core 2 Duo;

2 Gb RAM; свободное место на HDD 2 Mb;

Windows XP/7/8/8.1/10

привод CD-ROM/DVD-ROM;

мышь

Редактор *Т. А. Дарьянова*

Подписано к использованию 28.02.2023.

Объем издания 1,74 Мб. Заказ 83.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014, перерегистрация от 24.08.2022.

ЛП № 02330/278 от 27.05.2004.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Раздел 1	
ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	5
Лабораторная работа 1.1	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	5
Лабораторная работа 1.2	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ	11
Лабораторная работа 1.3	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЕЙ ПРИ УДАРНОМ И ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИЯХ	15
Лабораторная работа 1.4	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	20
Раздел 2	
ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА	25
Лабораторная работа 2.1	
ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ	25
Лабораторная работа 2.2	
ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ В ПЕСЧАНОЙ ФОРМЕ	28
Лабораторная работа 2.3	
ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФОРМАХ	32
Лабораторная работа 2.4	
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА ПО РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ В ПЕСЧАНОЙ ФОРМЕ	35
ЛИТЕРАТУРА.....	48
Приложение 1.....	49
Приложение 2.....	51
Приложение 3.....	52

ВВЕДЕНИЕ

Технология конструкционных материалов – одна из важнейших общетехнических дисциплин для специальностей инженерного профиля. При изучении дисциплины обеспечивается фундаментальная подготовка студентов в области конструкционных материалов, происходит знакомство со структурными преобразованиями металлов и сплавов на стадиях производственного цикла. Цель курса – дать будущим инженерам знания о свойствах и структуре промышленных материалов, влиянии различных факторов на них, а также об основных технологических методах формообразования деталей, возможностях современного машиностроения, а также перспективами развития и совершенствования технологических методов обработки; ознакомить с основными понятиями и сведениями о технологичности конструкций заготовок и деталей машин с учетом методов их получения и обработки.

Лабораторный практикум подкрепляет теоретические сведения, изложенные в лекционной части курса, и позволяет приобрести практические умения в определении свойств конструкционных материалов, их микро- и макроструктуры и др. Здесь более подробно изучаются методики определения характеристик механических и технологических свойств металлов и сплавов, влияние различных факторов; нарабатываются навыки выбора материалов, показываются основы технологических процессов литья, сварки, мехобработки и пр. технологических процессов.

Лабораторные работы имеют единую структуру: в начале изложена цель работы, затем кратко представлены в достаточном для подготовки к занятиям объеме теория, порядок экспериментального выполнения работы и используемое оборудование, приборы и материалы. В конце работы перечислены требования к содержанию отчета, приведены контрольные вопросы для самостоятельной подготовки студентов к защите работ.

После завершения изучения дисциплины студент должен уметь: выбирать материал для изготовления детали с учетом условий ее работы в оборудовании, а также способ получения заготовки; определять ее форму и размеры; назначать методы обработки поверхностей с учетом требований технического чертежа; выбирать металлорежущие станки и инструмент.

Полученные знания студент использует при выполнении практических, лабораторных, курсовых и расчетно-графических работ по дисциплинам: «Технология конструкционных материалов», «Технология машиностроения», «Детали машин», а также при выполнении курсовых и дипломных проектов. В производственной деятельности эти знания необходимы инженеру для грамотного технического обслуживания и ремонта оборудования.

Раздел 1
ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Лабораторная работа 1.1
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы:

- ознакомиться с методиками определения твердости металлов и сплавов по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу;
- приобрести практические навыки по использованию этих методик.

Краткие теоретические сведения

Твердость металла – его способность сопротивляться проникновению в него другого, более твердого, тела. Ее измеряют, воздействуя на поверхность металла индентором, изготовленным из твердого материала: закаленной стали, твердого сплава или алмаза. Индентор может иметь форму шарика, конуса или пирамиды.

При определении *твердости по Бринеллю* в поверхность испытуемого образца вдавливают стальной закаленный шарик (рисунок 1.1, а). Диаметр шарика (D) выбирают в зависимости от твердости испытуемого материала и толщины образца. Его значение может быть 10,5 или 2,5 мм; усилие, прикладываемое к шарикам, изменяется в диапазоне от 153 до 29 430 Н; время выдержки под нагрузкой – от 10 до 60 с. Диаметр шарика, усилие и время выдержки выбирают по таблице 1.1. Диаметр полученного отпечатка (d) измеряют с помощью лабораторной лупы с точностью до 0,05 мм. Значение твердости HB определяют отношением усилия P (Н) к площади шарового сегмента F (мм²):

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}, \text{ МПа.}$$

Для испытания используют образцы с чистой и гладкой поверхностью. Толщина образцов должна быть не менее 10-кратной глубины отпечатка; расстояние между центром отпечатка и краем образца должно быть $\geq 2,5d$; расстояние между соседними отпечатками должно быть $\geq 4d$. Данный способ позволяет испытывать материалы с твердостью не выше 4500 МПа.

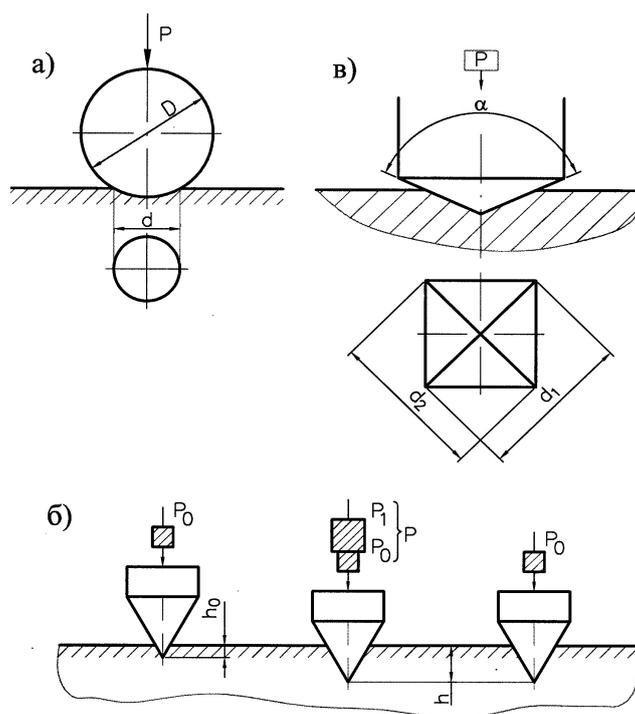


Рисунок 1.1. – Схема определения твердости по методам:
а – Бринелля; **б** – Роквелла; **в** – Виккерса

Таблица 1.1. – Выбор параметров нагружения при определении твердости по Бринеллю

Металлы	Твердость HB	Толщина образца, мм	Соотношение между нагрузкой P и квадратом диаметра шарика D^2	Диаметр шарика D , мм	Нагрузка P , Н	Выдержка под нагрузкой, с
Черные	1400–4500	6–3	$P = 30D^2$	10	29 430	10
		4–2		5	7357	
		< 2		2,5	1839	
То же	<1400	6	$P = 10D^2$	10	9810	10
		6–3		5	2452	
		< 3		2,5	613	
Цветные	1300	6–3	$P = 30D^2$	10	29 430	30
		4–2		5	7357	
		< 2		2,5	1839	
То же	350–1300	9–6	$P = 10D^2$	10	9810	30
		6–3		5	2452	
		< 3		2,5	613	
	80–350	$P = 2,5D^2$	<6	10	2452	60
			6–3	5	613	
			< 3	2,5	153	

В соответствии с ГОСТ 9012-59 число твердости по Бринеллю, измеренное в единицах кгс/мм², записывают без указания размерности, например: HB160; если же число твердости указывают в МПа, то результат следует записать как HB 1570 МПа.

Принимая во внимание, что прочность и твердость металлов имеют одну природу и характеризуют его способность сопротивляться воздействию внешней силы (а характеристики этих свойств связаны известной зависимостью $\sigma_b = K \cdot HB$ [1]), представляется возможным по полученному значению твердости определить другие характеристики механических свойств, например, предел прочности (σ_b) металла (для отожженной стали $K = 0,36$; для силумина $K = 0,34$).

При испытании *по методу Роквелла* (см. рисунок 1.1, б) в испытуемый образец вдавливают алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной закаленный шарик ($d = 1,588$ мм). При этом вначале прилагают предварительную нагрузку $P_0 = 100$ Н, затем основную P_1 . Их сумма P составляет общую нагрузку, которую выбирают в зависимости от типа наконечника и предполагаемого уровня твердости (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Выбор типа наконечника и нагрузки при определении твердости по Роквеллу

Обозначение шкалы	Тип наконечника	Нагрузка P , Н	Цвет шкалы	Допускаемые пределы измерения твердости по шкале Роквелла
HRB	Шарик стальной	981	красный	25–100
HRC	Конус алмазный	1472	черный	20–67
HRA	Конус алмазный	589	черный	70–85

Если обозначить соответственно глубины вдавливания наконечника при P_0 и P через h_0 и h , то значение твердости будет определяться по разности:

- HRC (HRA) = 100 – e (черная шкала);
- HRB = 130 – e (красная шкала),

где величина $e = (h - h_0) / 0,002$ (при этом цена одного деления шкалы индикатора равна 2 мкм).

Если прибор отградуирован по шкале HRC, то в соответствии с ГОСТ 8.064-79 следует в полученное значение ввести поправку и результат обозначить как HRC_э. Шкалы HRC_э и HRA применяют при измерении твердых материалов, шкалу HRB – для мягких. Толщина образца должна быть не менее 1 мм. Числа твердости HRA можно перевести в числа HRC по формуле $HRC = 2 \cdot HRA - 104$. Расстояние от центра отпечатка до края образца или центра соседнего отпечатка должно быть

не менее 1,5 мм при вдавливании конуса и не менее 4 мм при вдавливании шарика.

Для измерения твердости тонких изделий (толщиной 2–3 мм и менее) либо тонких упрочненных или наплавленных слоев следует использовать прибор Виккерса. В этом случае в металл вдавливаются четырехгранная алмазная пирамида с углом в вершине $\alpha = 136^\circ$ (см. рисунок 1.1, в). Нагрузка, приложенная к наконечнику, изменяется в широком диапазоне: от 49 до 1176 Н, что позволяет измерять твердость материалов также в широком диапазоне (от азотированных или борированных покрытий до цветных сплавов). Минимальная толщина изделий 0,3 мм; упрочненных поверхностных слоев – 30-50 мкм.

Твердость по Виккерсу HV определяется отношением усилия P (Н) к площади отпечатка F (мм²):

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = \frac{1,8544 \cdot P}{d^2}, \text{ МПа,}$$

где d – усредненная величина обеих диагоналей отпечатка. Измерение диагонали отпечатка проводят с помощью объектива и микрометрического винта (цена его деления составляет 1 мкм при увеличении объектива $\times 10$ раз).

Поверхность измеряемых образцов должна быть тщательно отшлифована и отполирована.

При необходимости значения твердости, полученные по одному из описанных методов, могут быть переведены в единицы твердости шкалы другого метода, при этом следует иметь в виду, что шкалы по методу Бринелля и Виккерса близки друг к другу при значениях до 4000 МПа (приложение 1).

Оборудование и материалы:

пресс Бринелля, приборы Роквелла и Виккерса; заточной станок; лабораторная лупа; коллекция исследуемых и контрольных образцов; эталоны для оценки точности измерений.

Порядок выполнения работы

1. Учебный мастер знакомит студентов с устройством прессы, приборов и описанными выше методиками определения твердости.
2. Определяется твердость образцов из низкоуглеродистой конструкционной стали 10 и высокоуглеродистой инструментальной стали У8 в отожженном и закаленном состояниях.

3. Полученные результаты заносят в протоколы испытаний (таблицы 1.3 и 1.4).

Таблица 1.3. – Протокол результатов измерения твердости по методам Бринелля и Виккерса

Материал испытываемого образца	Содержание углерода, %	Диаметр (диагональ) отпечатка d , мм	Нагрузка P , Н	Время испытания, с	Твердость НВ, МПа	Предел прочности σ_b , МПа
Сталь 10 отожженная	0,10					
Дюралюмин						

Таблица 1.4. – Протокол результатов измерения твердости по методу Роквелла

Материал испытываемого образца	Содержание углерода, %	Индентор	Нагрузка P , Н	Шкала	Первое измерение	Второе измерение	Третье измерение	Среднее значение	Твердость по Бринеллю НВ, МПа
Сталь У8 отожженная	0,80								
Сталь У8 закаленная	0,80								

4. Значения твердости, определенные на приборе Роквелла, переводятся в числа твердости по Бринеллю и Виккерсу по таблице (приложение 1).

5. Расчетные значения твердости, определенные по методике Бринелля, сравниваются с табличными данными.

6. По полученным значениям твердости определяется предел прочности.

7. Анализируются полученные результаты и делаются выводы о влиянии углерода и термической обработки на твердость и прочность стали.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схемы испытаний и расчетные формулы для определения твердости и предела прочности.
3. Протоколы испытаний.

4. Выводы о влиянии углерода и термической обработки на твердость стали.

Контрольные вопросы

1. В каких единицах измеряется твердость по Роквеллу (Бринеллю)?
2. Укажите диапазон измерения твердости на приборе Бринелля (Роквелла).
3. Каковы требования к образцу для измерения твердости?
4. Расскажите о методике измерения твердости на приборе Бринелля (Роквелла).
5. На каком приборе можно измерить твердость закаленного инструмента?
6. На каком приборе можно измерить твердость готового изделия с толщиной стенки 5 мм?
7. Как измерить твердость стального вала диаметром 50 мм и длиной 500 мм на приборе Бринелля?
8. Как измерить твердость стального вала диаметром 20 мм и длиной 500 мм на приборе Роквелла?
9. Определить предел прочности стали, если ее твердость HB 2620 МПа.
10. Определить предел прочности стали, если ее твердость HRB 95.
11. Как влияет закалка на твердость стали с различным содержанием углерода?
12. Как влияет содержание углерода на твердость отожженной стали?

Лабораторная работа 1.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Цель работы:

ознакомиться с методикой определения характеристик прочности и пластичности стали по диаграмме растяжения образца.

Краткие теоретические сведения

В практике определение характеристик механических свойств проводят в условиях статического растяжения, сжатия, изгиба, кручения. Наиболее распространены испытания на растяжение. При этом испытании образец надежно закрепляется в захватах разрывной машины (рисунок 1.2) и медленно нагружается до разрушения. Разрывные машины снабжены записывающим устройством, что дает возможность получать результаты испытаний в виде диаграммы в координатах: нагрузка P – удлинение Δl . Диаграммы растяжения стальных образцов в отожженном и термически упрочненном состояниях имеют различный вид и представлены на рисунке 1.3.

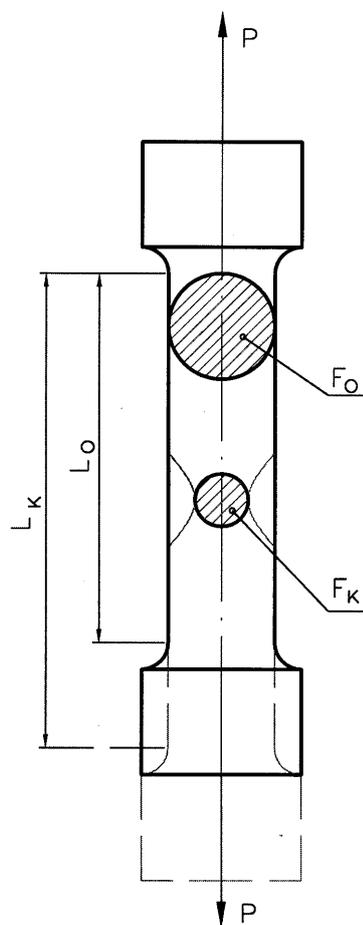


Рисунок 1.2. – Схема испытания образца на растяжение

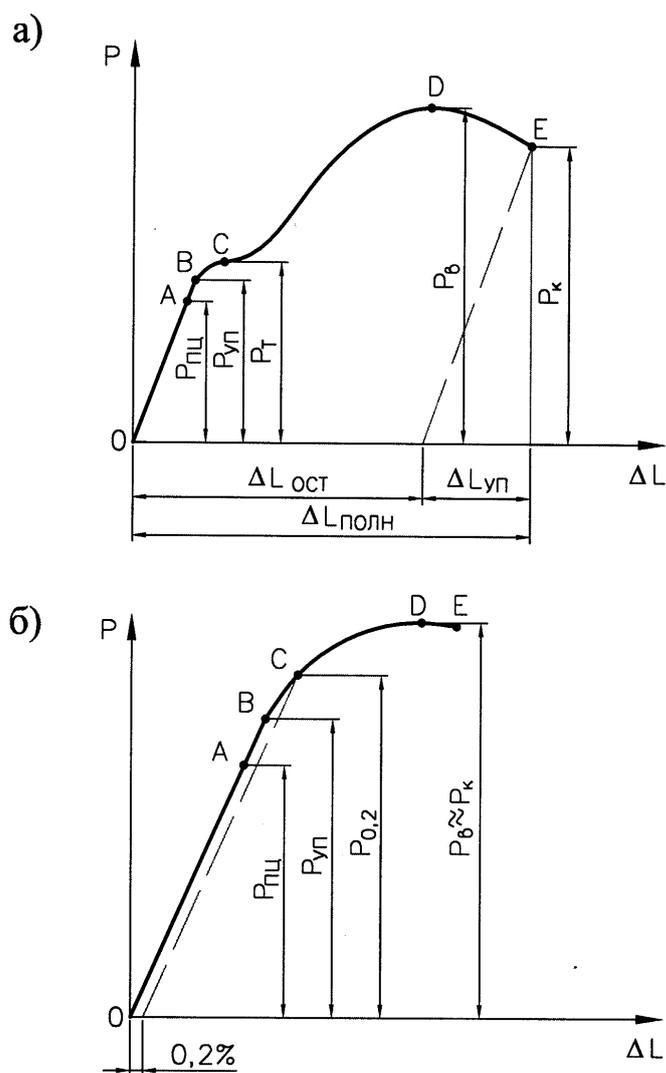


Рисунок 1.3. – Диаграмма растяжения образца для пластического (а) и термического (б) упрочнения

Форма и размеры образцов регламентируются ГОСТ 1497-84. Наибольшее применение находят цилиндрические образцы диаметром 10, расчетной длиной 50 мм и плоские (размеры образца определяются толщиной листа).

При испытании образца на растяжение определяются следующие характеристики механических свойств:

- 1) предел пропорциональности $\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0}$, МПа;
 - 2) предел упругости $\sigma_{уп} = \frac{P_{уп}}{F_0}$, МПа;
 - 3) предел текучести (физический) $\sigma_T = \frac{m_T}{F_0}$, МПа;
- предел текучести (условный) $\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}$, МПа;

4) предел прочности $\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}$, МПа;

5) сопротивление разрушению $S_K = \frac{P_K}{F_K}$, МПа.

В формулах приняты следующие обозначения:

$P_{пц}$ – нагрузка, до которой сохраняется линейная зависимость между нагрузкой и деформацией;

$P_{уп}$ – нагрузка, до которой образец сохраняет упругость (допускается остаточная деформация 0,05%);

P_T – нагрузка, соответствующая «течению» металла, т.е. образец удлиняется без увеличения нагрузки;

$P_{0,2}$ – нагрузка, соответствующая остаточной деформации 0,2%, используется при испытании термически упрочненных сталей;

P_B – максимальная нагрузка на диаграмме растяжения;

P_K – нагрузка в момент разрушения;

F_0 и F_K – площади поперечного сечения образца соответственно до деформации и после разрушения (на участке «шейки»).

Измерение геометрических размеров, проведенных до и после испытаний, позволяет определить также характеристики пластичности:

1) относительное удлинение $\delta = \frac{l_K - l_0}{l_0} \cdot 100\%$;

2) относительное сужение $\psi = \frac{F_0 - F_K}{F_0} \cdot 100\%$;

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

Четкая корреляция между прочностными и пластическими характеристиками обычно отсутствует, хотя для сталей наблюдается такая тенденция: чем выше прочность, тем ниже пластичность (для сталей, закаленных на высокую твердость, тенденция носит обратный характер).

Оборудование и материалы:

разрывная машина, штангенциркуль, микрометр, делительное устройство для разметки образцов, коллекция разрывных образцов из конструкционной и инструментальной стали с различным содержанием углерода.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством и работой разрывной машины.
2. Измерить геометрические размеры образцов в исходном состоянии.

3. Произвести разметку образцов на делительном устройстве.
4. Испытать образцы с записью диаграммы растяжения.
5. Измерить размеры образцов после испытания.
6. Полученные результаты занести в протокол испытаний (таблица 1.5).
7. Провести расчеты по определению прочностных свойств и пластичности.
8. Установить влияние углерода на механические свойства стали при растяжении и сделать выводы.

Таблица 1.5. – Протокол результатов измерения механических свойств

Размеры образцов, мм						Величина усилия, Н			Механические свойства				
до испытаний			после испытаний						σ_T	σ_B	S_K	δ	ψ
l_0	d_0	F_0	l_K	d_K	F_K				МПа			%	
						P_m	P_B	P_K					

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Эскизы образцов до и после испытаний с указанием размеров.
3. Диаграмма растяжения для одной из испытанных сталей.
4. Формулы по определению характеристик механических свойств.
5. Протокол испытаний.
6. Выводы о влиянии углерода на характеристики прочности и пластичности стали.

Контрольные вопросы

1. Дайте определения характеристикам $\sigma_{пц}$, σ_y , σ_T , σ_B , S_K .
2. Какими показателями характеризуют пластичность металлов и сплавов?
3. Объясните методику определения характеристик прочности (пластичности) при испытании металлов и сплавов на растяжение.
4. В чем разница между физическим и условным пределами текучести?
5. В каких единицах измеряются характеристики прочности металлов?
6. Как влияет углерод на прочность и пластичность отожженной стали?

Лабораторная работа 1.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЕЙ ПРИ УДАРНОМ И ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИЯХ

Цель работы:

- ознакомиться с методиками определения ударной вязкости и предела выносливости;
- пользуясь этими методиками, установить различие в способности металла сопротивляться воздействию статических, ударных и циклических нагрузок.

Краткие теоретические сведения

При динамических испытаниях, проводимых чаще всего в условиях удара, определяют важнейшую характеристику механических свойств металла – ударную вязкость, обозначаемую символом K_C , размерность – Дж/см². По ГОСТ 9454-78 образец типа 1 (рисунок 1.4) имеет призматическую форму размером 55x10x10 мм. На одной из его граней выполнен надрез (концентратор напряжений) глубиной 2 мм (для металлов с высокой твердостью надреза не делают). Форма надреза может быть U-, V-образная или в виде предварительно сформированной трещины. В соответствии с формой надреза ударная вязкость обозначается символами K_{CU} , K_{CV} и K_{CT} .

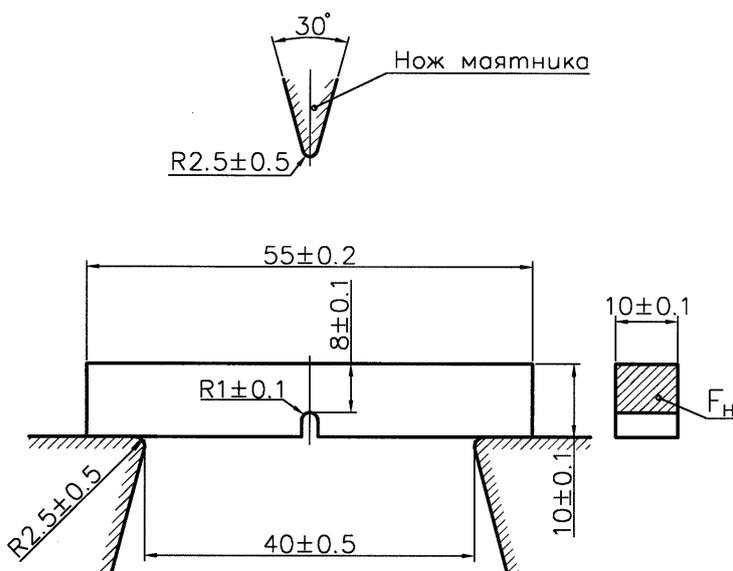


Рисунок 1.4. – Форма и размеры образца
для динамических испытаний

Испытание проводится на маятниковом копре (рисунок 1.5) нанесением по образцу удара ножом маятника, падающего с высоты H . Удар наносится по противоположной от надреза стороне. После разрушения образца маятник продолжает двигаться по инерции и поднимается на высоту h . Работа разрушения K определяется как

$$K = 9,81 G (H - h) \text{ или } K = 9,81 G L (\cos \alpha - \cos \beta),$$

где L – длина маятника, м; α и β – углы подъема маятника до и после разрушения образца.

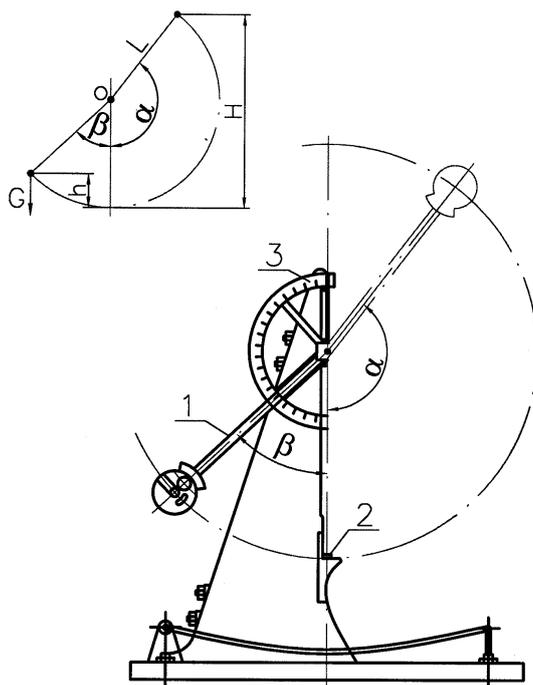


Рисунок 1.5. – Схема маятникового копра:
1 – маятник; 2 – образец; 3 – шкала

В лабораторной практике таких расчетов обычно не проводят, поскольку шкала прибора градуирована в единицах энергии (K), затраченной на разрушение образца (Дж). А величину ударной вязкости определяют по формуле

$$KV = \frac{K}{F_H},$$

где F_H – площадь поперечного сечения образца в месте надреза, см^2 . Результат испытаний записывают с указанием формы надреза, например, KCV при U -образном надрезе (Дж/см²).

После испытаний изучают визуально или при небольших увеличениях характер излома и определяют соотношение площадей хрупкого и вязкого изломов. Полученные результаты заносят в протокол испытаний.

Следует отметить, что ударная вязкость характеризует способность металла противостоять воздействию ударных нагрузок не только при нормальных и повышенных, но и при низких температурах и дает возможность таким образом определить степень надежности металла изделия в заданных условиях эксплуатации. При сопоставлении ударной вязкости металла с характеристиками его прочности обнаружена закономерность: чем выше прочность металла, тем ниже его ударная вязкость.

В реальных условиях эксплуатации многих деталей ведется при воздействии знакопеременных нагрузок: коленчатые валы, пружины, шатуны и т.д. Надежность их работы в этих условиях оценивается пределом выносливости (σ_{-1}) – характеристикой, выражаемой также в МПа, но по абсолютному значению предела выносливости она оказывается значительно меньше предела прочности (σ_B), определенного в условиях статического нагружения. Эта разница объясняется тем, что воздействие на металл знакопеременными нагрузками вызывает в нем микрповреждения, которые постепенно (с возрастанием числа циклов) накапливаются и перерастают в макрповреждения (трещины), приводящие к разрушению металла.

Испытания проводят на машинах, позволяющих получить знакопеременные напряжения, при этом чаще используется круговой изгиб с симметричным циклом (рисунок 1.6).

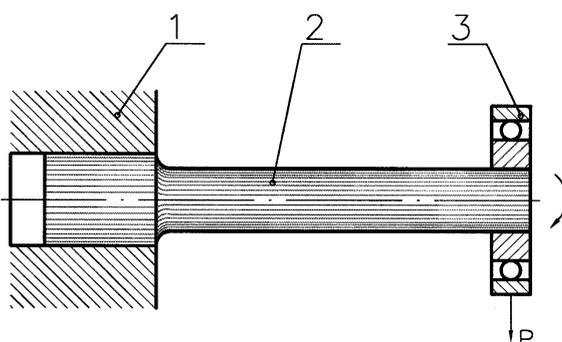


Рисунок 1.6. – Схема испытания образца на усталость:

1 – патрон; 2 – образец; 3 – подшипник

Образцы для испытаний должны иметь одинаковую структуру и твердость. Количество образцов в партии должно быть не менее 10 штук. За базу испытаний для конструкционных сталей принимают 10×10^6 циклов. По результатам испытаний строят диаграмму (кривую усталости) (рисунок 1.7) в координатах: напряжение σ – число циклов нагружения N (в логарифмическом масштабе), и по ней определяют предел выносливости. Под пределом выносливости понимают наибольшее напряжение, которое выдерживает образец без разрушения при заданном числе циклов нагружения (база испытания). Его обозначают σ_{-1} при симметричном цикле нагружения и σ_R – при асимметричном.

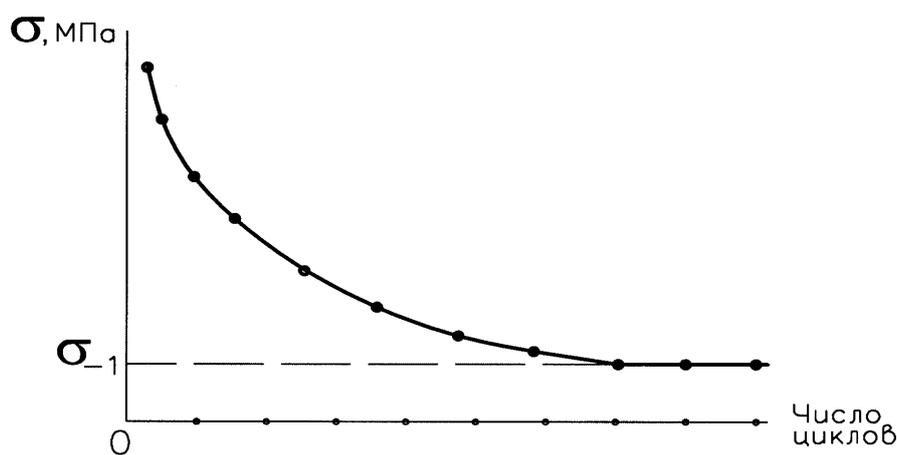


Рисунок 1.7. – Кривая усталости

Оборудование и материалы:

копер маятниковый (типа МК-30); штангенциркуль; коллекция образцов с U-образным надрезом из углеродистой стали с различным содержанием углерода; таблица с данными о циклической стойкости для нескольких марок стали; стандартные образцы для циклических испытаний; бинокулярный микроскоп.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией и работой маятникового копра и машины для циклических испытаний.
2. Измерить геометрические размеры образцов.
3. Провести испытания ударных образцов на копре.
4. Изучить и оценить характер излома образцов.
5. Занести результаты в протокол (таблица 1.6) и провести расчеты.
6. Выявить влияние углерода и (или) способа термической обработки на ударную вязкость стали.
7. По табличным данным построить кривую усталости и определить предел выносливости для заданной марки стали.

Таблица 1.6. – Протокол результатов измерения ударной вязкости

Марка стали	Размеры образца			K, Дж				KCU, Дж/см ²	Характер излома
	l ₀ , мм	F ₀ , мм ²	F _н , мм ²	1	2	3	среднее значение		

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема испытаний на ударную вязкость.
3. Эскизы образцов до и после испытаний.
4. Формулы по определению ударной вязкости.
5. Описание характера излома.
6. Протокол испытаний.
7. Выводы о влиянии углерода и (или) термической обработки на ударную вязкость стали.

Контрольные вопросы

1. На каких образцах определяют ударную вязкость?
2. По какой формуле определяют ударную вязкость?
3. Объяснить методику динамических испытаний.
4. Объяснить методику циклических испытаний.
5. Как определяется предел выносливости?
6. Объяснить назначение надреза на ударных образцах.
7. Указать размерность характеристик: ударной вязкости и предела выносливости.
8. Как влияют содержание углерода и термическая обработка (закалка) на величину ударной вязкости?
9. Как влияет температура испытаний на ударную вязкость?

Лабораторная работа 1.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы:

изучить стандартные методики определения характеристик технологических свойств металлов и сплавов; приобрести практические навыки в использовании этих методик при выборе рациональных способов получения и обработки заготовок (изделий).

Краткие теоретические сведения

Технологические свойства характеризуют способность металлов подвергаться различным видам холодной и горячей обработки. Знание характеристик этих свойств позволяет правильно выбрать способ получения заготовки и режимы ее обработки:ковки, штамповки, литья, сварки, сверления, шлифования и т.д. Оценку характеристик технологических свойств проводят по результатам технологических испытаний (пробам). При этих испытаниях, в отличие от механических, величину нагрузки не фиксируют.

Проба на изгиб (рисунок 1.8, а) служит для оценки способности материала к изгибу без образования трещин в зоне максимальных растягивающих напряжений. Этот вид испытаний часто применяется и для сварных соединений. По ГОСТ 14109-80 в зависимости от толщины металла (S) регламентируются размеры устройства для изгиба образцов: диаметр роликовых опор (D), диаметр пуансона (d) и расстояние между опорами (l). О качестве металла судят по углу загиба α , измеренному в момент появления первой трещины в испытуемом образце.

Проба на осадку (рисунок 1.8, б) применяется для оценки способности металла деформироваться (при сжатии под прессом) без образования трещин и надрывов.

Проба на выдавливание (рисунок 1.8, в) позволяет определить способность листового металла подвергаться холодной штамповке и вытяжке. При этом испытании в образец вдавливают сферический пуансон до момента начала образования в нем сквозной трещины. После этого измеряют глубину лунки и по ее величине оценивают способность листового металла к холодной пластической деформации.

Кроме того, в практике применяются следующие виды технологических испытаний.

Проба на сплющивание и раздачу (рисунок 1.8, г) позволяет судить о качестве сварного шва электросварных труб. По ГОСТ 10705-80 при сплющивании образца (трубы длиной 20–50 мм) расстояние H между опорными поверхностями после испытания должно быть менее $2/3$ диаметра трубы. Для термически обработанных, а также бесшовных труб предельное значение этой величины определяется по формуле

$$H = \frac{1,08 \cdot S}{0,08 + \frac{S}{D}},$$

где S – толщина стенки трубы, мм; D – наружный диаметр, мм.

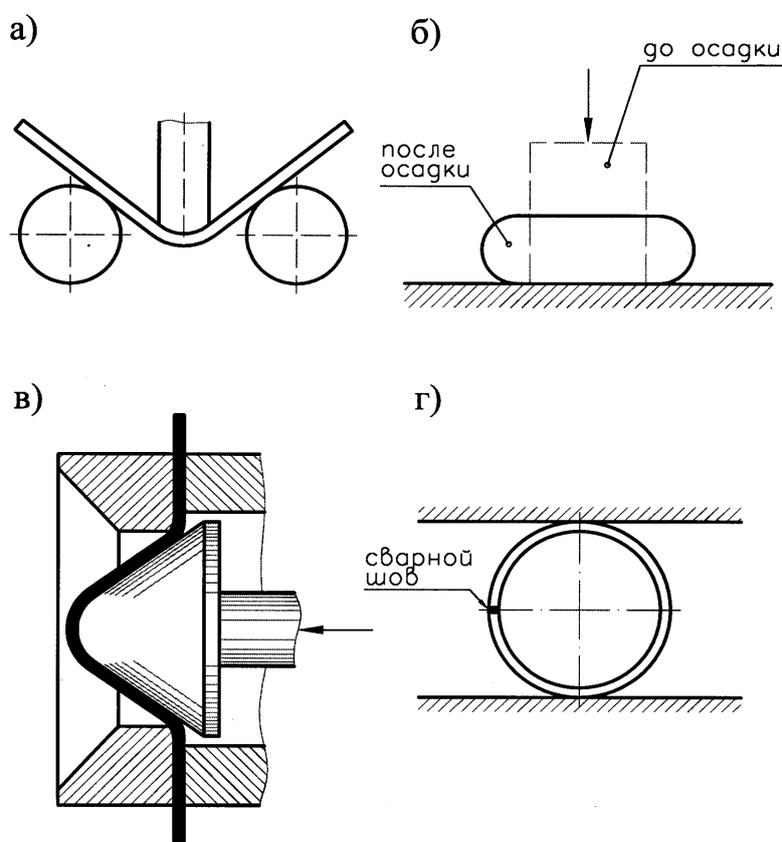


Рисунок 1.8. – Виды технологических испытаний:
 а – проба на изгиб; б – проба на осадку; в – проба на выдавливание;
 г – проба на сплющивание

Испытание труб на раздачу проводится путем осевого вдавливания внутрь трубы оправки конусностью 1:10 (ГОСТ 8694-75).

Для определения *обрабатываемости металла резанием* разработан ряд методов: сверления, продольного точения, торцевого точения и др. К примеру, по методу сверления металл сверлят при постоянной силе подачи, для чего на шпиндель станка закрепляют груз определенной массы. Оценку обрабатываемости проводят измерением глубины отверстия за 100 оборотов шпинделя.

Обрабатываемость одного и того же металла при различных методах обработки может быть различной. Она зависит от химического состава, структуры и механических свойств металла. Так, обрабатываемость углеродистых сталей ухудшается с увеличением в ней содержания углерода и улучшается с повышением содержания серы и фосфора (группа автоматных сталей).

Проба на жидкотекучесть. В этом случае расплавленный металл заливают в литейную форму, которая выполнена в виде спирали из огнеупорного материала. О литейных свойствах металла судят по длине участка спирали, заполненного металлом. При термической обработке проводят технологические испытания на *прокаливаемость*, т.е. путем закалки стандартного образца определяют критический диаметр прокаливаемости.

При сварке металлов для правильного выбора сварочных материалов и режимов сварки применяются технологические *пробы на свариваемость*. Один из вариантов такого испытания представлен на рисунке 1.9. На данную поверхность выточки наплавляют валик. После сварки с помощью лупы изучают состояние поверхности шва и зоны термического влияния. В зависимости от наличия или отсутствия трещин все стали делят на четыре класса: 1 – хорошо свариваемые (трещин нет даже при охлаждении в процессе сварки нижней поверхности образца водой); 2 – удовлетворительно свариваемые (трещин нет при охлаждении образца на воздухе); 3 – ограниченно свариваемые (трещин нет при предварительном подогреве металла до 100–150 °С); 4 – плохо свариваемые (требуется подогрев свыше 150 °С).

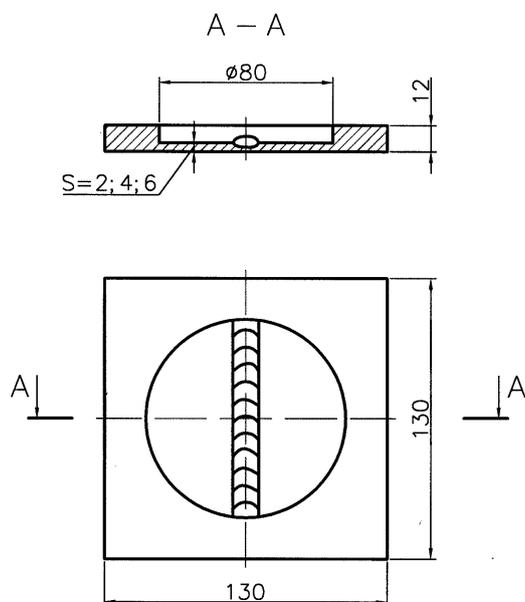


Рисунок 1.9. – Технологическая проба на свариваемость

Существуют также пробы на расплющивание, навивание проволоки, двойной кровельный замок, изгиб трубы и т.д.

Оборудование и материалы:

пресс с оснасткой для изгиба образцов; прибор для проведения испытания на выдавливание (ручной прибор ПТЛ или машина МТЛ); литейная спиральная форма, слесарные тиски; нагревательная печь; коллекция плоских образцов со сварным швом; коллекция листовых образцов; цветной сплав (силумин); коллекция образцов из электросварных труб; рулетка; штангенциркуль; лупа.

Порядок выполнения работы

1. Изучить методики определения технологических свойств при испытании на изгиб, выдавливание, сплющивание, жидкотекучесть.
2. Ознакомиться с конструкцией испытательного прессы, прибора на выдавливание и оснасткой.
3. Выполнить эскизы образцов на изгиб и сплющивание до и после испытаний, выполнить схему испытания на выдавливание и эскиз литейной спиральной формы.
4. Измерить геометрические размеры образцов до и после испытаний, измерить длину участка спирали с застывшим металлом.
5. Провести технологические испытания.
6. Изучить поверхность образцов после испытаний на изгиб, выдавливание, сплющивание.
7. Занести результаты в протокол (таблица 1.7), проанализировать результаты и сделать вывод.

Таблица 1.7. – Протокол результатов определения технологических свойств

Марка стали (сплава)	Вид и результаты испытания							
	изгиб		выдавливание		сплющивание		жидкотекучесть	
	α , град	наличие трещин	глубина лунки, мм	наличие трещин	высота образца, мм	наличие трещин	температура заливки, °С	длина пробы, см

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схемы технологических испытаний на изгиб, выдавливание, сплющивание, жидкотекучесть.

3. Эскизы образцов до и после испытаний с указанием геометрических размеров.

4. Протокол испытаний.

5. Выводы о качестве сварного шва, влиянии углерода (и кремния) на способность к штамповке и вытяжке листового металла, а также о литейных свойствах силуминов.

Контрольные вопросы

1. На каких образцах определяют технологические свойства металлов?

2. Как оценивают свариваемость металлов?

3. Как определяют литейные свойства металлов?

4. Как определяют обрабатываемость металлов?

5. Объяснить методику технологических испытаний на сплющивание (раздачу, выдавливание, изгиб).

6. Объяснить роль технологических свойств в практике горячей и холодной обработки металлов.

Раздел 2 ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Лабораторная работа 2.1 ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Цель работы:

ознакомиться с технологией приготовления формовочной смеси и экспериментально показать зависимость прочности и газопроницаемости от ее влагосодержания; определить на основании полученных зависимостей оптимальные значения влагосодержания в смеси заданного зернового состава и дать рекомендации по практическому использованию результатов исследований.

Краткие теоретические сведения

Качество литых заготовок, получаемых в разовых песчано-глинистых формах, во многом зависит от того, как приготовлены формовочные смеси. Наиболее часто встречающиеся дефекты литья, такие как земляные и газовые раковины, возникают, главным образом, из-за недостаточной прочности и газопроницаемости формовочных смесей. Эти свойства в значительной степени зависят от качества исходных составляющих (песка и глины) и их весового соотношения. Однако наиболее сильное влияние на прочность смеси в сыром состоянии оказывает влагосодержание. При недостаточной влажности смесь рассыпается, при избыточной – растекается, при этом снижается не только прочность, но и газопроницаемость вследствие заполнения водой вентиляционных каналов между смежными зёрнами песка. При этом важным условием получения качественной формовочной смеси, наряду с общей влажностью, является характер ее распределения в объеме, что определяется качеством перемешивания формовочной смеси после увлажнения и временем ее вылеживания перед формовкой. В процессе перемешивания (в течение 15...20 мин) достигается равномерное распределение воды в объеме смеси, а последующее вылеживание обеспечивает растворение глины и образование глинистой суспензии, которая обволакивает тонкой пленкой отдельные песчинки, надежно склеивая их между собой.

Оборудование и материалы:

лабораторный копер; прибор для определения прочности; прибор для определения влагосодержания; лабораторные весы; сушильный шкаф с термометром; сито для просеивания исходных формовочных материалов; ящик объемом 5...10 дм³ для готовой формовочной смеси; формовочные материалы (кварцевый песок, глина); мерная колба объемом 200...300 см³

Порядок выполнения работы

Для проведения работы подгруппа делится на рабочие звенья по два студента. Каждое звено самостоятельно готовит формовочную смесь, для чего получает по 3 кг кварцевого песка и 0,25 кг глины. После тщательного перемешивания в сухую смесь вводится заданное количество воды и вновь перемешивается в течение 10 мин для равномерного распределения воды в объеме смеси и полного насыщения глинистой составляющей. Из приготовленной смеси на лабораторном копре формируются семь образцов: три – для определения газопроницаемости; три – для определения прочности; один – для определения влагосодержания смеси.

За величину прочности и газопроницаемости формовочной смеси принимается среднее из трех измерений. Методика определения прочности и газопроницаемости формовочной смеси описана в работе [2]. Влагосодержание определяется в процентах по формуле

$$B = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%,$$

где B – влагосодержание, %; m_1 – масса образца в сыром состоянии, г; m_2 – масса образца после сушки, г.

Сушка образца производится в сушильном шкафу при температуре 150 °С в течение 2 ч. Полученные данные заносятся в таблицу 2.1, на основании которой строятся графики зависимости прочности σ и газопроницаемости K формовочной смеси от ее влагосодержания. При построении графиков на оси ординат откладывается прочность σ (Па) и газопроницаемость, на оси абсцисс – влагосодержание, %.

Обсуждая полученные результаты, студент должен показать, какие существуют закономерности между влагосодержанием и свойствами формовочной смеси, используя графические зависимости σ , $K = f(B)$, установить оптимальное значение влагосодержания формовочной смеси и сделать выводы.

Таблица 2.1. – Прочность и газопроницаемость формовочных смесей

№№ пп	Характеристика формовочных смесей	Образцы			Среднее значение
		1	2	3	
1	Влагосодержание, %				
2	Прочность, Па				
3	Газопроницаемость, усл. ед.				

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Порядок проведения работы с описанием устройства и принципа действия приборов для определения прочности и газопроницаемости.
3. Таблица экспериментальных данных.
4. Графики $\sigma = f(B)$ и $K = f(B)$.
5. Анализ экспериментальных данных.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что понимаете под термином «формовочная смесь»?
2. Укажите состав формовочной смеси.
3. Объясните назначение формовочной смеси.
4. Объясните, зачем в формовочную смесь добавляют воду.
5. Назовите основные свойства формовочных смесей и их характеристики.
6. Перечислите основные требования, предъявляемые к формовочным смесям.
7. Объясните, как влияет на качество формовочной смеси время ее перемешивания и вылеживания?
8. Расскажите об устройстве и принципе работы установки для определения прочности формовочной смеси.
9. Расскажите об устройстве и принципе работы установки для определения газопроницаемости.
10. Изложите методику определения влагосодержания формовочной смеси.
11. Изложите методику определения прочности формовочной смеси.
12. Изложите методику определения газопроницаемости формовочной смеси.
13. Какое влияние на качество литья может оказывать избыточное и недостаточное влагосодержание?
14. Что понимаете под оптимальным значением влагосодержания?
15. Расскажите технологию приготовления формовочной смеси.

Лабораторная работа 2.2

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ В ПЕСЧАНОЙ ФОРМЕ

Цель работы:

- ознакомиться с технологией, оборудованием и литейной оснасткой ручной формовки в двух опоках;
- освоить на практике технологию ручной формовки в двух опоках по разъемной модели.

Краткие теоретические сведения

Литье в песчаные формы – самый распространенный способ получения отливок из стали, чугуна и сплавов цветных металлов. Для получения отливки в литейную форму, изготовленную из формовочной смеси с помощью литейно-модельной оснастки, заливают расплавленный металл. После затвердевания металла в форме последнюю разрушают, а полученную отливку отделяют от литников, очищают от пригоревшей формовочной смеси, заусенцев и подвергают контролю.

Изготовление литейной формы (формовка) является наиболее трудоемкой и ответственной операцией техпроцесса, поэтому выполняется она в основном на спиральных формовочных машинах. На долю ручной формовки приходится 8...10 % всего объема получаемых отливок. Она применяется в единичном и мелкосерийном производстве при изготовлении мелких и средних отливок. Особо важное значение ручная формовка имеет при получении крупных, с высокой степенью сложности, корпусных отливок.

Ниже описан порядок изготовления литейной формы (технология формовки) в двух опоках по разъемной модели для получения отливки (штулки) из сплава АЛ2.

Оборудование и материалы:

пара опок с подмодельной плитой; модельный комплект; стержневой ящик; формовочный инструмент: лопата или совок, клиновья и плоская трамбовки; гладилка; ланцет; подъем; игла-душник; линейка специальная; кисточка; тигель; разливочный ковш; алюминиевый сплав (2 кг); клещи; формовочная смесь (0,1 м³).

Порядок выполнения работы

На подмодельную плиту 1 (рисунок 2.1) укладывается нижняя половина модели 2, устанавливается опока низа 3. После припыливания модели и плиты графитом производится наполнение опоки формовочной смесью 4.

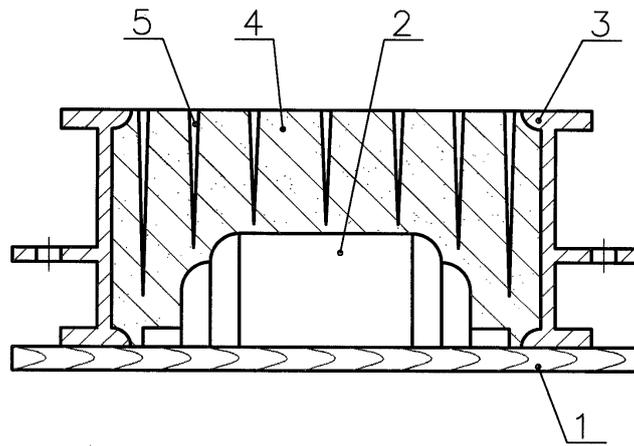


Рисунок 2.1. – Полуформа нижняя:

1 – доска подмодельная; 2 – модель нижней части детали; 3 – опока нижняя;
4 – смесь формовочная; 5 – канал вентиляционный

Уплотнение формовочной смеси производится вначале клиновидной, а после наполнения всей опоки – плоской трамбовкой, затем избыток смеси срезается с помощью специальной линейки и иголь-душником накалываются вентиляционные каналы 5.

Полученная полуформа низа (рисунок 2.2) переворачивается на 180 °С и устанавливается на стол; снимается подмодельная плита; устанавливается опока верха 3 и модель верха 6 спаривается с моделью низа 5 посредством спаривающих штырей; устанавливаются модели стояка 9, шлакоуловителя 10, выпора 7 и после припыливания графитом производится формовка верхней полуформы в той же последовательности, что и нижней.

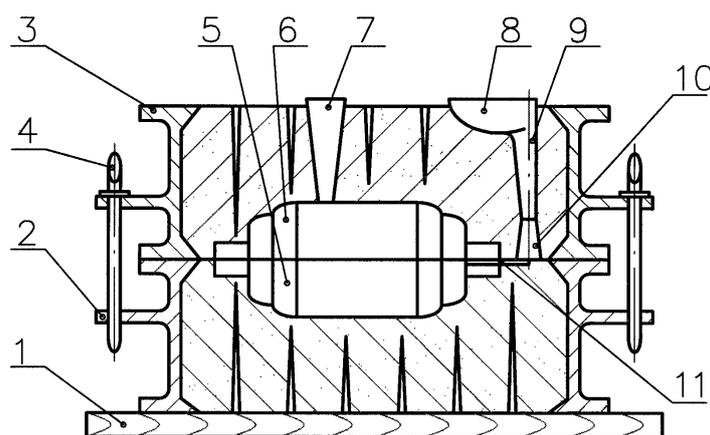


Рисунок 2.2. – Литейная форма с моделью и элементами литниковой системы:

1 – доска подмодельная; 2 – опока нижняя; 3 – опока верхняя; 4 – спаривающий штырь;
5 – модель нижней части детали; 6 – модель верхней части детали; 7 – модель выпора;
9 – модель стояка; 10 – модель шлакоуловителя; 11 – модель питателя

Верхняя полуформа снимается, переворачивается на 180 °С и устанавливается на столе. После этого из полуформ с помощью штифтового подъема и молотка извлекают модели и приступают к их отделке.

Сборка формы (рисунок 2.3) включает в себя установку стержня 3 в нижнюю полуформу и спаривание полуформ с помощью спаривающих штырей 4 (см. рисунок 2.2).

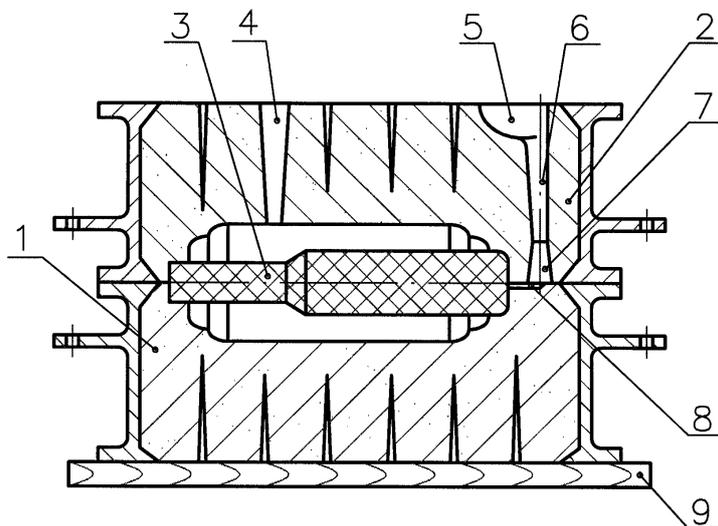


Рисунок 2.3. – Литейная форма в сборе:

1, 2 – нижняя и верхняя полуформы; 2 – стержень; 4 – выпор; 5 – литниковая чаша;
6 – стояк; 7 – шлакоуловитель; 8 – питатель; 9 – подопочная плита

Заливка формы жидким металлом производится сразу же после окончания сборки, температура жидкого металла при заливке должна быть 700...720 °С.

Выбивка отливки из формы и ее очистка от пригоревшей земли производится через 10 мин после заливки. Отработанная смесь отправляется на переработку, а отливка после охлаждения в воде вместе с литниками поступает на контроль.

Контроль качества отливки ведется путем внешнего осмотра. При этом выявляются такие дефекты литья, как усадочные, газовые и шлаковые раковины, зазоры, неспаи, недоливы, и объясняются причины их образования.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Краткое описание технологии формовки с иллюстрациями.
3. Порядок приготовления жидкого металла и заливка его в форму.

4. Выбивка, обрубка, очистка отливки с последующим контролем качества, порядок выполнения этих операций и применяемое при этом оборудование, инструмент и материалы.

5. Анализ выявленных при контроле дефектов и объяснение причин их образования.

Контрольные вопросы

1. Объясните, что Вы понимаете под термином «модельный комплект», и охарактеризуйте назначение каждого его элемента.

2. Объясните назначение опоки и опишите ее устройство.

3. Расскажите о порядке формовки, сборки, заливки формы жидким металлом и выбивки отливки из формы, а также укажите основные моменты техники безопасности при выполнении работ.

4. Назовите основные дефекты литья и причины их образования.

5. Объясните назначение каждого элемента литниковой системы.

6. Укажите особенности в технологии изготовления стержня и чем они вызваны.

Лабораторная работа 2.3 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФОРМАХ

Цель работы:

ознакомиться с особенностями технологии получения отливки в кокиль, преимуществами этого способа литья и областью его рационального использования.

Краткие теоретические сведения

Кокиль (от франц. Coquille) – металлическая форма для получения отливок из сплавов черных и цветных металлов, которая заполняется расплавом под действием гравитационных сил. В отличие от разовой песчаной формы кокиль может быть использован многократно.

Экономический эффект при переходе на литье в кокиль достигается за счет резкого (в 2...6 раз) повышения производительности труда, уменьшения припусков на механическую обработку (в 1,5...3 раза), снижения трудоемкости при выбивке, обрубке, очистке литья (в 2...4 раза). При этом съем литья с 1 м² производственной площади возрастает в 2...6 раз и значительно улучшаются условия труда работающих в литейном цехе.

В кокилях можно получать отливки массой от 10 г до 7 т из чугуна, от 0,5 кг до 4 т - из стали, от 5 г до 500 кг - из сплавов цветных металлов.

Минимальный объем партии отливок, при котором экономически целесообразен переход с песчаной формы на кокиль, составляет 500 штук для мелкого литья и 50 - для крупного.

По конструкции кокили (рисунок 2.4) могут быть неразъемными (вытряхиваемыми), с горизонтальным, вертикальным и комбинированным разъемами.

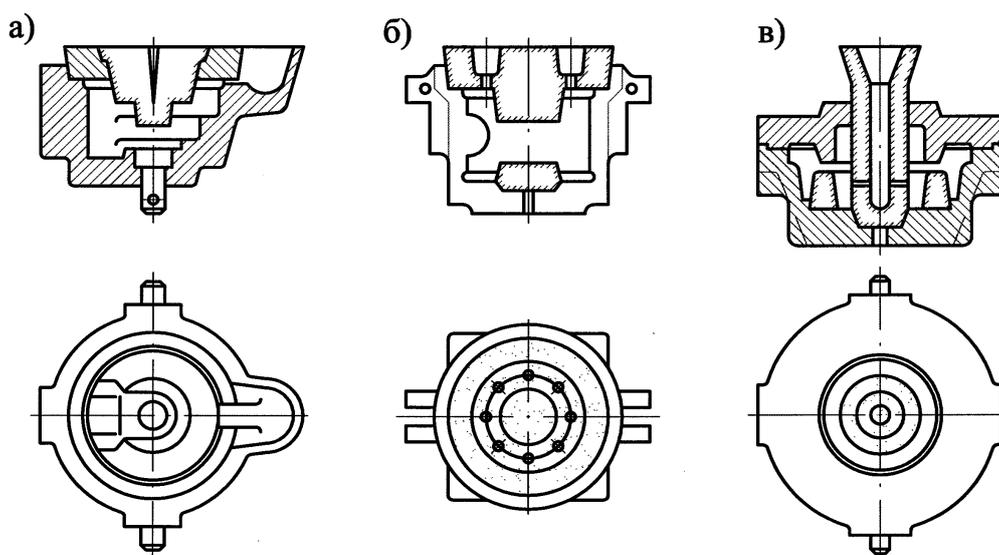


Рисунок 2.4 – Конструкция кокилей:

а – неразъемные; б – с вертикальным разъемом; в – с горизонтальным разъемом

Внутренние полости отливок, получаемых в кокиле, оформляются песчаными, оболочковыми или металлическими стержнями.

Кокили с песчаными и оболочковыми стержнями используют для отливок со сложной конфигурацией из чугуна, стали и сплавов цветных металлов; с металлическими стержнями – для отливок простой конфигурации, без выступающих частей и поднутрений, затрудняющих усадку отливки и извлечение ее из кокиля. Разъем кокиля должен быть плоским. Это повышает точность литья и удешевляет изготовление кокиля.

Оборудование и материалы:

плавильная печь; кокиль с горизонтальным разъемом; кокиль с комбинированным разъемом; тигель для плавки металла; компрессор для нанесения на поверхность кокиля теплоизоляционного слоя; стержневой ящик; сушильный шкаф; пульверизатор; окись цинка в виде порошка; жидкое стекло; вода.

Порядок проведения работы

Работа выполняется демонстрационно за 2 академических часа. Перед началом работы преподаватель проводит контрольный опрос студентов по соответствующему разделу курса ТКМ, выясняет степень усвоения основных теоретических вопросов, касающихся технологических особенностей и возможностей способа кокильного литья по сравнению со способом литья в разовую песчано-глинистую форму, знакомит с вопросами техники безопасности при литье в кокиль. Затем мастер производственного обучения демонстрирует подготовку кокиля к заливке, основные операции по его сборке, заливке жидким металлом и извлечению готовой отливки.

При этом необходимо помнить, что заливать металл в холодный кокиль **опасно!** из-за возможного выброса жидкого металла из полости формы.

Перед началом работы рабочую поверхность кокиля необходимо покрыть теплозащитным слоем на основе окиси цинка. Для этого кокиль очищается от старой краски с помощью металлической щетки, подогревается газовой горелкой или паяльной лампой до температуры 250...300 °С и затем красится с помощью пульверизатора.

Заливку металла можно производить при температуре кокиля не ниже 100 °С.

Раскрывание кокиля и извлечение из него отливки выполняют через 10 с после заполнения полости формы расплавом. После выбивки отливки кокиль вновь собирается под заливку и цикл повторяется.

Полученные отливки подвергаются контролю на предмет выявления литейных дефектов, а также оценки влияния технологических особенностей способа на чистоту и точность получаемых отливок.

Затем студенты самостоятельно делают выводы по достоинствам и недостаткам способа кокильного литья по сравнению с литьем в разовые песчаные формы и указывают область его рационального использования.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Основные технологические особенности способа кокильного литья, его достоинства, недостатки и область применения.
3. Последовательность операций по подготовке кокиля к работе, заливка его металлом и выбивка отливок.
4. Иллюстрации основных типов имеющихся в лаборатории кокилей с кратким описанием их конструкции и работы.
5. Вопросы техники безопасности при производстве отливок в кокилях.
6. Анализ способа кокильного литья в сравнении с литьем в разовые песчаные формы.
7. Рекомендации о целесообразности применения способа для получения литой заготовки конкретной детали (по заданию преподавателя).

Контрольные вопросы

1. Чем вызвана необходимость применения способа кокильного литья?
2. В чем заключаются технологические особенности этого способа по сравнению с литьем в песчаную форму?
3. Назовите основные достоинства и недостатки (ограничения) способа.
4. Чем обосновывают целесообразность применения этого способа?
5. Назовите основные дефекты кокильного литья и чем они вызываются.
6. Основные требования, предъявляемые к отливкам, получаемым в кокиле.
7. Почему кокиль перед заливкой жидким металлом необходимо подогреть (до какой температуры) и красить?
8. Назовите основные технологические особенности кокильного литья и их влияние на структурообразование в отливках.

Лабораторная работа 2.4
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА
ПО РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ОТЛИВКИ В ПЕСЧАНОЙ ФОРМЕ

Цель работы:

ознакомиться с методикой разработки технологического процесса получения отливки в разовой песчаной форме и практически освоить ее при выполнении индивидуального задания.

Задание

По чертежу детали (выдается преподавателем) разработать технологию получения отливки в песчаной форме и представить:

а) в графической части:

- чертеж детали с литейно-модельными указаниями;
- чертеж отливки;
- чертеж модели, модельных плит и моделей элементов литниковой системы;
- чертеж стержневого ящика;
- чертеж литейной формы в сборе (фронтальный разрез);

б) в расчетно-пояснительной записке:

- выбор и обоснование способа изготовления формы и стержней, а также необходимого оборудования;
- выбор и обоснование положения отливки в форме;
- выбор и обоснование поверхности разъема модели и формы;
- расчет припусков на механическую обработку;
- выбор и обоснование формовочных уклонов на моделях и стержневых ящиках;
- определение границ стержней и размеров стержневых знаков;
- выбор и обоснование конструкции литниковой системы и расчет размеров ее элементов;
- выбор формы и определение габаритных размеров опок;
- выбор и обоснование плавильного агрегата для плавки металла;
- описание процесса формовки и сборки формы, заливки ее жидким металлом, выбивки отливки из формы, ее обрубки и очистки;
- описание возможных дефектов литья с указанием причин их образования и способов контроля качества.

в) составить технологическую карту на получение отливки (приложение 2).

Общие методические указания по выполнению индивидуального задания

Приступая к выполнению задания, необходимо внимательно изучить чертеж заданной детали, используя все виды, разрезы, представить ее пространственно.

Разработку технологии начинают с анализа технологичности конструкции литой детали. При этом необходимо учитывать свойства сплава, серийность и требования, предъявляемые как к отливке в целом, так и к отдельным ее частям. На основании анализа имеющихся данных определяют;

- 1) способ формовки и положение отливки в форме;
- 2) поверхность разъема модели и формы;
- 3) число и границы стержней, а также форму и размеры стержневых знаков;
- 4) припуски на механическую обработку и технологические напуски;
- 5) формовочные уклоны на моделях и стержневых ящиках;
- 6) конструкцию литниковой системы (с расчетом параметров ее основных элементов);
- 7) форму и размеры опок, а также количество отливок в каждой опоке.

При выборе способа формовки необходимо исходить из того, что формовка – наиболее трудоемкая операция, поэтому в серийном производстве машинную формовку следует предпочесть ручной, причем наиболее простым способом является формовка «по-сырому» в двух опоках на машинах по разъемным моделям.

При определении положения отливки в форме следует наиболее ответственные поверхности отливки располагать в нижней части формы, т.к. металл в этих местах получается наиболее чистым и плотным. Обрабатываемые поверхности по тем же соображениям следует обращать вниз, вертикально или наклонно. Правильным расположением отливки в форме обеспечивается ее направленное затвердевание и питание. Отливки с большой усадкой (сталь, ковкий чугун) следует располагать в форме так, чтобы массивные части были обращены вверх. Отливки из сплавов с малой усадкой (серый чугун) располагают в форме массивными частями вниз и захолаживают их с помощью холодильников. Поверхности, служащие базой механической обработки, следует располагать в одной полуформе, не допуская их размещения в плоскости разъема.

При выборе поверхности разъема нужно стремиться, чтобы:

- форма и модель имели только одну поверхность разъема, по возможности, плоскую, удобную для формовки и сборки формы;
- отливка целиком размещалась в одной (желательно нижней) полуформе. Это предотвращает брак по перекосам и смещениям;
- модель свободно извлекалась из формы.

Положение отливки в форме при заливке обозначают буквами В (верх) и Н (низ). Буквы проставляют у стрелок, показывающих направление разъема модели формы. Разъем модели и формы на чертеже показывают отрезком штрихпунктирной линии, заканчивающейся знаком «X— X», над которым указывается буквенное обозначение разъема – РМФ (рисунок 2.5).

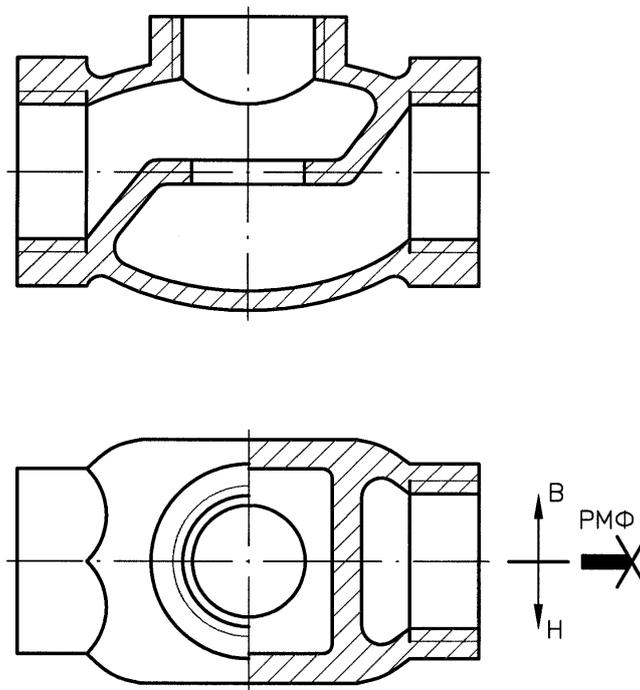


Рисунок 2.5. – Разъем модели и формы на чертеже

Припуски на механическую обработку изображают сплошной тонкой линией. Величину припуска указывают цифрой перед знаком шероховатости поверхности или величиной уклона и линейными размерами (рисунок 2.6). Величина припуска зависит от металла отливки, класса точности, размера обрабатываемой поверхности и ее положения в форме. Численное значение припуска для нижних и вертикальных поверхностей определяется по таблице 1-4 (ГОСТ 26645-85). Для верхней поверхности значение припуска увеличивают на 30...40%.

После нанесения припусков на вертикальных поверхностях отливки определяют по ГОСТ 3112-80 и показывают формовочные уклоны на наружных поверхностях модели и стержневых ящиках (таблица 22 [2]).

На следующем этапе работы определяют и наносят на чертеж детали границы стержней, размеры стержневых знаков, а также размеры зазоров между стержневыми знаками и формой по ГОСТ 3606-80 (таблица 6-8).

Стержни, их знаки и фиксаторы, а также знаки на моделях изображают в масштабе чертежа сплошной тонкой линией. Стержни в разрезе штрихуют только у контурных линий и обозначают двумя начальными буквами СТ и порядковыми номерами (рисунок 2.7).

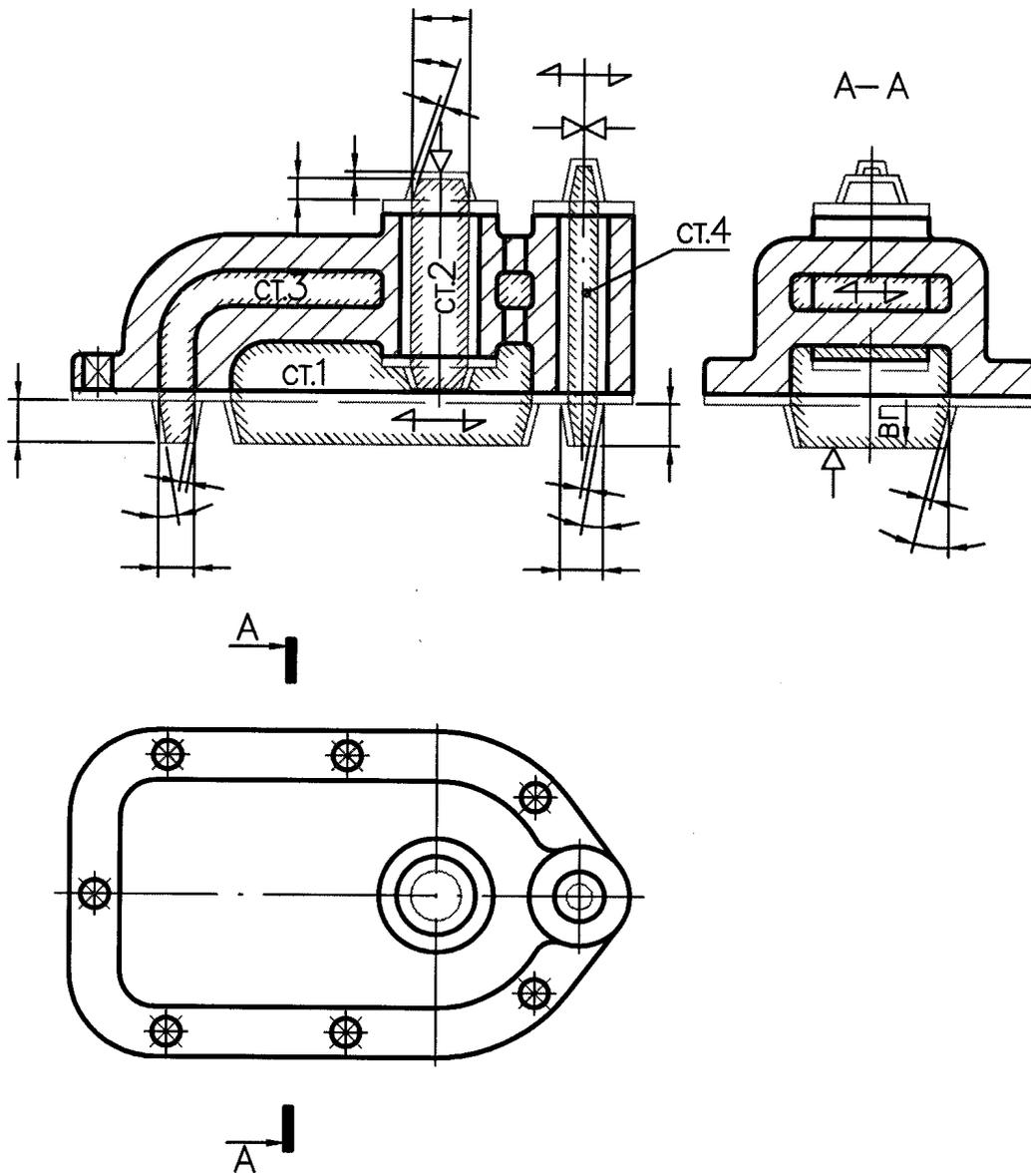


Рисунок 2.6. – Стержни и их знаки на моделях

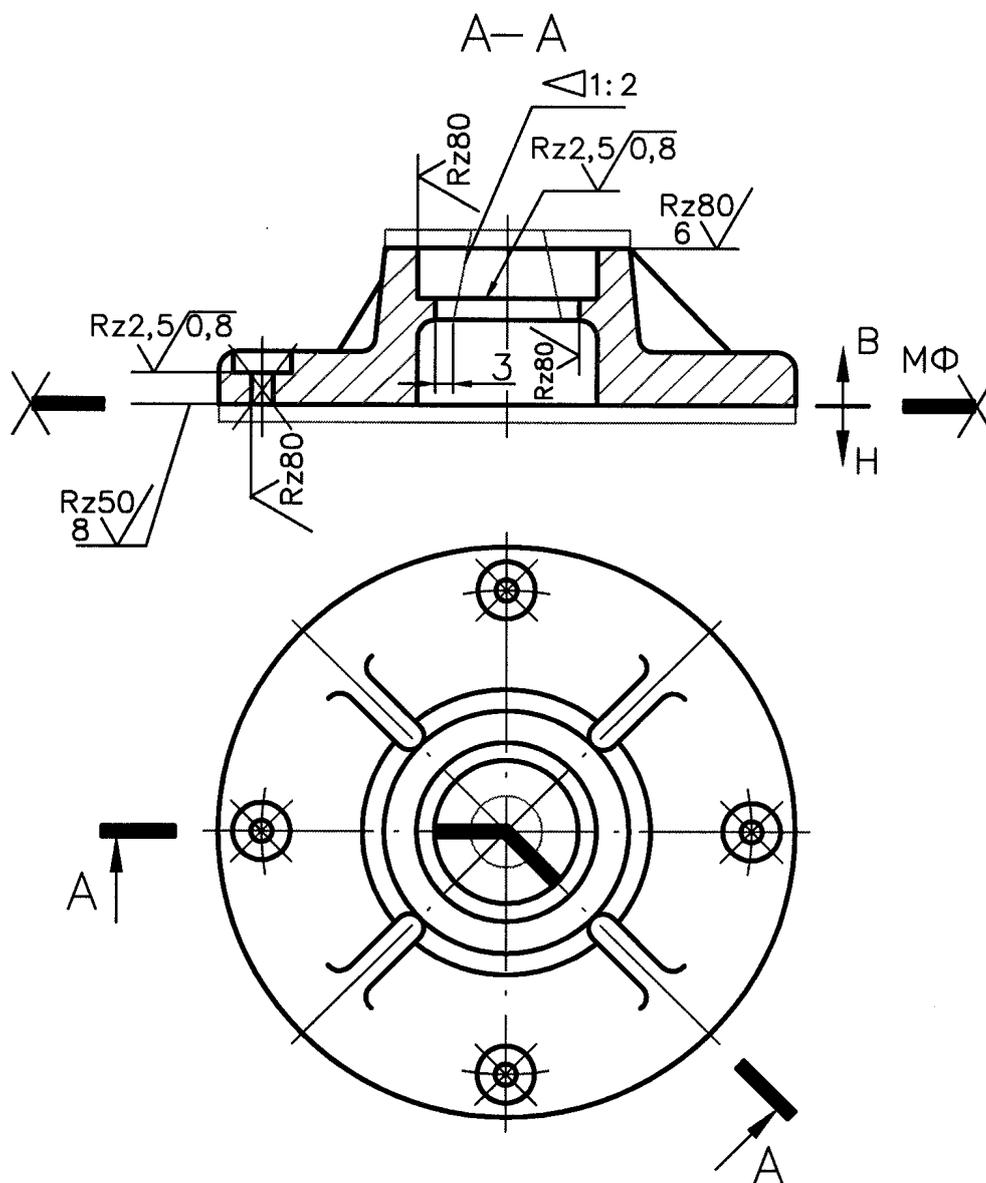


Рисунок 2.7. – Припуски на механическую обработку

Литниковую систему изображают в масштабе чертежа сплошной тонкой линией (рисунок 2.8). Сечения всех элементов литниковой системы, необходимые для построения, выносят на поле чертежа и вычерчивают в одном (предпочтительно 1:1) масштабе.

Площадь их сечений не штрихуют, а обозначают буквой F с соответствующим значком: $F_{ст}$ – для стояка, $F_{шл}$ – для шлакоуловителя, $F_{п}$ – для питателя. Суммарные площади обозначают: стояка – $\Sigma F_{ст}$; шлакоуловителя – $\Sigma F_{шл}$; питателя – $\Sigma F_{п}$. Суммарная площадь питателя для серого чугуна определяется по формуле

$$\Sigma F_{пит} = X_t \sqrt{\frac{Q}{H_p}},$$

где H_p – расчетный статический напор, см.; где X_t – коэффициент, зависящий от толщины стенки отливки; Q – масса отливки, кг.

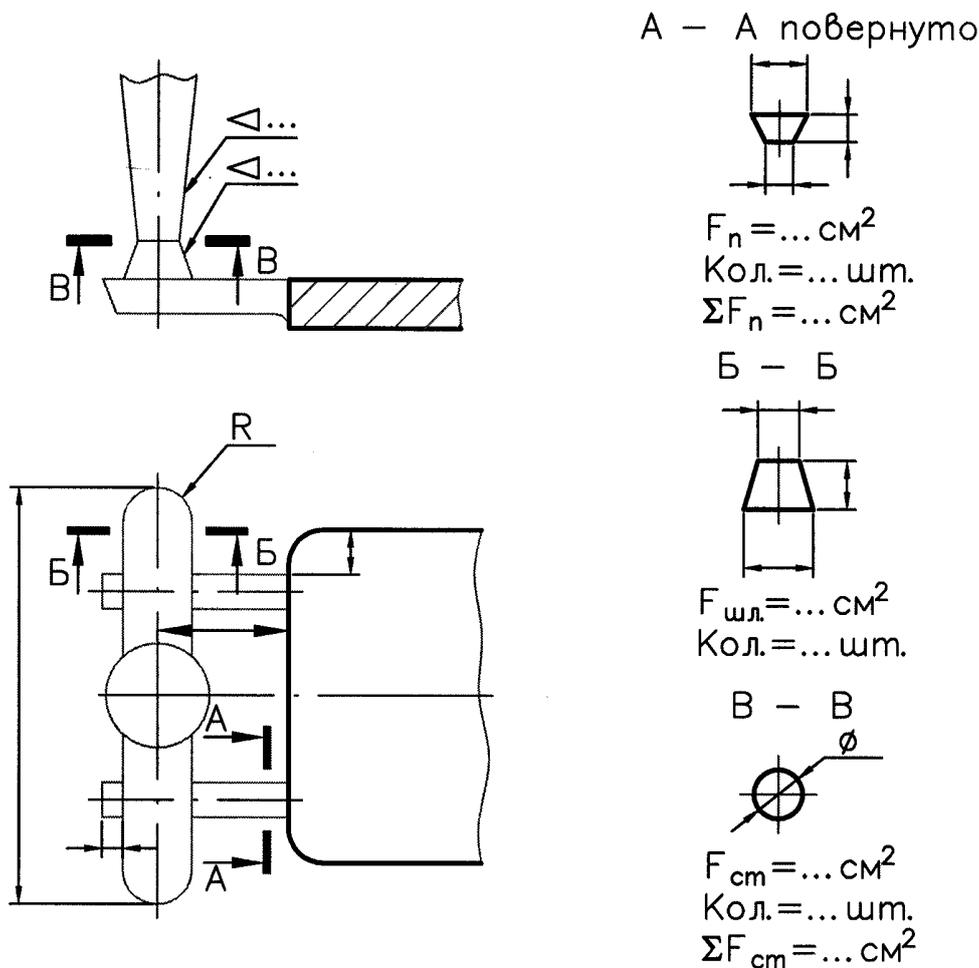


Рисунок 2.8. – Изображение литниковой системы на чертеже

Если средняя толщина стенки отливки находится в интервале 2,5...3,5, то X_t следует принять равным 5,8; для = 3,5...8 $X_t = 4,9$; для = 8...15 $X_t = 4,3$; для = 15...40 $X_t = 3,6$. Толщина стенки отливки для данной детали равно 4 мм, следовательно, $X_t = 4,9$.

$$H_p = H_0 - \frac{P^2}{2 \cdot C}, \text{ см,}$$

где H_0 – напор металла над питателем (высота стояка), см; P – высота верхней части отливки над питателем, см; C – высота отливки в форме, см.

При питателе, расположенном сбоку (рисунок 2.9),

$$H_0 = H_{ст},$$

где $H_{ст}$ – высота стояка.

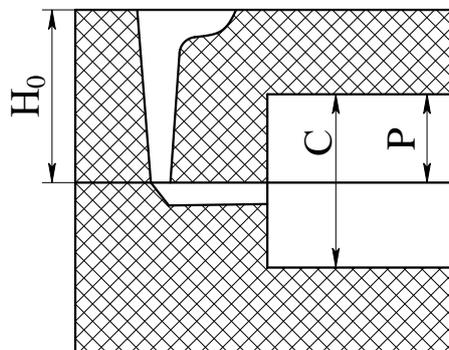


Рисунок 2.9. – Схема к расчету H_0

Время заполнения формы определяется в зависимости от массы отливки по формуле

$$t = 1,11 S_t \sqrt{Q},$$

где Q – масса отливки, кг; S_t – поправочный коэффициент (таблица 2.2).

Подставив найденные значения H_p в исходную формулу, определяют суммарную площадь сечения питателей. Площадь поперечного сечения остальных элементов литниковой системы находят по следующему соотношению, установленному на основе практических данных (таблица 33 [2]).

Таблица 2.2. – Коэффициент, характеризующий толщину стенки отливки

Средняя толщина стенки, мм	до 10	11–20	21–40	40
Коэффициент S	1,0	1,3	1,5	1,7

Площади поперечных сечений шлакоуловителя и стояка определяются по соотношению к суммарному сечению питателя; рекомендуются придерживаться следующих соотношений:

- для мелких стальных отливок и отливок из серого чугуна

$$\Sigma F_{\text{пит}} / F_{\text{шл}} / F_{\text{ст}} = 1 / 1,11 / 1,2;$$

- для крупных и средних отливок из серого чугуна

$$\Sigma F_{\text{пит}} / F_{\text{шл}} / F_{\text{ст}} = 1 / 1,2 / 1,4,$$

где $F_{\text{шл}}$ – сечение шлакоуловителя; $F_{\text{ст}}$ – сечение стояка.

Диаметр стояка в нижнем сечении подсчитывается по формуле

$$d_{\text{н}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{ст}}}{\pi}},$$

где $d_{\text{н}}$ – диаметр стояка в нижнем сечении, см.

Для заливки металла в форму используются нормализованные воронки (рисунок 2.10) или литниковые чаши (рисунок 2.11), размеры которых выбирают в зависимости от диаметра стояка.

Подбор размеров прибылей для питания отливок во время кристаллизации металла ведется по номограммам. Ориентировочно их значения можно определить из соотношения $d = (1,8-2,5) D$, где d – минимальный диаметр вписанной окружности прибыли, мм; D – диаметр вписанной окружности в наиболее массивной подприбыльной части, мм.

Выпоры ставят на самых высоких точках отливки в верхней полуформе со стороны, противоположной подводу металла (таблица 2.3).

Подбор опок ведут исходя из габаритов отливки и их количества в одной форме по данным таблиц 28, 29 [2].

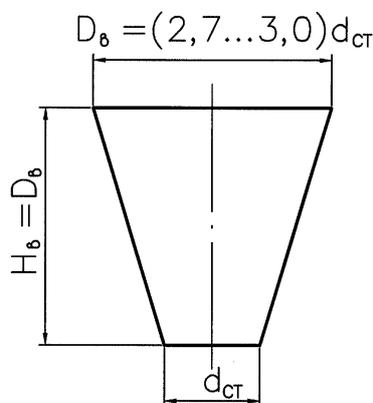


Рисунок 2.10. – Воронка нормализованная

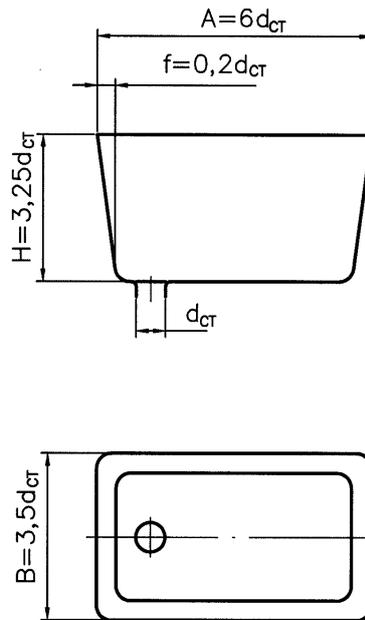


Рисунок 2.11. – Чаша литниковая

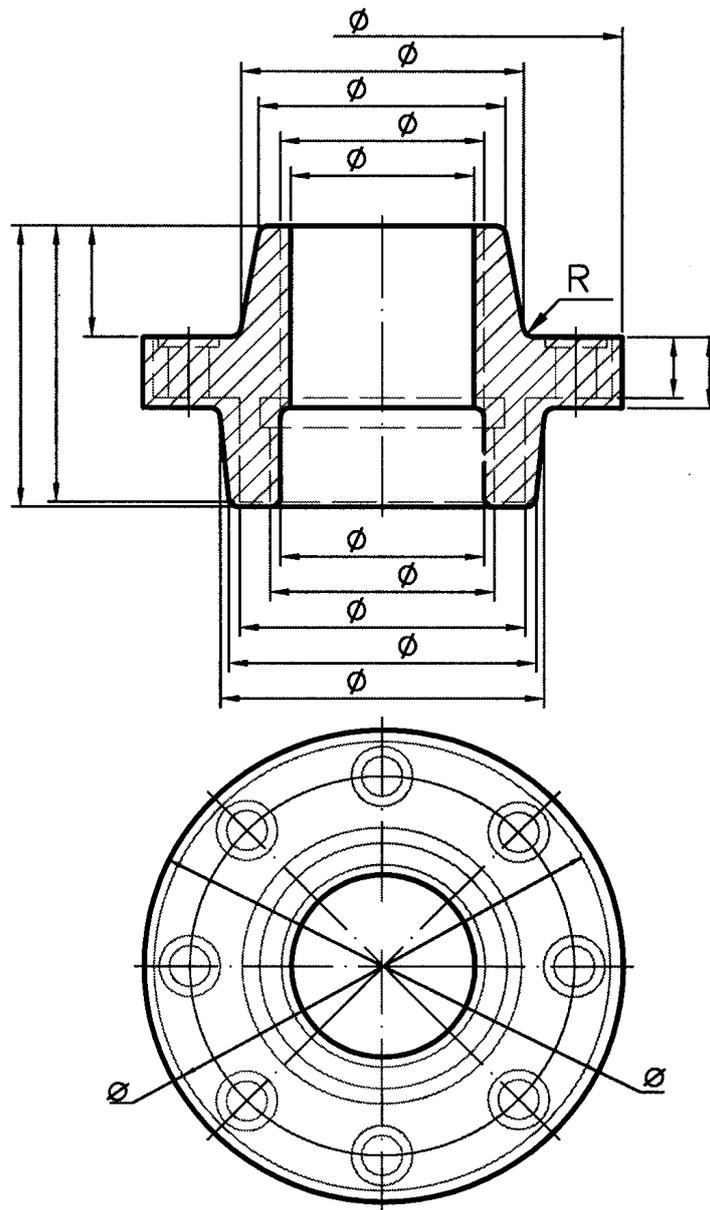
Таблица 2.3. – Допустимые расстояния между моделями и элементами формы

Масса отливки, кг	Допустимые расстояния, мм					
	от верха модели до верха опоки	от низа модели до низа опоки	от модели до стены опоки	от кромки стояка до стенок опоки	между кромками моделей	от кромки шлакоуло- вителя до кромки модели
До 5	40	40	30	30	30	30
5–10	50	50	40	40	40	30
10–25	60	60	40	50	50	30
25–50	70	70	50	50	60	40
50–100	90	90	50	60	70	50
100–250	100	100	60	70	100	60
250–500	120	120	70	80	–	70

Указания по выполнению чертежа отливки

Чертеж отливки с техническими требованиями должен содержать все данные, необходимые для изготовления, контроля и приемки отливки и выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.423-73 и ЕСКД (рисунок 2.12).

В графе 1 основной надписи чертежа под наименованием детали пишут слово «отливка». При вычерчивании чертежа отливки учитывают все припуски с указанием их величины. Внутренний контур обрабатываемых поверхностей, а также отверстий, впадин и выточек, не выполняемых в литье, вычерчивают сплошной тонкой линией.



1. Точность отливки ... ГОСТ 26645–85
2. Неуказанные формовочные уклоны..., литейные радиусы...
3. Смещение по линии разъема допускается до...
4. На необрабатываемых поверхностях допускаются раковины до... и глубиной не более... толщины стенки

Рисунок 2. 12. – Чертеж отливки с техническими требованиями

Остатки питателей, выпоров, промывников, стяжек и прибылей, если они не удаляются полностью в литейном цехе, изображаются на чертеже отливки сплошной тонкой линией: прямой при отрезке пилой или фрезой (рисунок 2.13, а) и волнистой при огневой резке или обламывании (рисунок 2.13, б). Технологические приливы, усадочные ребра, стяжки, пробы для испытаний, не удаляемые в литейном цехе, на чертеже отливки изображают сплошной основной линией (рисунок 2.14).

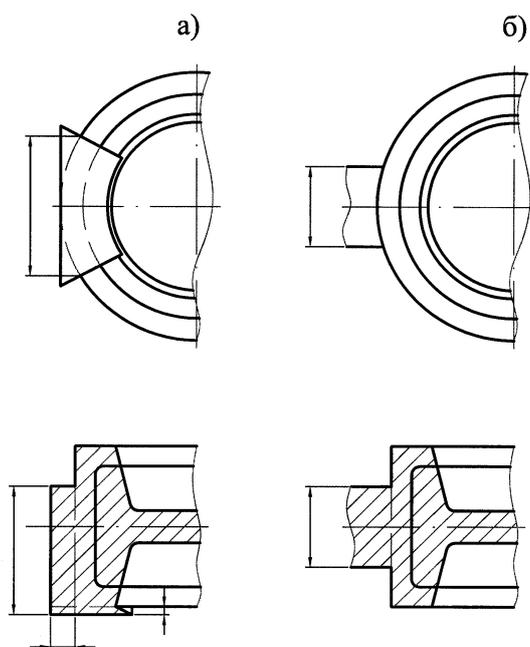


Рисунок 2.13. – Изображение остатков питателей, выпоров и стяжек:
а – удаляемые фрезой; б – удаляемые огневой резкой или обламывателем

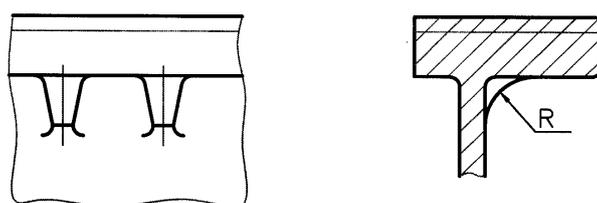


Рисунок 2.14. – Технологические приливы, усадочные раковины
и стяжки на чертеже отливки

Указания по выполнению чертежей модельного комплекта

В модельный комплект входят модель отливки, модельные плиты, стержневые ящики (если отливка изготавливается с применением стержней), модели литниково-питающей системы. Модель по конфигурации соответствует наружной

конфигурации отливки и знаковым частям стержней. Конструкция модели должна обеспечивать возможность уплотнения формовочной смеси и легкого извлечения модели из формы. Поэтому модель чаще всего делают разъемной, на вертикальных стенках предусматривают формовочные уклоны (ГОСТ 3212-80), а в местах сопряжения стенок – галтели. Размеры моделей и стержневых ящиков выполняются с учетом припусков на механическую обработку и литейной усадки сплава.

Припуски на механическую обработку назначают по ГОСТ 26645-85. Этот ГОСТ распространяется на отливки из черных и цветных металлов. Он же регламентирует допуски на размеры, массу и припуски на механическую обработку.

Классы точности размеров и масс отливок, а также ряды припусков на механическую обработку отливок, полученных различными способами литья, приведены в таблице 1 [2], допуски линейных размеров отливок должны соответствовать значениям, указанным в таблице 2 [2], а верхние предельные отклонения массы – в таблице 3 [2].

Основные припуски на механическую обработку (на сторону) устанавливают дифференцированно для каждого элемента отливки в зависимости от допусков на размеры по таблице 4 [2].

Дополнительный припуск назначается с целью компенсации на коробление, смещение по плоскости разъема, погрешность расположения обрабатываемой поверхности относительно базы обработки, если наибольшее из предельных отклонений расположения превышает половину допуска на соответствующий размер отливки. Общий припуск на механическую обработку складывается из основного и дополнительного припусков.

Значение литейной усадки зависит от природы сплава, массы и размеров отливки, а также ее степени сложности. В таблице 21 [2] приведена усадка для отливок различной сложности из разных сплавов.

Формовочные уклоны на модельном комплекте по ГОСТ 3212-80 (таблица 22 [2]). Расстояние между ребрами жесткости на моделях зависит от толщины стенки модели и выбирается из следующих соотношений (таблица 2.3).

Таблица 2.3. – Зависимость расстояния между ребрами и толщиной стенки модели

Толщина стенки, мм	6–7	8–9	10–11	12–13	14–15	15
Расстояние, мм	150	200	220	250	300	400

Основные размеры конструктивных элементов для модельного комплекта приведены в таблицах 23, 24 [2].

Определение температуры заливки металла в форму

Температура расплава перед заливкой в форму выбирается для каждого металла в зависимости от степени сложности отливки и ее толщины стенки (таблица 39 [2]).

Продолжительность охлаждения отливок в форме

Преждевременная выбивка отливок из формы часто приводит к их короблению, поводкам и горячим трещинам из-за неравномерного охлаждения и низкой прочности металла при высокой температуре. Особенно нежелательна ранняя выбивка из формы отливок из серого чугуна из-за его склонности к отбеливанию. В таблице 2.4 показана примерную длительность охлаждения отливок.

Таблица 2.4. – Длительность охлаждения отливок

Характеристика отливок	Длительность охлаждения, ч		
	Средняя толщина стенок, мм	Стальные отливки	Чугунные отливки
До 10	5... 15	0,2...0,5	0,2...0,4
10...50	15...20	0,5...0,8	0,4...0,6
50...100	15 ...30	2...5	0,8...2,0
100...500	20...50	6...8	4...6
500...2000	30...80	18...24	18...20
2000...10 000	50...120	36...50	24...36

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов П.И. Основы конструирования / Справочно-методическое пособие. – М.: Машиностроение, 1977. – Кн. 2. – 574 с.
2. Проектирование и производство заготовок в машиностроении / П.А. Руденко, Ю.А. Хардамов, В.М. Плескач; под общ. ред В.М. Плескача. – Киев: Выща шк., 1991. – 247 с.
3. Технология конструкционных материалов / А.М. Дальский, И.А. Арутюнова, Т.М. Барсукова и др.; под общ. ред. А.М. Дальского. – М.: Машиностроение, 1985. – 448 с.
4. Могилев В.К., Лев О.И. Справочник литейщика. — М.: Машиностроение, 1988. — 272 с.
5. Технология металлов и материаловедение / Б.В. Кнозоров, Л.Ф. Усова, А.В. Третьяко и др. – М.: Металлургия, 1987. – 800 с.
6. Бортников В.Г. Основы технологии переработки пластических масс. – Л.: Химия, 1983. – 304 с.
7. Технология металлов и других конструкционных материалов / М.А. Барановский, Е.И. Вербицкий, А.М. Дмитриевич и др. – Минск: Выш. шк., 1973. – 528 с.
8. Иванова В.Н., Алешунина Л.А. Технология резиновых технических изделий. – Л.: Химия, 1975. – 312 с.
9. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008739>.
10. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/39903/>.
11. ГОСТ 14771-76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004932>.
12. ГОСТ 8713-79. Сварка под флюсом. Соединения сварные. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004491>.
13. ГОСТ 8732-78. Трубы горячекатаные. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001512>.
14. ГОСТ 2.423-73. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения чертежей элементов литейной формы и отливки. – URL: https://allgosts.ru/01/080/gost_2.423-73.
15. ГОСТ 3606-80. Комплекты модельные. Стержневые знаки. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200013775>
16. ГОСТ 26645-85. Отливки из металлов и сплавов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200011547>.
17. ГОСТ 3212-92. Формовочные уклоны. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200013775>.

Соотношение чисел твердости, определенных различными методами

Твердость по Бринеллю		Твердость по Роквеллу		
Диаметр отпечатка в мм	Число твердости HB	HRC	HRA	HRB
2,20	780	72	89	
2,25	745	70	87	
2,30	712	68	86	
2,35	682	66	85	
2,40	653	64	84	
2,45	627	62	83	
2,50	601	60	82	
2,55	578	58	81	
2,60	555	56	79	
2,65	534	54	78	
2,70	514	52	77	
2,75	495	50	76	
2,80	477	49	76	
2,85	461	48	75	
2,90	444	46	74	
2,95	429	45	73	
3,00	415	44	72	
3,02	409	43	71	
3,05	401	42	71	
3,10	388	41	70	
3,15	375	40	70	
3,20	363	39	70	
3,25	352	38	69	
3,30	341	37	68	
3,35	335	36	68	
3,40	321	35	67	
3,45	311	34	67	
3,50	302	33	67	
3,55	293	31	66	
3,60	286	30	66	
3,65	277	29	65	
3,70	269	28	65	
3,75	262	27	64	
3,80	255	26	64	
3,85	248	25	63	
3,90	241	24	63	100
3,95	235	23	62	99
4,00	228	22	62	98
4,05	223	21	61	97

Твердость по Бринеллю		Твердость по Роквеллу		
Диаметр отпечатка в мм	Число твердости HB	HRC	HRA	HRB
4,10	217	20	61	97
4,15	212	19	60	96
4,20	207	18	60	95
4,25	202	16	59	94
4,30	196	15	58	93
4,35	192	15	58	92
4,40	187		57	91
4,45	183		56	89
4,50	179		56	88
4,55	174		55	87
4,60	170			86
4,65	166			85
4,70	163			84
4,75	159			83
4,80	156			82
4,85	153			81
4,90	149			80
4,95	146			78
5,00	143			76
5,05	140			76
5,10	137			75
5,15	134			74
5,20	131			72
5,25	128			71
5,30	126			69
5,35	124			69
5,40	121			67
5,45	118			66
5,50	116			65
5,55	114			64
5,60	112			62
5,65	109			61
5,70	105			59
5,75	105			58
5,80	103			57
5,85	101			56
5,90	99			54
5,95	97			53
6,00	96			52

Эскиз детали

с основными размерами

_____ наименование детали и
технические условия

_____ Материал детали: наименование, марка

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА
получения отливки в песчаную форму

№№ п/п	Схема (эскиз, название) изображения	Краткая характеристика операции, материала и элементов, изображенных в графе 2
1	а) Эскиз детали с литейно-модельными указаниями б) название эскиза	
2	а) Эскиз отливки с указанием основных размеров, припусков, уклонов и контуров детали б) название эскиза	Характеристика материала, маркировка, химический состав, свойства
3	а) Эскиз модели и стержневого ящика с указанием основных размеров б) название эскиза	Характеристика материала модели и стержневого ящика, марка, химсостав, свойства
4	а) Эскизы операций по изготовлению литейной формы б) название эскиза	Краткое описание операций формовки
5	а) Эскиз литейной формы в разрезе с указанием элементов литниковой системы б) название эскиза	Краткое описание операции сборки и крепления полуформ
6	а) Эскиз плавильного агрегата и схема разлива металла в форму б) название эскиза и операции техпроцесса	Описание операции заливки формы, основные параметры операции (температура и время заливки)
7	а) Способы и схемы контроля качества отливки. Основные свойства, подлежащие контролю б) название схемы	Основные дефекты литья и причины, их вызывающие

Карту составил:

студент гр. _____

Фамилия И.О.

Технологическая карта
изготовления поковки

Наименование детали _____
Материал детали _____
наименование, марка

№№ пп	Схема, эскиз, наименование изображения	Краткая характеристика операции, материала и элементов, изображенных в графе 2
А. Общая характеристика технологического процесса и получаемой поковки		
1	а) эскиз поковки с указанием размеров, припусков, допусков, напусков, штамповочных уклонов и радиусов б) название эскиза	характеристика материала (маркировка, химический состав, механические свойства)
2	а) эскиз исходной заготовки с указанием размеров б) название эскиза	Характеристика материала (профиль проката, краткая длина на одну поковку)
Б. Последовательность операций		
3	а) резка заготовок, схема, иллюстрирующая операцию резки (вырубки) б) название схемы	Краткое описание операции резки, применяемое оборудование, инструмент, приспособления
4	а) нагрев заготовки, схема нагревательного устройства или печи б) название схемы	Краткое описание операции нагрева исходной заготовки, температура и время нагрева
5	а) операция предварительного формообразования поковки. Эскиз рабочей полости штампа с указанием основных размеров б) название эскиза	Краткое описание операции
6	а) операция окончательного формообразования. Эскиз рабочей полости штампа с указанием размеров б) название эскиза	Краткое описание операции окончательного формообразования поковки
7	Операция контроля качества поковки. Указывается выбранный способ контроля	Краткий перечень свойств металла и качества поковки, подлежащих контролю

Составил студент гр. _____ Фамилия И.О.