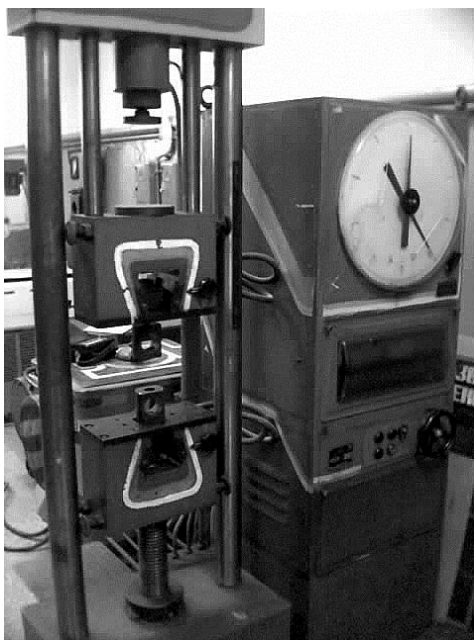


Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
“Воронежский государственный технический университет”

Кафедра технологии сварочного производства и диагностики

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Технология конструкционных материалов»
для студентов направления 15.03.01 «Машиностроение»
(профили «Оборудование и технология сварочного
производства», «Технологии, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств») всех форм обучения



Воронеж 2021

УДК 621(07)
ББК 34я7

Составитель канд. техн. наук Д. И. Бокарев

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Технология конструкционных материалов» для студентов направления 15.03.01 «Машиностроение» профили «Оборудование и технология сварочного производства», «Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» всех форм обучения: методические указания / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Д. И. Бокарев. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 43 с.

В методических указаниях приведены краткие теоретические сведения. Указания содержат цель работы и порядок ее выполнения, требования к содержанию отчета, вопросы для самоконтроля.

Предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Технология конструкционных материалов» для студентов 1 курса очной формы обучения и 2 курса заочной формы обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле М.У._лабраб_ТКМ_15.03.01.pdf.

Табл. 8. Ил. 21. Библиогр.: 10 назв.

УДК 621(07)
ББК 34я7

Рецензент - И. Б. Корчагин, канд. техн. наук, доц.
кафедры технологии сварочного производства
и диагностики ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Целью выполнения лабораторных работ по дисциплине «*Технология конструкционных материалов*» является изучение свойств и характеристик конструкционных материалов, а также процессов их получения и обработки.

Перед выполнением лабораторных работ студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности, изучить техническую документацию, получить необходимые материалы и инструмент, распределить обязанности между собой во время проведения эксперимента. Перед началом опытов каждый студент обязан ознакомиться с принципом работы установки, с характеристиками измерительных приборов. До начала экспериментов необходимо подготовить таблицы для записи показаний приборов, измерений и результатов расчетов. После окончания выполнения работы рабочее место и оборудование приводятся в порядок и сдаются учебному мастеру.

Полученные экспериментальные данные подлежат обработке и анализу, при необходимости строятся графики зависимости исследуемых параметров и представляются для проверки преподавателю. Опыты, показавшие сомнительные результаты, могут быть выполнены повторно по указанию преподавателя.

Отчет по лабораторной работе составляется и оформляется самостоятельно каждым студентом.

МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

При выборе материала исходят из комплекса свойств, которые подразделяются на *механические, физико-химические, технологические и эксплуатационные*.

Из многообразия свойств металлов и сплавов важнейшими в машиностроении принято считать механические свойства, характеризующие способность материалов сопротивляться деформированию и разрушению (в сочетании со способностью упруго и пластически деформироваться) под действием внешних механических сил. Механические свойства зависят от химического состава, структурного состояния сплавов, способов их технологической обработки и ряда других факторов.

Для определения механических свойств данного конструкционного материала изготавливают образцы, которые затем подвергают исследованию на испытательных машинах. К образцу могут быть приложены различные усилия: растягивающие, сжимающие, скручивающие и др., под действием которых в образце возникает деформация, проявляющаяся в изменении размеров и форм. Деформации могут быть *упругими* и *пластическими* (остаточными).

Упругая деформация исчезает после снятия нагрузки, при этом образец восстанавливает свои первоначальные размеры. При пластической (остаточной)

деформации те изменения размеров и формы, которые образец получил при испытании, сохраняются после снятия нагрузки.

Образцы для испытаний стандартизированы, имеют постоянные форму и размеры, поэтому механические свойства определяются в условиях одинакового заранее задаваемого напряженного состояния. Преимуществами таких испытаний являются: возможность сравнения свойств материалов, отличающихся химическим составом, способом изготовления и обработки; относительная простота проведения испытаний; сравнительно большой накопленный объем экспериментальных данных. Недостатки – сложность сопоставления характеристик материала, полученных на образцах с его поведением в готовых деталях; зависимость от абсолютных геометрических размеров образца – т.е. влияние так называемого *масштабного фактора*.

Испытания, называемые *натурными*, могут проводиться также на *готовых деталях*. Они определяют поведение материала в условиях максимально приближенных или полностью совпадающих с условиями эксплуатации того или иного механизма, узла или конструкции. Например, испытания подшипников на долговечность, пружин и других упругих элементов на максимальное количество циклов растяжения – сжатия и т.д. В этом случае не определяются характеристики самого материала, а оценивается работоспособность конструкции, например, в часах или количестве циклов наработки до отказа.

К недостаткам испытаний данной группы следует отнести: сложность, длительность и трудоемкость выполнения; при анализе результатов трудно разделить влияние свойств материала и конструктивных факторов; получаемые данные практически невозможно использовать для других деталей, работающих в иных условиях.

Промежуточным видом, между испытаниями на образцах и готовых деталях, являются испытания на *образцах* сравнительно *сложной формы*. Задача таких испытаний – определить поведение материала в сложном напряженном состоянии (испытания на растяжение образцов, установленных в разрывной машине с перекосом (эксцентриситетом), образцов со специальным надрезом и т.п.).

При механических испытаниях определяются характеристики как в области упругой, так и в области пластической деформации. В зависимости от способа приложения нагрузки механические испытания делятся на три вида:

1. *статические*, при которых нагрузка на образец остается постоянной в течение длительного времени или постепенно увеличивается в процессе испытания;

2. *динамические*, когда нагрузка на образец возрастает мгновенно и действует в течение незначительного времени (носит характер удара);

3. испытания при *повторных* или *знакопеременных нагрузках*, т.е. при нагрузках, многократно изменяющихся по величине или по величине и направлению.

К основным *механическим свойствам* относят: твердость, прочность, пластичность, усталостную прочность, ползучесть, ударную вязкость, износостойкость.

Физико-химические свойства материалов: температура плавления, плотность, электро- и теплопроводность, коэффициенты линейного и объемного расширения, способность к химическому взаимодействию с агрессивными средами, антикоррозионные свойства. Перечисленные свойства во многом определяются химическим составом компонентов сплава и их структурой.

Свойства машиностроительных материалов, определяющие их применимость в машиностроении, условно можно разделить на два рода – *структурно-чувствительные* и *структурно-нечувствительные*.

Свойства первого рода зависят не только от материала, но и от степени совершенства его строения, вида термообработки конкретного образца из этого материала. Второго – характерны для материалов данного вида и практически не зависят от степени несовершенства строения и структуры, появляющейся при том или ином виде термообработки.

Технологические свойства металлов и сплавов характеризуют их способность поддаваться различным видам горячей и холодной обработки, это – литейные свойства, ковкость, свариваемость и обрабатываемость режущим инструментом. Показатели технологических свойств определяют специальными испытаниями, и они в значительной степени влияют на выбор материала конструкции.

Работоспособность конструкции определяется *эксплуатационными* или *служебными* характеристиками материалов, применяемых для ее изготовления. В зависимости от условий эксплуатации и рабочей среды кроме высокой прочности к машиностроительным материалам могут предъявляться и другие требования: жаропрочность, жаростойкость, хладостойкость, коррозионная стойкость, износостойкость, антифрикционность и т.д.

Таким образом, при выборе материала для создания технологичной конструкции необходимо комплексно учитывать его прочностные, технологические и эксплуатационные характеристики.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Цель работы: ознакомление с видами и методикой механических испытаний материалов; определение характеристик прочности и пластичности конструкционных материалов при испытании на растяжение.

Прочность - способность металла сопротивляться разрушению под действием внешней *статической* или *динамической* нагрузки - определяется в зависимости от характера деформирующей нагрузки.

При *статических* нагрузках производят испытания на растяжение, сжатие, изгиб и кручение. Прочность при *динамических* нагрузках определяют по данным испытаний: на ударную вязкость (ударом разрушают стандартный образец на копре); на усталостную прочность (определяют способность материала выдерживать, не разрушаясь, большое число повторно-переменных нагрузок), на ползучесть (определяют способность нагретого материала медленно и непрерывно деформироваться при постоянных нагрузках).

Среди статических методов испытаний наиболее широкое распространение получило испытание на растяжение, в процессе которого образец деформируется плавно возрастающей нагрузкой до его разрушения (рис. 1, б).

Для испытаний обычно применяются образцы цилиндрической формы, у которых расчетная начальная длина l_0 в 5 или 10 раз больше диаметра (пятикратные и десятикратные образцы), а также плоские (табл. 1, рис. 1, а). Образец с диаметром $d_0 = 20$ мм называется нормальным.

Таблица 1

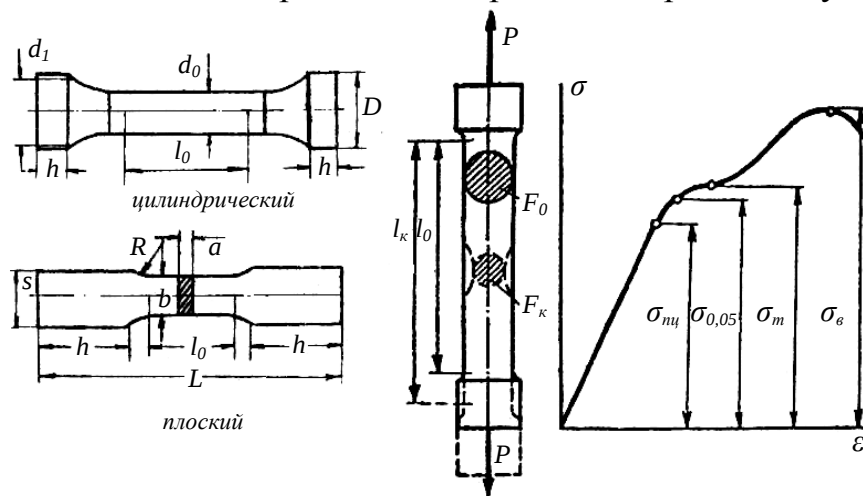
Стандартные образцы для испытаний на растяжение по ГОСТ 1497-84

Образец	Расчетная длина l_0 , мм	Сечение образца F_0 , мм ²	Диаметр цилиндрического образца d_0 , мм	Символы обозначения кратности образца (относительно удлинения)
<i>Нормальный</i>				
длинный	200	314	20	δ_{10}
короткий	100	314	20	δ_5
<i>Пропорциональный</i>				
длинный	$11,3\sqrt{F_0}$	произвольное	произвольный	δ_{10}
короткий	$5,65\sqrt{F_0}$	произвольное	произвольный	δ_5

При испытании замеряются приложенные усилия и соответствующие удлинения образца. На основании этих замеров строится *диаграмма растяжения* (рис. 1, в). Большинство машин для испытания на статическое растяжение имеют устройства, автоматически вычерчивающие диаграмму растяжения в координатах напряжение σ – относительная деформация ϵ .

Если разделить нагрузки, соответствующие характерным точкам диаграммы, на площадь поперечного сечения образца до растяжения, то можно определить следующие характеристики прочности: предел *пропорциональности* $\sigma_{ПЦ}$ – линейная зависимость между напряжением и деформацией образца (закон Гука – $\sigma = E \cdot \epsilon$, где E – модуль упругости), предел *упругости* $\sigma_{0,05}$ – де-

формации находятся в упругой области, остаточная пластическая деформация после снятия нагрузки отсутствует, предел *текучести* σ_T и предел *прочности* σ_B . Из них наиболее часто применяют в расчетах предел текучести и предел



прочности.

Рис. 1. Образцы (а), схема испытания на растяжение (б) и диаграмма растяжения малоуглеродистой стали (в)

Предел текучести (физический) - это наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения растягивающей нагрузки

$$\sigma_T = P_T / F_0, \quad (1)$$

где σ_T - предел текучести, МПа; P_T - усилие, соответствующее «течению» материала, Н; F_0 - начальная площадь поперечного сечения образца, мм².

Для материалов, не имеющих ярко выраженной площадки текучести, за *условный предел текучести* принимают напряжение, которое вызывает остаточное удлинение образца, равное 0,2 % от его первоначальной длины ($\sigma_{0,2}$).

Предел прочности (временное сопротивление) - это условное напряжение, соответствующее максимальному усилию, которое может выдержать образец до разрушения

$$\sigma_B = P_B / F_0, \quad (2)$$

где σ_B - предел прочности, МПа; P_B - максимальное усилие (разрушения образца), Н; F_0 - начальная площадь поперечного сечения образца, мм².

Пластичность - свойство твердых материалов изменять без разрушения форму и размеры под влиянием нагрузки или напряжений, устойчиво сохраняя образовавшуюся форму и размер после прекращения этого влияния. При проведении механических испытаний на растяжение можно также определить две важные характеристики пластичности - *относительное удлинение* и *относительное сужение*.

Относительное удлинение δ рассчитывается обычно как отношение приращения длины образца после разрыва l_k к его исходной расчетной длине l_0

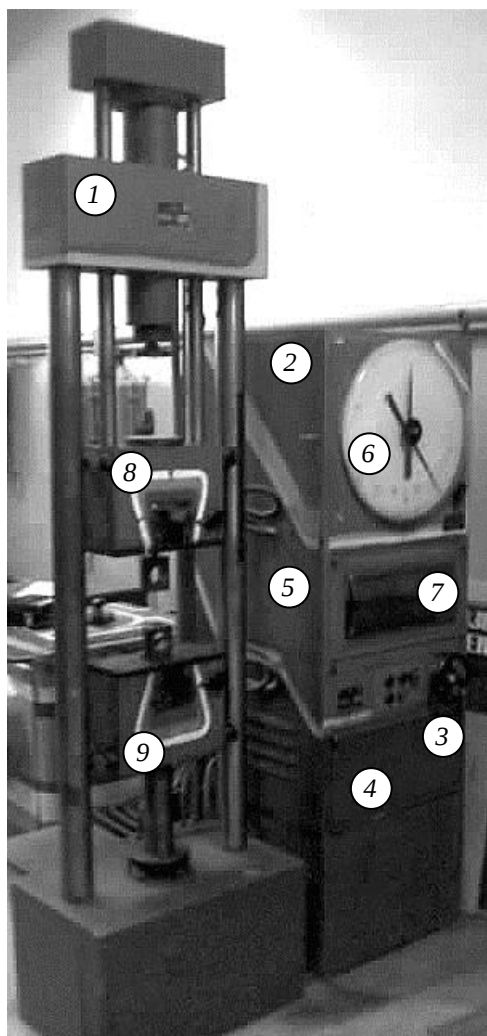
$$\delta = (l_k - l_0) / l_0 \cdot 100\% . \quad (3)$$

Относительное сужение ψ определяется как отношение уменьшения площади поперечного сечения образца после разрыва F_k к первоначальной площади F_0

$$\psi = (F_0 - F_k) / F_0 \cdot 100\% . \quad (4)$$

Относительное удлинение и относительное сужение характеризуют *способность металла получать пластические деформации* - свойство, важное в технологииковки, штамповки, прокатки и т.д.

Разрывная машина испытательная Р-10 с предельной нагрузкой 100 кН по ГОСТ 7855-84 предназначена для статических испытаний на растяжение образцов металлов и сплавов по ГОСТ 1497-73, ГОСТ 12004-81, а также изделий из них.



При применении дополнительных приспособлений могут производиться испытания на сжатие, изгиб и загиб по ГОСТ 14019-80.

Рис. 2. Разрывная машина Р-10

Машина представляет собой установку, состоящую из нагружающего устройства 1 и пульта управления 2 (рис. 2). Пульт управления служит для управления процессом нагружения с помощью рукоятки, кнопок включения гидравлического насоса и электродвигателя привода перемещения нижнего захвата 3 и контроля за величинами нагрузок и деформаций. Пульт управления включает в себя насосную станцию 4 с системой управления 5, силоизмеритель 6 и диаграммный аппарат 7 для записи диаграммы «нагрузка-деформация». Нагружающее устройство предназначено для разрушения испытываемого образца. Оно выполнено вертикально с гидравлическим приводом верхнего захвата 8 и механическим - нижнего 9. Привод захватов для закрепления образца – гидравлический. Захваты сменные - для испытаний как плоских, так и цилиндрических образцов. При

испытаниях на сжатие образец располагают на верхней траверсе.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством и инструкцией по эксплуатации машины разрывной для статических испытаний металлов Р-10.
2. Убедиться в исправности машины путем внешнего осмотра и опробования.
3. Выбрать нужный диапазон измерения нагрузок, исходя из размеров испытываемого образца. При этом необходимо стремиться, чтобы максимальное измеряемое при испытании усилие находилось в третьей четверти соответствующей шкалы нагрузок. Ожидаемое максимальное измеряемое усилие определяется путем подсчета.
4. Установить приспособление для испытания цилиндрических или плоских образцов (по указанию преподавателя или учебного мастера).
5. Установить в приспособление соответствующий образец для испытаний, предварительно указав в журнале или тетради для лабораторных работ марку материала и соответствующие размеры образца, его эскиз. При необходимости по указанию преподавателя выполнить заданный вид термообработки образца.
6. Произвести плавное нагружение образца до разрушения, отмечая показания шкалы, соответствующие характерным точкам.
7. Извлечь разрушенный образец из приспособления. Выполнить необходимые замеры образца.
8. Повторить переходы 5 - 7 для образца из другой марки стали или сплава, указанной преподавателем или учебным мастером.
9. Рассчитать по формулам (1) – (4) предел текучести, предел прочности, относительное удлинение и относительное сужение.
10. Результаты расчетов оформить в виде табл. 2.

Содержание отчета

1. Краткие теоретические сведения.
2. Марка разрывной машины, ее основные технические характеристики.
3. Эскиз испытываемых образцов и характер разрушения.
4. Таблица результатов опытов, расчеты и графические зависимости.
5. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

Таблица 2

Результаты испытаний и расчетов характеристик образцов

Номер образца	Материал	Вид ТО	$F_{0,2}$ МПа	l_0 , мм	$F_{\kappa,2}$ МПа	l_{κ} , мм	P_{κ} , Н	σ_{κ} , МПа	δ , %	Ψ , %

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные характеристики конструкционных материалов.
2. Какие виды механических испытаний вы знаете?
3. В чем отличие между статическими и динамическими испытаниями?
4. Назовите характеристики прочности и пластичности.
5. Упругие и пластические деформации.
6. Что такое диаграмма растяжения, можно ли по ее виду судить о свойствах материала?
7. Характерные участки диаграммы растяжения.
8. Виды образцов для испытаний.
9. Понятие масштабного фактора.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучение методики определения ударной вязкости материалов.

Механические свойства образцов, определенные путем медленного повышения нагрузки, во многих случаях не соответствуют действительным условиям нагружения деталей в работе, когда нагрузка возрастает очень быстро. Поэтому возникает необходимость исследовать свойства металла при ударе. Так как в данном случае невозможно достаточно точно определить нагрузку (напряжение), то обычно при ударных испытаниях определяют работу, затрачиваемую на разрушение образца. Количество работы, поглощенной образцом при разрушении ударом, зависит от пластичности испытуемого материала, формы и размера образца, расстояния между опорами, формы надреза и т.д.

Для испытаний применяют образцы, изготовленные в соответствии с ГОСТ 9454 - 78. Форма и размеры образцов приведены на рис. 3 и в табл. 3.

Работа излома определяется на специальных маятниковых копрах (рис. 4). Перед испытанием маятник 1 отводится на угол α , а затем отпускается и падает. При падении маятник разрушает образец 3, помещенный на опорах копра, и, продолжая двигаться по инерции, поднимается на некоторый угол β . Этот угол взлета маятника отсчитывается по шкале 2 по положению стрелки соответствующего указателя.

Работа, затраченная на разрушение образца, принимается равной разности энергии маятника в его положениях до и после удара

$$A = G \cdot (H - h), \quad (5)$$

где A – работа разрушения образца, Дж; G – вес маятника, Н; H – высота подъема маятника до удара, м; h – высота взлета маятника после удара, м.

Работа удара A определяется обычно по шкале, укрепленной на испытательном копре и градуированной в килограммометрах или по таблицам, имеющимся на каждом маятниковом копре.

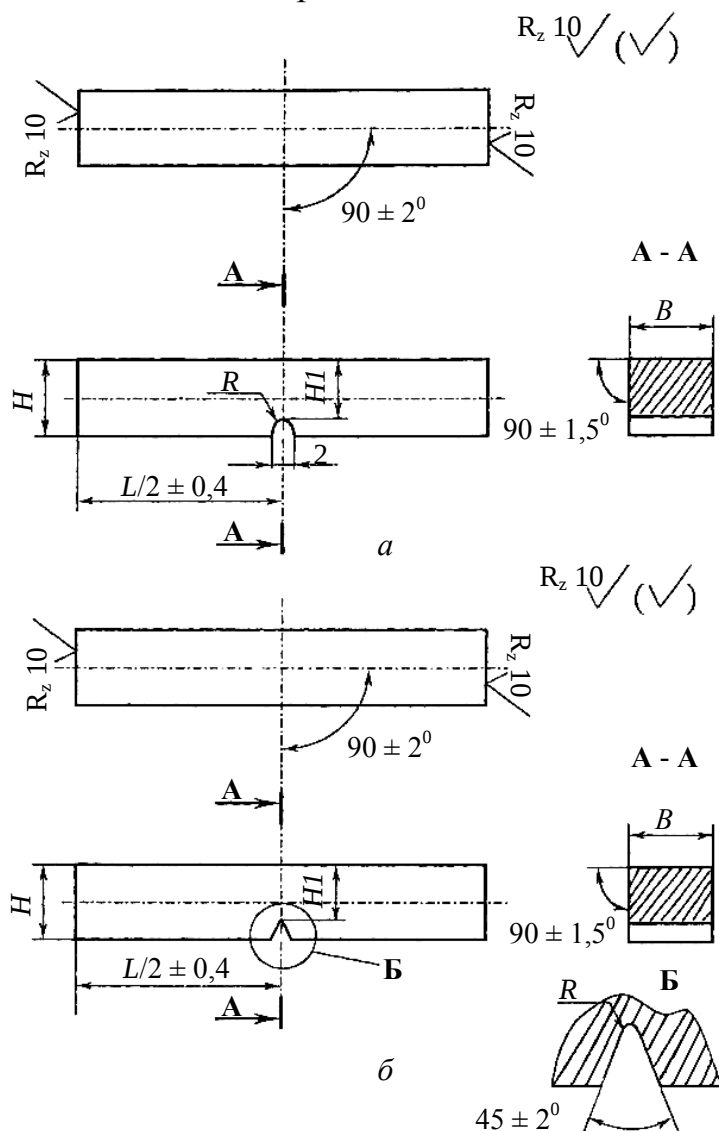


Рис. 3. Формы образцов для испытаний на ударную вязкость:

a – образец с концентратором вида U ;

b – образец с концентратором вида V

Ударная вязкость a (Дж/м²) характеризуется работой, расходуемой на ударный излом образца A , отнесенной к площади поперечного сечения F_0 образца в месте надреза

$$a = A / F_0. \quad (6)$$

Ударная вязкость очень чувствительна к изменению структуры металла. Так, укрупнение зерна, незначительно отражающееся на статических свойствах металлов и сплавов, резко повышает способность к хрупкому разрушению. Проводя испытания на ударную вязкость при различных температурах, можно выявить такие важные свойства сталей, как краснеломкость и хладноломкость.

Таблица 3

Размеры образцов для испытаний на ударную вязкость
(ГОСТ 9454-78)

Вид концен-тратора	Радиус концен-тратора, мм	Тип образ-ца	Длина L (предель-ное отклонение $\pm 0,6$), мм	Ширина B , мм	Высота H (пре-дельное отклоне-ние $\pm 0,1$), мм	Глубина надреза h_1 (пре-дельное отклоне-ние $\pm 0,1$), мм	Глубина Концен-тратора h (предель-ное отклоне-ние $\pm 0,6$), мм	Высота рабочего сечения H_1 , мм	
U	$1\pm 0,07^*$	1	55	10 $\pm$ 0,10	8	-	-	8 $\pm$ 0,1	
		2		7,5 $\pm$ 0,10					6 $\pm$ 0,1
		3		5 $\pm$ 0,5					
		4		2 $\pm$ 0,05					
		5		10 $\pm$ 0,10	10			7 $\pm$ 0,1	
		6		7,5 $\pm$ 0,10					
		7		5 $\pm$ 0,05					
		8		10 $\pm$ 0,10					5 $\pm$ 0,1
		9		7,5 $\pm$ 0,10					
		10		5 $\pm$ 0,05					
V	0,25+0,025	11	55	10 $\pm$ 0,10	10	-	-	$\pm$ 0,05*	
		12		7,5 $\pm$ 0,10					
		13		5 $\pm$ 0,05					
		14		2 $\pm$ 0,05	8			6 $\pm$ 0,05	
T	трещина	15	55	10 $\pm$ 0,10	11	1,5	3,0		
		16		7,5 $\pm$ 0,10					
		17		5 $\pm$ 0,05					
		18		2 $\pm$ 0,05	9				
		19		10 $\pm$ 0,10	10				3,5

* При контрольных массовых испытаниях допускается изготовление образцов с предельными отклонениями $\pm 0,10$ мм

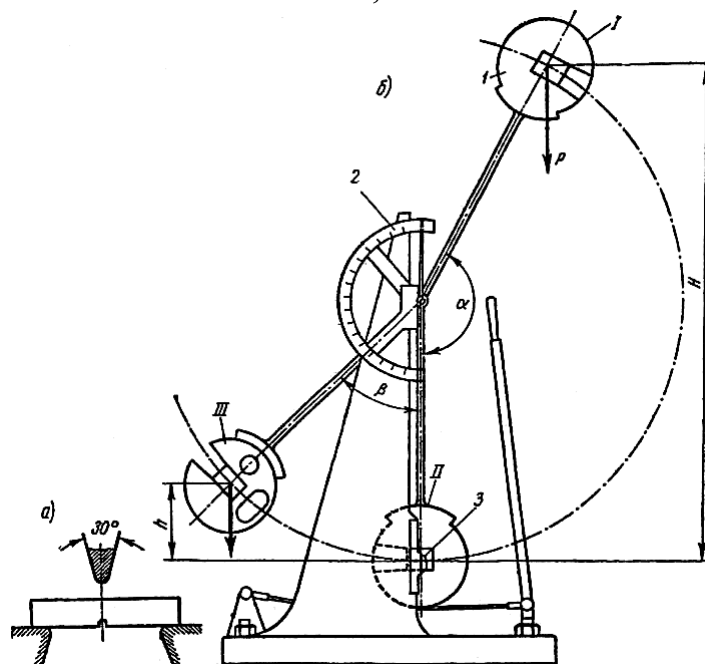


Рис. 4. Схема испытания на удар: 1 - маятник копра; 2 - шкала; 3 - образец

Общие требования к проведению испытаний на ударный изгиб

Метод основан на разрушении образца с концентратором, расположенным посередине одним ударом маятникового копра. Концы образца располагают на опорах. В результате испытания определяют полную работу, затраченную при ударе, или ударную вязкость.

Тип, число и материал образцов, температура испытания указываются преподавателем.

Методика проведения работы

1. Перед испытанием необходимо:

- изучить техническую документацию по устройству и эксплуатации копра маятникового КМ - 30;
- проверить количество и маркировку образцов для испытаний, сделав соответствующую отметку в журнале или тетради для лабораторных работ (с указанием марки материала или особенностей его структуры);
- измерить высоту (H) и ширину (B) образца в месте надреза с точностью до 0,1 мм;
- привести в тетради или рабочем журнале эскиз образца с указанием типа концентратора;
- определить начальную площадь поперечного сечения (S_0) в месте концентратора по формуле: $S_0 = B \cdot H$ с округлением до второй значащей цифры;
- убедиться в исправности копра визуальным осмотром.

2. При испытаниях на ударный изгиб при пониженных температурах необходимо:

- залить в термостат этиловый спирт;
- уложить в термостат образцы;
- при постоянном перемешивании добавить в спирт жидкий азот (ГОСТ 9293 -74) до достижения заданной температуры;
- выдержать образец в охлаждающем растворе не менее 15 минут (при увеличении температуры выше заданной необходимо в раствор долить жидкий азот);
- образцы испытывать с переохлаждением (3 - 4) °С при ударе маятника, со стороны, противоположной концентратору не позднее, чем через 3 - 5 с после извлечения из термостата.

3. Работу удара определять по шкале маятникового копра и обозначать двумя буквами (KU , KV) и цифрами, где K - символ работы; U , V – вид концентратора.

4. Ударную вязкость обозначать тремя буквами (KCU , KCV) и вычислять по формуле:

$$KC(U, V) = K/S_0, \quad (7)$$

где K - работа удара; U, V - вид концентратора.

5. По окончании испытаний проверить образцы на наличие дефектов в месте разрушения, чтобы установить объективность результатов. *Результаты испытаний не учитывать при разрушении образца по дефектам металлургического характера.*

6. Полученные результаты занести в рабочий журнал или тетрадь (табл. 4).

7. Сравнить полученные экспериментальные значения ударной вязкости образцов со справочными.

8. Сделать выводы по работе.

Таблица 4

Форма записи результатов испытаний

Тип образца по ГОСТ 9454-78	Количество образцов	Начальная площадь поперечного сечения S_0 , мм	Работа удара KU , кгс·м	Работа удара KV , кгс·м	Ударная вязкость KCU , кгс·м/см ²	Ударная вязкость KCV , кгс·м/см ²	Табличные значения ударной вязкости	
							KCU , кгс·м/см ²	KCV , кгс·м/см ²

Содержание отчета

1. Краткие теоретические сведения.
2. Марка копра, его основные характеристики.
3. Эскиз испытываемых образцов и характер разрушения.
4. Таблица результатов опытов и расчетов.
5. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. К каким видам испытаний относится испытание на ударную вязкость?
2. Чем характеризуется ударная вязкость?
3. Какие свойства материала определяются ударной вязкостью? Область применения данного вида испытаний.
4. Как влияет структура металла на величину ударной вязкости?
5. Конструкция образцов.
6. Устройство маятникового копра.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучение методики определения твердости материалов.

Определение твердости широко применяется в лабораторных и производственных условиях для характеристики механических свойств металлов и сплавов.

Твердость измеряют путем воздействия на поверхность материала наконечника (*индентора*), изготовленного из малодеформирующегося материала (твердых сплавов, закаленных сталей, алмаза и т.д.) и имеющего форму шарика, конуса, пирамиды или иглы.

Существует несколько способов измерения твердости, различающихся по характеру воздействия наконечника. Твердость можно измерять *вдавливанием* наконечника, *царапанием*, *поверхности*, *ударом* или по *отскоку* наконечника – шарика.

Твердость, определяемая вдавливанием, характеризует сопротивление пластической деформации, царапанием – сопротивление разрушению (в основном срезе), по отскоку – упругие свойства.

Наибольшее применение получило измерение твердости вдавливанием. В результате вдавливания с определенной нагрузкой поверхностные слои металла, находящиеся под наконечником и вблизи него, пластически деформируются. После снятия нагрузки остается отпечаток. Особенность протекающей при этом деформации, заключается в том, что она заключена только в небольшом объеме, окруженном недеформированным материалом. Преобладание касательных напряжений позволяет производить оценку пластической деформации даже хрупких материалов (например, чугуна), которые при обычных механических испытаниях (растяжение, сжатие, изгиб, кручение) разрушаются без макроскопически заметной пластической деформации.

Преимуществами метода измерения твердости являются:

1. количественная зависимость между твердостью и другими механическими свойствами (пределом прочности, выносливости и др.);
2. сравнительная простота выполнения испытаний, не требуется изготовления специальных образцов и во многих случаях тщательной подготовки поверхности;
3. измерение твердости является неразрушающим методом, поэтому его можно использовать для контроля готовых деталей;
4. твердость можно измерять на деталях небольшой толщины, в тонких слоях, микрообъемах металла.

Для полной характеристики свойств металла необходимо наряду с измерением твердости проводить другие механические испытания.

Следует различать два способа измерения твердости вдавливанием: **макро-** и **микротвердость**. В первом случае в испытуемый материал вдавливаются

тело, проникающее на сравнительно большую глубину, зависящую от прилагаемой нагрузки и свойств металла. Кроме того, во многих испытаниях вдавливается тело, значительных размеров, например, стальной шарик диаметром 10 мм, в результате чего в деформируемом объеме оказываются представленными все фазы и структурные составляющие сплава в количествах и с расположением, характерным для измеряемого материала. Измеренная твердость будет в этом случае характеризовать свойства всего испытываемого материала.

Измерение микротвердости позволяет определить свойства отдельных зерен, фаз, структурных составляющих сплава, а не «усредненную» макротвердость. Объем деформируемого материала, меньше объема (площади) зерна, поэтому прилагаемая нагрузка выбирается небольшой. Микротвердость измеряют для характеристик свойств очень малых по размерам деталей.

Значительное влияние на результаты испытаний твердости оказывает состояние поверхности измеряемого материала. Если поверхность неровная – криволинейная или с выступами, то отдельные участки в различной степени участвуют в сопротивлении вдавливанию и деформации, что приводит к ошибкам в измерении. Чем меньше нагрузка для вдавливания, тем более тщательно должна быть подготовлена поверхность образца. Она должна представлять шлифованную горизонтальную площадку, а для измерения микротвердости – полированную (*при изготовлении шлифа нельзя допускать наклепа в поверхностном слое*).

Метод измерения микротвердости

Для изучения свойств и превращений в сплавах необходимо не только знать «усредненную» твердость, но и определять твердость отдельных фаз и структур сплава. Микротвердость определяют вдавливаем алмазной пирамиды.

Прибор типа ПМТ-3, разработанный М.М. Хрущовым и Е.С. Берковичем, имеет штатив 1 вертикального микроскопа с тубусом, перемещающимся вверх и вниз с помощью макрометрического винта 2 и микрометрического винта 3. На верхний конец тубуса насажен окулярный микрометр 4, а в нижнем конце закреплен штوك 5 с алмазной пирамидой, объектив 6, аппаратура освещения 12 (рис. 5).

Алмазная пирамида имеет угол между гранями при вершине 136° , т.е. такой же, как и в пирамиде для измерения по Виккерсу (что облегчает пересчет на число Виккерса). Нагрузка для вдавливания пирамиды создается грузами, устанавливаемыми на шток 5. В приборе применяют грузы от 1 до 200 г в зависимости от особенностей изучаемой структуры и задач исследования.

Поверхность измеряемого образца шлифуют и полируют (оптимальнее всего электрополирование), а при необходимости подвергают травлению реактивами, применяемыми для микроанализа соответствующих сплавов.

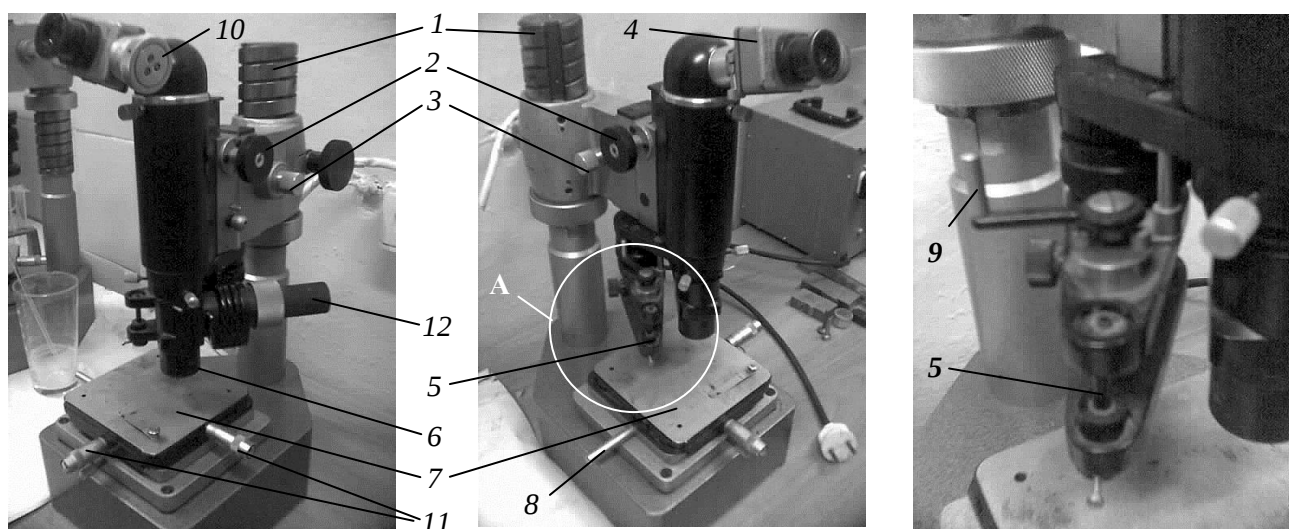


Рис. 5. Микротвердомер ПМТ-3

Методика выполнения работы

1. Закрепить образец пластилином на предметном столике 7 так, чтобы исследуемая поверхность была параллельна рабочей поверхности столика и находилась под объективом 6.

2. Поместить на шток 5 выбранный груз.

3. Выбрать место на образце для отпечатка.

4. Плавно повернуть столик ручкой 8 на 180^0 против часовой стрелки до упора, не допуская при этом толчков.

5. Медленным плавным поворотом рукоятки 9 против часовой стрелки опустить шток так, чтобы алмаз коснулся исследуемой поверхности. Рукоятку поворачивать на 180^0 в течение 10 – 15 с. После выдержки под нагрузкой (5 с), повернуть рукоятку в исходное положение.

6. Повернуть предметный столик в прежнее положение, так чтобы образец оказался под объективом микроскопа.

7. Измерить диагональ отпечатка. Измерительный барабанокуляр микрометра 10 совместить с отметкой «0». Наблюдая отпечаток в окуляр микроскопа, передвигая предметный столик в двух направления винтами 11 и поворачивая окуляр 4, подвести отпечаток к перекрестию, так чтобы угол отпечатка совпал с центром перекрестия, а его стороны были параллельны линиям перекрестия (рис. 6, а). Затем, вращая измерительный барабан, добиться совмещения перекрестия окуляра с противоположными 2-мя сторонами отпечатка (рис. 6, б). Произвести отсчет по окуляр-микрометру. Число делений, умноженное на цену деления (1 деление барабана = 0,00031 мм), дает истинную величину диагонали отпечатка. Твердость материала определяется по формуле

$$H = \frac{1,854 \cdot P}{c^2}, \quad (8)$$

где H – твердость материала, МПа; P – нагрузка, Н; c - диагональ отпечатка, мм.

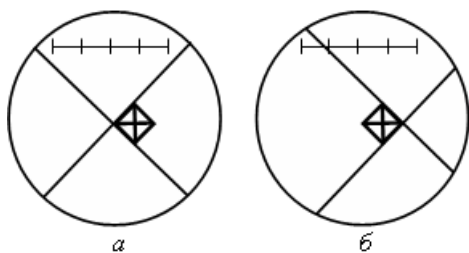


Рис. 6. Схема измерения диагонали отпечатка

Для уменьшения погрешности измерений определяют обе диагонали отпечатка и в формулу (8) подставляют среднее их значение.

Содержание отчета

1. Краткая характеристика методов определения твердости материалов.
2. Описание используемого оборудования и образцов.
3. Значения твердости исследуемых материалов.

Контрольные вопросы

1. Какие методы измерения твердости вы знаете?
2. Какие свойства характеризует твердость материала?
3. В чем преимущество и недостатки метода измерения твердости по сравнению с другими видами механических испытаний?
4. Методика измерения твердости материалов с помощью микротвердомера ПМТ-3.
5. Подготовка образцов для испытаний.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИСПЫТАНИЯ НА УСТАЛОСТЬ

Цель работы: изучение методики испытаний на усталость.

Нагрузки на детали во время их службы могут меняться не только по величине, но и по знаку. Такие нагрузки вызывают в металле переменные пульсирующие напряжения, также меняющие свою величину и знак.

Так, например, многие детали машин и механизмов - валы, шатуны, пальцы, шестерни и т.д. - работают в условиях пульсирующих переменных напряжений.

Для практики очень важно установить, как ведут себя металлы в условиях знакопеременного нагружения и какие напряжения они смогут выдержать без разрушения, без опасности поломки.

Разрушение металла под действием переменной нагрузки называется **усталостью**.

В подавляющем большинстве случаев нагрузка на детали изменяется циклически, т.е. увеличивается от определенного значения, проходит через максимум и затем уменьшается до исходной величины.

Циклы бывают *симметричные*, когда наибольшее σ_{max} и наименьшее σ_{min} напряжения равны, но противоположны по знаку, и *асимметричные*, характеризующиеся различными по величине напряжениями (наибольшими и наименьшими).

Испытания обычно проводят на цилиндрических образцах путем воздействия на них при вращении изгибающих нагрузок, которые вызывают знакопеременные напряжения (рис. 7) и доводят образец до разрушения.

Схема испытания для определения предела усталости при симметричных циклах приведена на рис. 8. Цилиндрический образец 2 закреплен в патроне 1, получающем вращение от привода машины. На противоположный конец образца напрессован шарикоподшипник, к наружному концу 3 которого подвешен груз P . Изменяя величину этого груза ($P_1, P_2, P_3...$), вызывают в наиболее нагруженном сечении образца различные по величине напряжения $\sigma_1, \sigma_2, \dots \sigma_n$, причем, если в положении образца, изображенном на рис. 8, а, верхние его волокна испытывают растяжение, а нижние - сжатие, то через $\frac{1}{2}$ оборота картина изменится. Следовательно, за каждый полный оборот образца осуществляется один цикл нагружения.

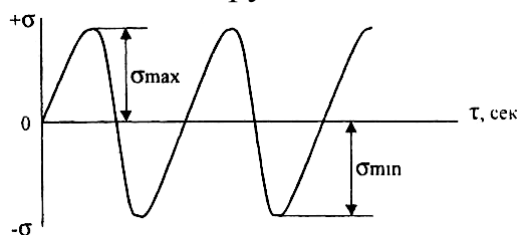


Рис. 7. Схема изменения напряжения при испытании на усталость

Испытания производят с несколькими образцами, подсчитывая каждый раз число циклов n нагружения образца до его разрушения. Результаты опытов представляют в виде кривой усталости, показывающей зависимость числа циклов нагружения от возникающих в металле напряжений (рис. 8, б). Эта кривая для стали и других сплавов, начиная с некоторого напряжения σ_{-1} , идет параллельно оси абсцисс. А это значит, что при таком напряжении металл не разрушается, как бы велико не было число циклов нагружения.

Напряжение σ_{-1} соответствующее горизонтальному участку кривой усталости, т.е. наибольшее напряжение, не вызывающее разрушения при бесконечно большом числе перемен нагрузок, называется **пределом усталости**. На практике не доводят испытания до появления горизонтального участка, а в зависимости от условий эксплуатации устанавливают базу испытания. **База испытания** - это заданное число циклов, при котором образец не должен разрушаться.

Предел усталости стальных образцов обычно определяют на базе $5 \cdot 10^6$ циклов, а образцов из цветных литейных сплавов - на базе $20 \cdot 10^6$ циклов. В этих условиях пределом усталости называют наибольшее напряжение, при ко-

тором образец не разрушается при заданном числе циклов, принимаемом за базу испытания.

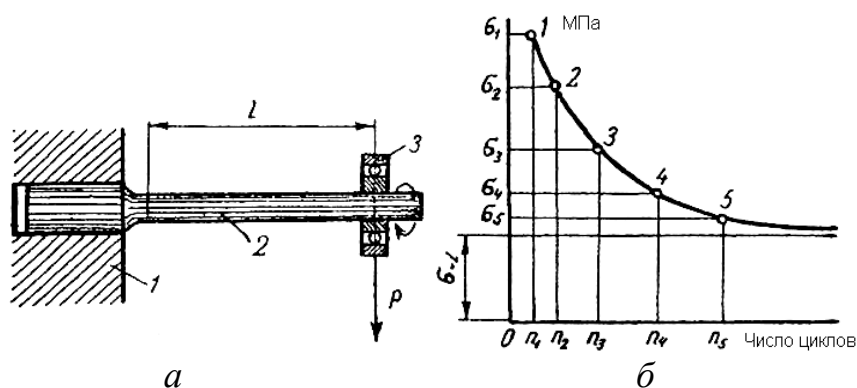


Рис. 8. Испытания на усталость при симметричном цикле нагружения

Методика проведения работы

1. Изучить устройство лабораторной установки для проведения усталостных испытаний (выполнить эскиз установки в рабочей тетради с указанием основных элементов).

2. Установить частоту вращения рабочего патрона по указанию преподавателя.

3. Закрепить один конец испытуемого образца в рабочем патроне, на другом конце закрепить груз.

4. Включить привод вращения электродвигателя, одновременно включив секундомер.

5. Зафиксировав по секундомеру время испытания образца до появления разрушения или трещины (зарождение трещины фиксируется по увеличению амплитуды колебаний или увеличению сопротивления образца в зависимости от конструктивного исполнения лабораторной установки).

6. Определить количество циклов испытаний образца, исходя из заданной частоты вращения рабочего патрона и времени испытаний.

7. Повторить переходы 3 – 6 для других значений величины нагрузки (по указанию преподавателя).

8. Построить кривую усталости испытуемых образцов для заданного материала.

9. Вычислить предел выносливости при изгибе для заданного материала по формуле

$$\sigma_{-1} \approx 0,43\sigma_B, \quad (9)$$

где σ_{-1} – предел выносливости, МПа; σ_B – предел прочности, МПа.

10. Сравнить полученные значения σ_B с табличными для данного материала, рассчитать относительную погрешность, сделать выводы.

Содержание отчета

1. Краткая характеристика испытаний на усталость.
2. Описание используемого оборудования и образцов.
3. Значения предела усталости испытываемых образцов.
4. Анализ результатов и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. В чем особенность испытаний на усталость? Область применения.
2. Какие циклы нагружения встречаются при работе механизмов?
3. Что называется усталостью материала?
4. Как строится кривая усталости и определяется предел усталости?
5. Методика проведения испытаний на усталость.
6. Понятие базы испытаний.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучение методики исследования технологических свойств материалов и сварных соединений.

Технологические свойства характеризуют способность металлов подвергаться тому или иному виду технологической обработки или принимать деформации, подобные тем, которые металл должен испытывать в условиях его дальнейшей эксплуатации в виде изделий.

В отличие от обычных механических испытаний при технологических пробах величина нагрузки, действующей на образец, как правило, не принимается во внимание, а определяются полученные деформации. О результатах технологических испытаний металлов судят по состоянию их поверхности. Если после испытания на поверхности образца не обнаружены внешние дефекты: трещины, надрывы, расслоения или излом, то металл выдержал испытание.

Испытание на **выдавливание** применяют для определения способности листового материала подвергаться холодной штамповке и вытяжке. Образец закладывают в специальный прибор, в котором пуансоном с шаровой поверхностью выдавливается лунка до появления первой трещины в металле. Характеристикой пластичности металла является глубина лунки до разрушения металла.

Испытание на **изгиб сварных швов** проводят для определения вязкости сварного соединения, выполненного встык. Образец свободно устанавливают на двух цилиндрических опорах и подвергают изгибу до появления первой трещины. Характеристикой вязкости является величина угла загиба.

Испытание на *изгиб в холодном или нагретом состоянии* проводится для определения способности листового металла принимать заданный по размерам и форме изгиб, образцы для испытания вырезают из листа без обработки поверхностного слоя.

При толщине листового металла больше 30 мм испытания на изгиб обычно не проводят. Для осуществления пробы на загиб применяют прессы или тиски.

Испытания на *осадку в холодном состоянии* применяют для определения способности металла принимать заданную по размерам и форме деформацию сжатия. Испытаниям подвергают прутки, направленные в ковку и предназначенные для изготовления болтов, заклепок и т.д. Образец должен иметь диаметр, равный диаметру испытываемого прутка, и высоту, равную двум диаметрам прутка.

Проба на осадку в холодном состоянии заключается в том, что образец осаживают ударами кувалды до высоты, заданной техническими условиями.

Проба на *навивание проволоки* диаметром до 6 мм предназначена для определения способности металла выдерживать заданное число витков. Проволоку навивают на цилиндр определенного диаметра. После навивки на проволоке не должно быть поверхностных дефектов.

Пробу на *перегиб проволоки* применяют для определения способности металла выдерживать повторный загиб и разгиб. Испытанию подвергают круглую проволоку и прутки диаметром 0,8 - 7 мм со скоростью около 60 перегибов в минуту до разрушения образца. Длина образца равна 100 - 150 мм.

Проба на *двойной кровельный замок* предназначена для определения способности листового металла, толщиной менее 0,8 мм принимать заданную деформацию. При испытании два листа соединяют двойным замком Угол загиба, число загибов и разгибов замка указывают в технических условиях.

Проба на *изгиб трубы*, диаметром не более 115 мм, в *холодном или горячем состоянии*, необходима для определения способности металла принимать заданный по размерам и форме загиб. Образец трубы длиной не менее 200 мм, заполненный сухим песком или залитый канифолью, загибают на 90° вокруг оправки, радиус которой указывают в технических условиях.

Проба на *сплющивание трубы* необходима для определения способности металла подвергаться деформации сплющивания. Образец длиной, равной примерно наружному диаметру трубы, сплющивают ударами молотка, молота, кувалды или под прессом до размеров, указанных в технических условиях.

Некоторые виды испытаний технологических свойств материалов приведены на рис. 9.

Испытание сварного соединения на статический изгиб проводят для стыковых сварных соединений. При испытании определяют способность данного соединения принимать заданный по размеру и форме изгиб. Эта способность характеризуется углом изгиба α при образовании первой трещины в растянутой зоне образца (рис. 10).

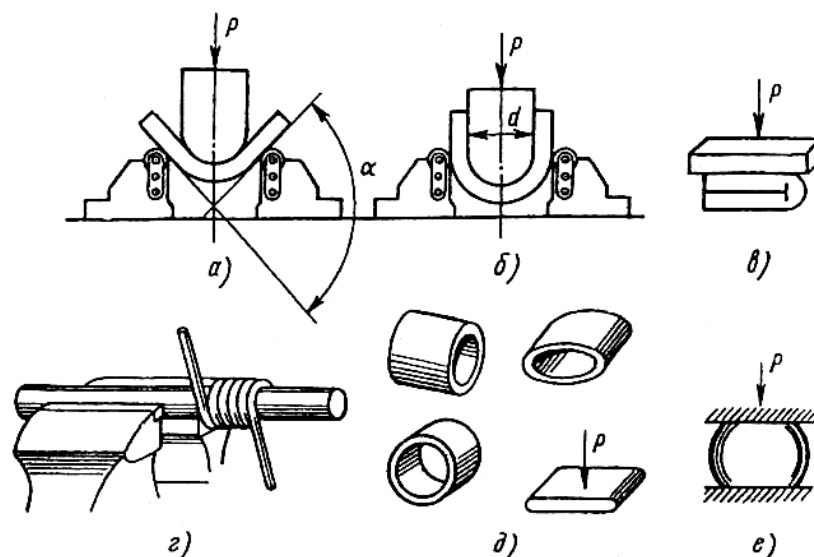


Рис. 9. Технологические пробы: *а* - изгиб на определенный угол, *б* - изгиб до параллельности сторон; *в* - изгиб до соприкосновения сторон; *г* - на навивание; *д* - на сплющивание; *е* - на осадку

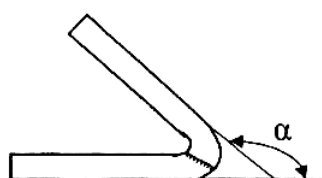


Рис. 10. Изгиб сварного соединения на определенный угол α

Если трещина не образуется, то испытание в соответствии с требованиями, оговоренными в соответствующей технической документации, доводится до нормируемого угла изгиба, до параллельности сторон или сплющивания образца. Появление надрывов длиной до 5 мм по кромкам и на поверхности образца, не развивающихся дальше в процессе испытания, браковочным признаком не являются.

Форма и размер образца для испытания на изгиб должны соответствовать рис. 11 или 12 и табл. 5. Толщина образца должна быть равной толщине основного металла. При толщине металла более 50 мм форму и размеры образца оговаривают специальными техническими условиями.

Утолщение шва снимается механическим путем до уровня основного металла. Кромки образцов в пределах его рабочей части l должны быть закруглены радиусом 0,2 от толщины металла, но не более 3 мм путем сглаживания напильником вдоль кромки.

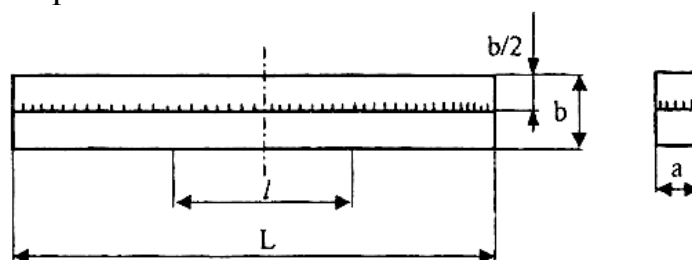


Рис. 11. Тип образца XXVI

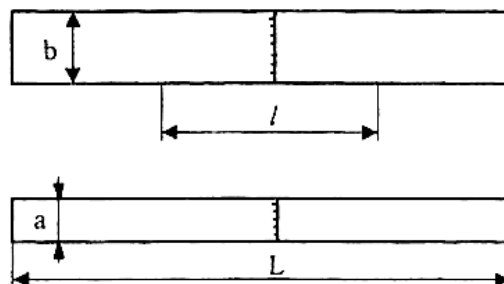


Рис. 12. Типы образцов XXVII, XXVIII

Образцы типов XXVI, XXVII и XXVIII дают несравнимые результаты испытаний, поэтому нормативные требования устанавливают для каждого типа отдельно.

Испытание образцов типа XXVI производят по схеме на рис. 13. Испытание образцов типов XXVII и XXVIII производят по схеме на рис. 14. Для образцов типа XXVII $K = 2,5D$, а для образцов типа XXVIII $K = 3,0D$. Обязательным условием проведения испытаний является плавность нарастания нагрузки на образец. Испытание проводят со скоростью не более 15 мм/мин.

Таблица 5

Типы и размеры образцов для испытаний

Тип образца	Толщина ос- новного ме- талла, a	Ширина об- разца, b	Общая длина образца, L	Длина рабочей части образца, l	Номер рисунка
XXVI	до 5	$a + 15$	$2,5D + 80$	$L/3$	11
	более 5 до 50	$a + 30$			
XXVII	до 50	$1,5a$, но не ме- нее 10	$2,5D + 80$		12
XXVIII	до 10	20	$3D + 80$		12
	более 10 до 25	30			

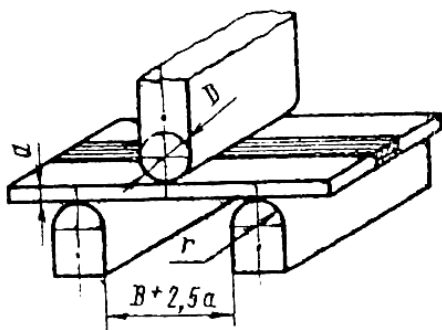


Рис. 13. Схема испытания образцов при изгибе перпендикулярно оси сварного шва

Диаметр оправки D может изменяться в зависимости от марки стали, толщины листов, способа термообработки и должен оговариваться в соответствующих стандартах или другой технической документации. При отсутствии специальных указаний диаметр оправки принимают равным двум толщинам основного металла. Размер r для образцов типов XXVI и XXVII выбирают по табл. 6. Для образцов типа XXVIII $r = 25$ мм.

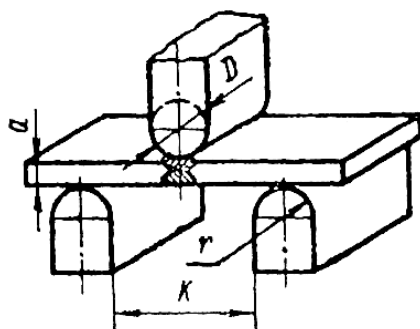


Рис. 14. Схема испытания образцов при изгибе параллельно оси сварного шва

Если заданный угол изгиба превышает 150° , то после изгиба по схемам, приведенным на рис. 13 или 14, изгиб можно продолжать между двумя параллельными нажимными плитами. Между концами образца устанавливают прокладку толщиной d , равной диаметру оправки (рис. 15). После удаления оправки испытание доводят до сплющивания образца.

оправки испытание доводят до сплющивания образца.

Таблица 6

Размер r в зависимости от толщины образца

Толщина образца, a , мм	Величина радиуса r , мм
До 2	2
Более 2 до 4	4
Более 4 до 8	8
Более 8 до 10	10
Более 10 до 26	20
Более 26	25

При испытании соединений с односторонним швом в растянутой зоне образца должны располагаться поверхностные слои шва. При испытании соединения с двусторонним швом в растянутой зоне образца должен располагаться слой или шов, заваренный последним.

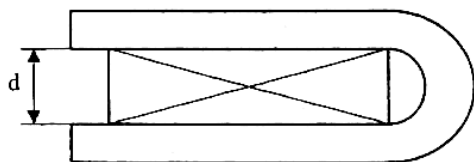


Рис. 15. Схема изгиба образцов между двумя нажимными плитами

Соединение с подварочным швом (швом, проваривающим не более 15 % толщины основного металла, но не более 8 мм) относится к односторонним.

Методика проведения работы

1. Изучить устройство установки для проведения испытаний на статический изгиб.
2. По указанию преподавателя, исходя из размеров конструктивных элементов, требующих подтверждения механических свойств, выбрать из таблицы тип и размеры образца для испытаний.
3. Выполнить эскиз образца и схемы испытаний с указанием размеров.
4. Выбрать нужный диапазон измерения нагрузки на испытательной машине Р-10, исходя из того, что максимальное измеряемое при испытании усилие должно находиться в третьей четверти соответствующей шкалы нагрузок.

Ожидаемое максимальное измеряемое усилие определяется по механическим свойствам исследуемого материала из справочных данных.

5. Установить в приспособление соответствующий образец для испытаний, предварительно отметив в журнале марку исследуемого материала (или марку и тип электрода, которым был сварен образец).

6. Произвести плавное нагружение образца со скоростью не более 15 мм/мин.

7. Если заданный угол загиба превышает 150° , то после изгиба по используемой схеме, испытание продолжить между двумя параллельными нажимными плитами.

8. Повторить переходы 5 - 7 для образца из другой марки стали или сплава (в случае испытаний сварного соединения - для другой марки используемого для сварки электрода).

9. Определить угол загиба испытываемого образца.

10. Результаты испытаний оформить в тетради для лабораторных работ.

Содержание отчета

1. Краткая характеристика технологических испытаний.
2. Описание используемого оборудования и образцов.
3. Значения угла загиба испытываемых образцов, характер разрушения.
4. Анализ результатов и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Для чего применяются технологические испытания?
2. Какие характеристики определяются при исследовании технологических свойств конструкционных материалов и в чем отличие от механических испытаний?
3. Какие виды технологических испытаний вы знаете?
4. Особенности испытаний сварных соединений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Цель работы: ознакомиться с основными элементами технологического процесса обработки металлов давлением, на примере разделительных операций листовой штамповки; приобрести навыки в определении расчетным и экспериментальным способом значений технологического усилия и работы деформации с целью подбора листоштамповочного оборудования для вырубки и пробивки.

Листовые материалы, поступающие на предприятия, в большинстве случаев предварительно разрезают на заготовки необходимых размеров. Отрезка полос по незамкнутому контуру является заготовительной операцией и производится обычно на ножницах или отрезных штампах.

Получение заготовок или готовых изделий из этих полос путем вырубки-пробивки с разделением металла по замкнутому контуру производится в специальных штампах на прессах (рис. 16).

При вырубке и пробивке характер деформирования заготовки одинаков, отличаются они только назначением. *Вырубкой* оформляют наружный контур детали или заготовки, а *пробивкой* – внутренний контур (изготовление отверстий).

Вырубку и пробивку осуществляют металлическим пуансоном и матрицей. Пуансон выдавливает часть заготовки в отверстие матрицы. В начальной стадии деформирования происходит врезание режущих кромок в заготовку и смещение одной части заготовки относительно другой без видимого разрушения.

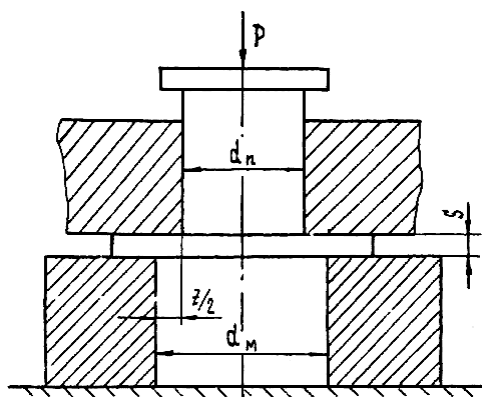


Рис. 16. Схема операции вырубки-пробивки

При определенной глубине внедрения режущих кромок в заготовку у режущих кромок зарождаются трещины, быстро развивающиеся в толщину заготовки. Трещины наклонены к оси инструмента под углом $4 - 6^{\circ}$; если трещины при распространении встречаются, то поверхность среза получается сравнительно гладкой, состоящей из блестящего пояса, соответствующего внедрению режущих кромок до появления трещин, и наклонной шероховатой поверхности разрушения в зоне прохождения трещин.

Возможность совпадения трещин, идущих от режущих кромок пуансона и матрицы, зависит от правильного выбора зазора между ними. Зазор z назначается в зависимости от толщины и механических свойств заготовки и приближенно составляет $(0,05 - 0,1)s$.

При вырубке размеры отверстия матрицы равны размерам изделия, а размеры пуансона на $2z$ меньше, при пробивке размеры пуансона и отверстия равны, а размеры матрицы на $2z$ больше.

Основными технологическими параметрами процесса вырубки-пробивки являются максимальное усилие и работа деформации. По этим параметрам подбирается соответствующее оборудование.

Максимальное усилие P_{cp} (Н) в разделительных операциях с параллельными режущими кромками инструмента определяется по формуле

$$P_{cp} = \kappa \cdot \sigma_{cp} \cdot s \cdot L, \quad (1)$$

где $\kappa = 1,1 - 1,3$ – коэффициент учета притупления режущих кромок инструмента и колебания величин s и σ_{cp} ; s – толщина разрезаемого материала, мм; σ_{cp} – напряжение сопротивления среза, МПа; L – суммарный периметр одновременно вырубаемых контуров деталей, мм.

Сопротивление срезу зависит от механических свойств металла, степени предварительного подогрева, а также от относительной толщины вырубки, зазора и скорости процесса резания.

При вырубке-пробивке круглых деталей и отверстий в заготовке из листовой стали величину сопротивления срезу можно определить по формуле

$$\sigma_{cp} = (m \cdot s / d + 0,6) \sigma_s, \quad (2)$$

где m – коэффициент, зависящий от относительного зазора z ; d – диаметр контура разделения, мм; σ_s – предел прочности, МПа.

При оптимальной величине двухстороннего зазора $z = 0,15s$ коэффициент $m = 1,2$, а сопротивление срезу находится по формуле

$$\sigma_{cp} = (1,2 \cdot s / d + 0,6) \sigma_s \approx (1 + 2 \cdot s / d) \sigma_m, \quad (3)$$

где σ_m – предел текучести, МПа.

Экстремальную величину сопротивления среза можно определить по формуле

$$\sigma_{cp} = (m \cdot s / d + 0,6) \sigma_s \frac{1}{1 + \frac{h_k}{s}}, \quad (4)$$

где h_k – глубина внедрения пуансона в материал в момент скалывания, мм.

Относительная глубина внедрения пуансона h_k/s к моменту разрушения металла при вырубке-пробивке вычисляется по формуле

$$\frac{h_k}{s} = \frac{0,9\psi}{1,9 - \psi}, \quad (5)$$

где ψ – конечное (относительное) сужение сечения образца при растяжении.

Для некоторых материалов известны экспериментальные значения величины h_k/s в зависимости от толщины материала s и скорости резания

для стали 08кп ($\sigma_s = 300$ МПа)

$$h_k/s = 0,76 - 0,035s - 0,0014n; \quad (6)$$

для стали 20кп ($\sigma_s = 400$ МПа)

$$h_k/s = 0,67 - 0,04s - 0,0012n; \quad (7)$$

для стали 30 ($\sigma_s = 500$ МПа)

$$h_k/s = 0,54 - 0,032s - 0,001n; \quad (8)$$

где n – число ходов прессы в минуту.

В случае применения упругих элементов в конструкции съемника, прижима или выталкивателя к расчетному усилию вырубки прибавляют усилие сжатия буферов или пружин Q .

Полное усилие вырубки составляет

$$P = P_{cp} + Q. \quad (9)$$

Работа деформации в операциях вырубки-пробивки (для плоских режущих кромок пуансона и матрицы) определяется по формуле

$$A = 1,2U \cdot P \cdot s, \quad (10)$$

где $U = 0,23 + 0,67 \frac{h_k}{s}$ - коэффициент заполнения.

В настоящей работе для построения зависимости $P = f(h)$, эта кривая аппроксимирована параболой (см. рис. 17) с координатой по оси абсцисс h_m точки P_{max} , определяемой по формуле

$$h_m = h_k = \frac{0,9\psi}{1,9 - \psi} \cdot s \text{ при } \psi \leq 0,6. \quad (11)$$

Путь пуансона к моменту максимального усилия для материалов, имеющих $\psi \geq 0,6$, будет равен

$$h_m = 0,4s. \quad (12)$$

Для учета затупления режущих кромок нужно умножить результаты, полученные по формулам (11) и (12), на поправочный коэффициент, равный 1,2.

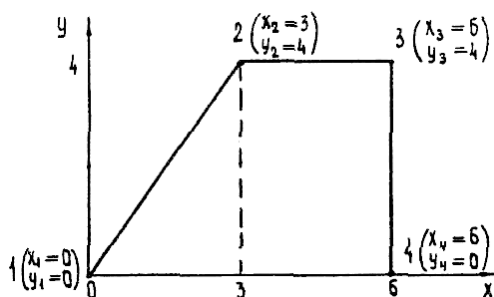
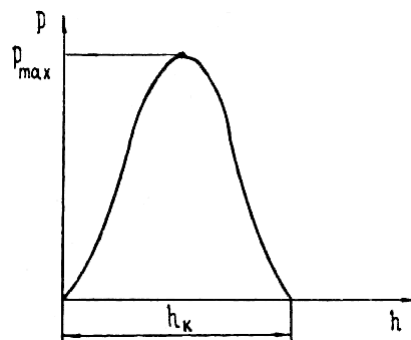


Рис. 17. Зависимость усилия вырубки от глубины внедрения режущих кромок

При получении отверстия или детали сложного контура в ходе определения с помощью компьютерной программы энергосиловых параметров процесса необходим последовательный ввод координат сложного профиля. Пример назначения координат такого контура показан на рис. 18.

Рис. 18. Пример назначения координат сложного контура при расчете периметра детали

Программа позволяет выбрать материал из встроенного справочника вводом соответствующей марки. Для начала расчетов от пользователя требуется ввести толщину материала, количество и геометрические размеры отверстий круглой, прямоугольной и сложной формы.



Задание

1. Изучить основные элементы разделительных операций листовой штамповки.

2. Рассчитать с использованием компьютера энергосиловые параметры процесса вырубки-пробивки деталей круглой формы для нескольких марок металла и толщин исходного листа (по указанию преподавателя).

3. Определить экспериментально энергосиловые параметры процесса вырубки-пробивки деталей круглой формы для вышеуказанных заготовок в пресс-форме с помощью разрывной машины Р-10 и сопоставить полученные величины с расчетными.

4. Освоить методику расчета основных технологических параметров процесса вырубки-пробивки деталей сложного контура (варианты конфигурации контура выдаются преподавателем).

Содержание отчета

Отчет должен содержать краткие теоретические сведения о процессе листовой штамповки, схему процесса и формулы для расчета параметров процесса. Расчетные и экспериментальные данные сводятся в табл. 7. На основании полученных результатов необходимо сделать вывод о влиянии различных факторов на величины технологического усилия и технологической работы процесса вырубки-пробивки.

Таблица 7

Результаты работы

Номер	Марка металла	Толщина заготовки	Механические свойства			Усилие		Работа	
			σ_b	ψ	h_k/s	эксперимент	расчет	эксперимент	расчет

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое вырубка и пробивка отверстий?
2. Конструкция штампа для вырубки-пробивки.
3. Как влияет величина зазора между пуансоном и матрицей на характер деформирования металла?
4. Как изменяется усилие вырубки в зависимости от хода пуансона?
5. Назовите технологические параметры процесса вырубки-пробивки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ И ОЦЕНКА ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА

Цель работы: изучить основные элементы технологического процесса обработки деталей резанием; получить практические навыки в выборе оптимальных параметров резания для обеспечения наибольшей эффективности процесса.

Требования к современным технологическим процессам обработки резанием включают как повышение качества обработки деталей, так и увеличение эффективности процессов с экономической точки зрения. Поэтому большое значение имеет выбор оптимальных режимов процесса обработки заготовки.

Обработка металлов резанием - это процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки для получения требуемой геометрической формы, точности размеров и шероховатости поверхностей детали.

Для осуществления процесса резания необходимо наличие относительных движений между обрабатываемой заготовкой и режущим инструментом. Каждый станок имеет ряд рабочих органов (шпиндели, суппорты, столы и др.), которым сообщаются движения, в зависимости от назначения станка и вида обработки. *Эти движения подразделяют на движения резания, установочные и вспомогательные.*

К движениям **резания** относят *главное* движение и движение *подачи*. **Главным (D_r) движением** называют движение, определяющее скорость деформирования материала и отделения стружки. **Движение подачи (D_r)** обеспечивает врезание режущей кромки инструмента в материал заготовки. Эти движения могут быть непрерывными или прерывистыми, а по своему характеру вращательными, поступательными, возвратно-поступательными.

Под схемой обработки понимают условное изображение обрабатываемой заготовки, её установки и закрепления на станке с указанием положения режущего инструмента относительно заготовки и движений резания (рис. 19, табл. 8).

В процессе обработки на заготовке различают обрабатываемую поверхность 1, с которой срезается слой материала; обработанную поверхность 3, с которой срезан слой материала и поверхность резания 2, образованную главным режущим лезвием инструмента.

Движения, обеспечивающие взаимное положение инструмента и заготовки для срезания с нее определенного слоя материала, называют **установочными**. К **вспомогательным** движениям относят транспортирование заготовки, закрепление заготовок и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов станка.

Элементами процесса резания являются скорость резания, подача и глубина резания. В совокупности эти величины представляют режим резания.

Скоростью главного движения резания (V) называют путь точки режущего лезвия инструмента относительно заготовки в направлении главного движения в единицу времени. Скорость резания измеряют в м/с.

Если главное движение является вращательным (точение), то скорость резания, м/с

$$V = \frac{\pi \cdot D_{\text{заг}} \cdot n}{1000 \cdot 60}, \quad (13)$$

где $D_{\text{заг}}$ - наибольший диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм; n -

частота вращения заготовки, об/мин.

Если главное движение возвратно-поступательное, а скорости рабочего и вспомогательного ходов различны, то скорость главного движения резания, м/с

$$V = Lm(k + 1)/(1000 \cdot 60), \quad (14)$$

где L – расчетная длина хода инструмента, мм; m – число двойных ходов инструмента в минуту; k – коэффициент, показывающий соотношение скоростей рабочего и вспомогательного ходов.

Подачей s называют путь точки режущего лезвия инструмента относительно заготовки в направлении движения подачи за один оборот или за один двойной ход заготовки или инструмента. При разных технологических методах обработки подача имеет одну из следующих размерностей: мм/об – точение, сверление; мм/дв.ход – строгание, долбление; мм/мин – фрезерование и т.д. Существуют движения подачи: продольное – S_{np} ; поперечное – S_n ; вертикальное – S_v ; круговое – $S_{кр}$; окружное – S_o ; тангенциальное – S_m .

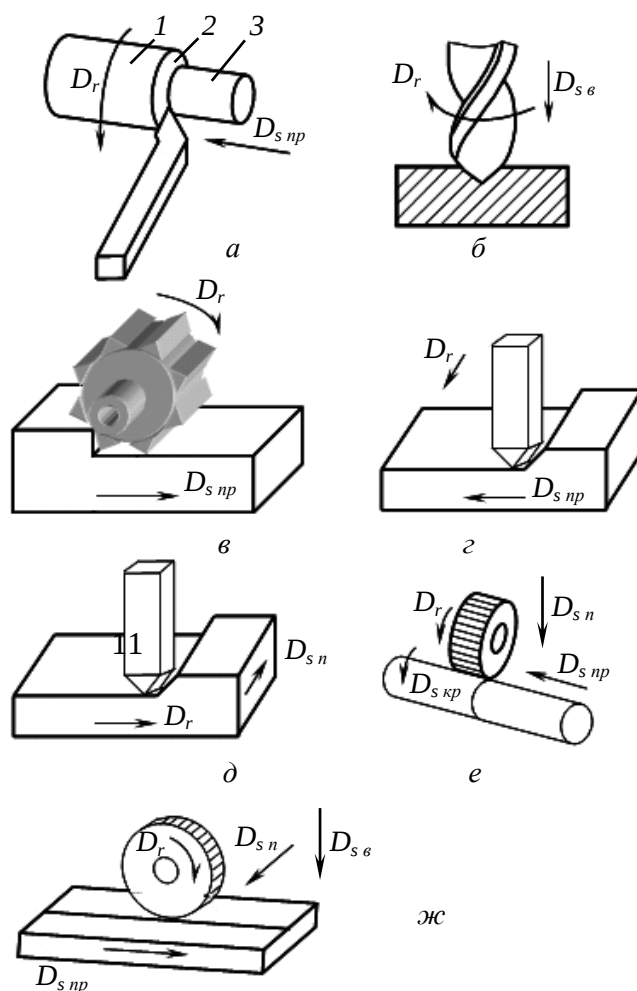


Рис. 19. Основные способы обработки металлов резанием:

a – точение; $б$ – сверление; $в$ – фрезерование; строгание на станках поперечно- ($г$) и продольно-строгальных ($д$); шлифование наружное, круглое ($е$) и плоское ($ж$)

Основные способы обработки металлов резанием

Позиция на рис. 4	Способ обработки	Движение	
		Заготовки	Инструмента
<i>a</i>	Точение	Главное вращательное D_r	Поступательное продольной подачи $D_{s np}$
<i>б</i>	Сверление	-	Главное вращательное D_r и поступательное вертикальной подачи $D_{с в}$
<i>в</i>	Фрезерование	Поступательное продольной подачи $D_{s np}$	Главное вращательное D_r
<i>г</i>	Строгание на станках поперечно-строгальных	Поступательное прерывистое продольной подачи $D_{s np}$	Главное возвратно-поступательное D_r
<i>д</i>	Строгание на станках продольно-строгальных	Поступательное прерывистое поперечной подачи $D_{s np}$	Главное возвратно-поступательное D_r
<i>e</i>	Шлифование наружное, круглое	Вращательное D_s и продольное возвратно-поступательное $D_{s np}$ и поперечное прерывистое $D_{s n}$ подачи	Главное вращательное D_r
<i>ж</i>	Шлифование плоское	Возвратно-поступательное продольной подачи $D_{s np}$	Главное вращательное D_r , прерывистое поперечной $D_{s n}$ и вертикальной $D_{с в}$ подачи

Глубиной резания t называют расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное перпендикулярно к последней, за один рабочий ход инструмента относительно обрабатываемой поверхности. Глубину резания измеряют в миллиметрах.

При точении цилиндрической поверхности глубину резания определяют как полуразность диаметров до и после обработки

$$t = \frac{D_{заг} - d_{дет}}{2}, \quad (15)$$

где $d_{заг}$ - диаметр обработанной поверхности детали, мм.

К элементам процесса резания относят также основное (технологическое) время обработки.

Основное (технологическое) время - это время, затрачиваемое непосредственно на процесс изменения формы и размеров заготовки, и получение поверхности требуемой шероховатости. При токарной обработке основное время T_0 (в мин) определяется как

$$T_0 = \frac{L}{n \cdot S_{np}} i, \quad (16)$$

где $L = l + a + b$ - расчетная длина пути режущего инструмента относительно за-

готовки в направлении подачи, мм; l - длина обработанной поверхности, мм; a - величина врезания резца, мм; $b = 1-3$ мм - выход резца (перебег); n - частота вращения заготовки, об/мин; S_{np} - продольная подача, мм/об; i - число рабочих ходов резца для снятия материала.

Основное время напрямую определяет производительность процесса. Уменьшение T_0 ведет к росту производительности. Уменьшение T_0 возможно за счет многоинструментальной обработки одной поверхности заготовки, параллельной обработки нескольких заготовок и т.д., в частности, за счет оптимального сочетания элементов резания.

Компьютерная программа расчета стоимости обработки материалов резанием позволяет определить скорость резания, частоту вращения шпинделя, штучное время и количество обрабатываемых деталей в час для следующих операций:

- точение резцами с пластинами из твердых сплавов;
- точение резцами из быстрорежущей стали;
- сверление на многошпиндельном станке;
- фрезерование.

Программа построена по модульному принципу.

Модуль 1 рассчитывает стоимость токарной обработки инструментом с пластинами из твердых сплавов.

Для начала расчета необходимо ввести следующие данные: начальный диаметр детали, диаметр после обработки; глубину резания и подачу при черновом и чистовом проходах, цеховые расходы; стоимость одной режущей пластины из твердого сплава; время, необходимое для смены инструмента.

Программа позволяет выбрать для расчетов один из 20 видов обрабатываемого материала. Модуль 1 рассчитывает режим резания с учетом глубины резания и подачи для данного вида материала. В модуле 1 проводятся расчеты для двух вариантов стойкости инструмента (без учета повторных заточек). В первом - стойкость инструмента задается, во втором принимается равной 60 мин. Определенное сочетание скорости резания и стойкости инструмента позволяет оптимизировать затраты на операцию, складывающиеся из затрат на обработку детали и замену инструмента.

Модуль 2 - токарная обработка резцами из быстрорежущей стали. Расчеты в модуле 2 проводятся только для стойкости инструмента 60 мин. Это объясняется тем, что инструмент из быстрорежущей стали требует частой замены. Модуль 2 может воспроизводить график показательной зависимости скорости резания от подачи.

Модуль 3 - одновременное сверление на многошпиндельном станке. Пользователь вводит данные о том, сколько раз повторяются различные элементы операции сверления каждого отверстия в процессе выполнения программы. В программе заложены нормативы времени на такие элементы операции, как перемещение кондуктора, очистка отверстия, осмотр отверстия, подвод инструмента к детали и др. После расчета основного технологического

времени программа запрашивает данные о том, сколько раз пользователь хотел бы учесть для каждого отверстия эти нормативы, и соответственно рассчитывает значение затрат вспомогательного времени. В конце работы программы пользователь должен ввести данные о массе обрабатываемой детали. В зависимости от массы компьютер выбирает значения нормативов времени на установку и снятие детали. От пользователя требуется ввести данные о размере, сверл и глубине отверстий.

Модуль 4 - обработка фрезерованием. Первым шагом для инициирования программы расчета режимов фрезерования является выбор варианта подвода фрезы. Кроме этого, необходимо определиться с типом используемого инструмента: фрезы могут быть из быстрорежущей стали или с пластинами из твердых сплавов. Модуль 4 позволяет рассчитать пять вариантов подвода фрезы с учетом способа обработки и десяти видов обрабатываемого материала.

Для первого и третьего варианта установки фрезы (рис. 20, а, в) расчетная длина обработки L_1 (мм) складывается из длины детали L (мм) и пути подвода фрезы S (мм)

$$L_1 = L + S = L + 0,5D + a + b, \quad (17)$$

где D - диаметр фрезы, мм; a - врезание фрезы (0,79 мм); b - перебеж фрезы (0,79 мм).

Для второго варианта установки фрезы (рис. 20, б)

$$S = \sqrt{R^2 - (R - d)^2} + a + b, \quad (18)$$

где $R = 0,5D$, мм; d - глубина фрезерования, мм.

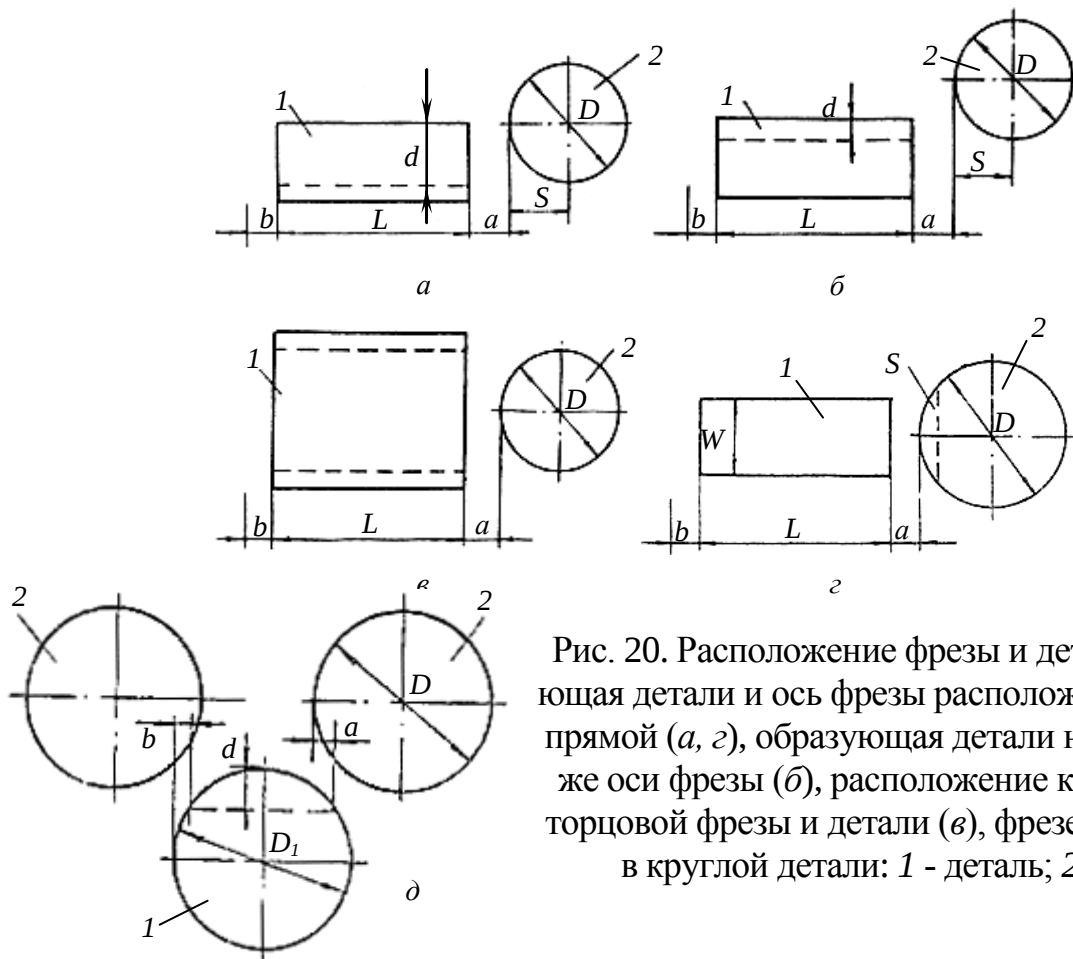


Рис. 20. Расположение фрезы и детали: образующая детали и ось фрезы расположены на одной прямой (а, в), образующая детали находится ниже оси фрезы (б), расположение концевой или торцевой фрезы и детали (в), фрезерование паза в круглой детали: 1 - деталь; 2 - фреза

Путь подвода фрезы для четвертого случая (рис. 20, з)

$$S = R - 0,5\sqrt{4R^2 - W^2}, \quad (19)$$

где W - ширина детали, мм.

Для пятого варианта (рис. 20, д)

$$S = \sqrt{(D-d) + (D_1 \cdot d) - d^2} - \sqrt{D \cdot d - d^2}. \quad (20)$$

Этот модуль так же, как модуль расчета стоимости обработки на многошпиндельном сверлильном станке, учитывает прочие элементы операции, время на установку и снятие детали. При вводе данных пользователь указывает диаметр фрезы, число ее зубьев, длину фрезерования, подачу.

Задание

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Под руководством преподавателя или учебного мастера ознакомиться компьютерной программой выбора параметров процесса резания.
3. Для заданной детали, с помощью компьютерной программы, произвести выбор оптимальных режимов резания по одному из методов обработки.
4. Исследовать влияние режимов на технологическую себестоимость для данной схемы процесса.

Содержание отчета

1. Основные сведения об элементах процесса обработки резанием.
2. Краткое описание работы компьютерной программы.
3. Эскиз заданной детали и распечатка расчета стоимости обработки резанием в зависимости от параметров процесса.
4. Выводы по влиянию режимов обработки на эффективность процесса и выбор оптимальных режимов обработки детали.

Вопросы для самоконтроля

1. Способы обработки металлов резанием.
2. Виды рабочих движений при обработке резанием.
3. Элементы процесса резания.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучение технологии получения деталей из композиционных металлических порошковых материалов.

Порошковая металлургия – это отрасль, занимающаяся получением порошков и изделий из них. *Преимуществами* данного способа получения деталей являются:

- ✓ возможность получения материала со специальными механическими и эксплуатационными свойствами (пористые, фрикционные и антифрикционные, термостойкие, инструментальные, электротехнические, полупроводниковые и др.);
- ✓ применение в качестве исходных материалов отходов основного производства – обрезков, стружки, окалины и т.д., а также получение материала из руды, минуя стадию металлургии;
- ✓ практическое отсутствие необходимости дальнейшей механической обработки получаемых заготовок и тем самым снижение трудоемкости и себестоимости их изготовления, увеличение коэффициента использования материала;
- ✓ совмещение процесса получения необходимого материала и готового изделия;
- ✓ высокий уровень механизации и автоматизации всех технологических операций;
- ✓ высокая чистота исходных материалов.

Технологический процесс сводится к формированию порошковых или волокнистых компонентов в заготовки, которые подвергают дальнейшей термической обработке – спеканию.

Промышленностью выпускаются различные металлические порошки: железный, медный, никелевый, хромовый, кобальтовый, вольфрамовый, молибденовый, титановый и др. Способы получения порошков разделяют на *механические* и *физико-химические*.

Наибольшее практическое применение имеет способ *механического измельчения* исходного сырья в специальных мельницах. Размолом получают порошки из легированных сплавов строго заданного химического состава и из хрупких материалов (кремний, бериллий и т.д.). Также освоена технология получения порошков путем *раздува* жидкого металла *струей газа* или *жидкости* (воды). Общим преимуществом таких методов является отсутствие изменения химического состава исходного материала, недостатком – высокая себестоимость технологического процесса.

К *физико-химическим* способам относят такие технологические процессы, в которых получение порошка связано с изменением химического состава исходного сырья или его состояния в результате химического или физического (но не механического) воздействия на исходный продукт. Данные способы получения порошков более универсальны, чем механические, дают возможность использования дешевого сырья (руды, отходы производства в виде окалины, оксидов). Кроме того, порошки тугоплавких металлов и их сплавов могут быть получены только физико-химическими способами. Наиболее дешевы порошки, получаемые методом восстановления руды и окалины. Почти половину всего

порошка железа получают восстановлением руды.

Поведение металлических порошков при прессовании и спекании зависит от свойств порошков. *Химический* состав порошков определяется содержанием его компонентов. *Физические* свойства порошков характеризуются размером и формой частиц, микротвердостью, плотностью, состоянием кристаллической решетки, а *технологические* свойства – насыпной массой, текучестью, прессуемостью и спекаемостью.

Насыпная масса – масса единицы объема свободно насыпанного порошка. Стабильность насыпной массы обеспечивает постоянную усадку при спекании. Она зависит главным образом от формы и размеров частиц.

Текучесть – способность порошка заполнять форму. Текучесть ухудшается с уменьшением размеров частиц порошка и повышением влажности. Оценкой текучести является количество порошка, вытекающего за 1 с через отверстие диаметром 1,5 – 4 мм. Низкая текучесть снижает скорость заполнения формы, что отрицательно сказывается на производительности при автоматическом прессовании, а также способствует получению неоднородных по плотности деталей.

Прессуемость характеризуется способностью порошка уплотняться под действием внешней нагрузки и прочностью сцепления частиц после прессования. Прессуемость зависит от пластичности материала частиц, их размеров и формы и повышается введением в состав порошка поверхностно-активных веществ.

Под *спекаемостью* понимают прочность сцепления частиц в результате термической обработки прессованных заготовок.

Процесс приготовления смеси включает предварительный отжиг, сортировку порошка по размерам частиц и смешение. Предварительный отжиг порошка способствует восстановлению оксидов и снимает наклеп, возникающий при механическом измельчении исходного материала. Его также проводят для порошков, полученных электролизом и разложением карбониллов при температуре $(0,5 - 0,6)T_{пл}$ в защитной или восстановительной атмосфере.

Порошки с размером частиц 50 мкм и больше разделяют по группам просеиванием на ситах, а более мелкие – воздушной сепарацией. В металлические порошки вводят технологические присадки различного назначения:

- ✓ пластификаторы (парафин, стеарин, олеиновую кислоту и др.), облегчающие процесс прессования;
- ✓ легкоплавкие материалы, улучшающие процесс спекания;
- ✓ летучие вещества – для получения деталей с заданной пористостью.

Заготовки из металлических порошков *формуются* прессованием (холодным, горячим), изостатическим (всесторонним) формованием, прокаткой, выдавливанием.

При *холодном прессовании* в пресс-форму 2 засыпают определенное количество приготовленного порошка 3 и прессуют пуансоном 1 (рис. 21). В процессе прессования увеличивается контакт между частицами, уменьшается по-

ристость, деформируются и разрушаются отдельные частицы. Прочность получаемой заготовки обеспечивается силами механического сцепления частиц порошка, электростатическими силами притяжения и трения. С увеличением давления прессования прочность заготовки растет. Однако давление распределяется неравномерно по высоте заготовки вследствие трения порошка о стенки пресс-формы, поэтому заготовки имеют различную пористость и прочность по высоте.

В зависимости от габаритных размеров и сложности прессуемых заготовок применяют одно- или двустороннее прессование. Односторонним прессованием (рис. 21, а) получают заготовки простой формы с отношением высоты к диаметру меньше единицы и заготовки типа втулок с отношением наружного диаметра к толщине стенки меньше трех.

Двустороннее прессование (рис. 21, б) применяют для формообразования заготовок сложной формы. В этом случае необходимое давление для равномерной плотности снижается на 30 – 40 %. Снизить давление позволяет также применение вибрационного прессования.

В процессе прессования частицы порошка подвергаются упругой и пластической деформации, в результате чего в заготовке накапливаются значительные напряжения. После извлечения заготовки из пресс-формы ее размеры увеличиваются в результате упругого последействия.

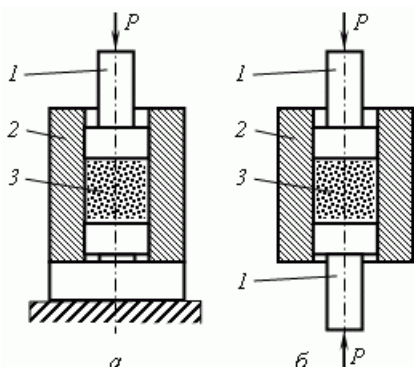


Рис. 6. Схемы холодного прессования: а - одностороннего; б - двустороннего

Горячим прессованием технологически совмещаются процессы формообразования и спекания заготовки. Температура составляет $(0,6 - 0,8)T_{пл}$ для однокомпонентной системы или ниже температуры плавления матричного материала композиции. Благодаря нагреву процесс уплотнения протекает более

интенсивно, уменьшается необходимое давление, повышается плотность, прочность и однородность структуры заготовок. Этот метод применяется для получения деталей из порошков тугоплавких соединений (карбидов, силицидов, боридов).

При горячем прессовании высокие требования предъявляются к материалу пресс-формы. Он должен иметь достаточную прочность при повышенной температуре, не реагировать с прессуемым порошком. Пресс-формы изготавливают из жаропрочных сталей на основе никеля, твердых сплавов, графита. Низкая производительность, малая стойкость пресс-форм, необходимость применения защитной среды ограничивают применение горячего прессования.

Окончательным этапом технологического процесса получения деталей порошковой металлургией является *спекание* заготовок, которое проводят для повышения их прочности. Процесс сопровождается ростом контактов между

отдельными частицами порошка за счет протекания процессов восстановления поверхностных оксидов, диффузии, рекристаллизации и др. Протекание этих процессов зависит от температуры и времени спекания, среды и других факторов.

Температура спекания обычно составляет $(0,6 - 0,9)T_{пл}$ порошка для однокомпонентной системы, или ниже температуры плавления материала матрицы композиции. Время выдержки после достижения температуры спекания по всему сечению – 30 – 90 мин.

При спекании изменяются линейные размеры заготовки (чаще наблюдается усадка) и физико-механические свойства спеченных материалов. Увеличение времени и температуры спекания до определенных значений способствует повышению прочности и плотности в результате активации процесса образования контактных поверхностей, однако превышение указанных технологических параметров может привести к снижению прочности в результате роста зерен кристаллизации. Проведение спекания в условиях, когда входящий в композицию легкоплавкий компонент образует жидкую фазу, активизирует усадку и обеспечивает получение заготовок с малой или даже нулевой пористостью и высокими физико-механическими свойствами.

К атмосфере спекания предъявляют требования безокислительного нагрева. В большинстве случаев спекание проводят в восстановительной атмосфере, способствующей удалению оксидов, или в вакууме. Для спекания используют электропечи сопротивления или печи с индукционным нагревом.

Для повышения физико-механических свойств спеченных заготовок применяют: повторные прессование и спекание, пропитку смазочными материалами, термическую или химико-термическую обработку. Промежуточные отжиги, снимая наклеп в зернах заготовки, способствуют дальнейшему их уплотнению при относительно небольшом давлении. В производственных условиях, как правило, ограничиваются двукратным прессованием и спеканием. Наличие пор в материалах делает их чувствительными к окислению при нагреве и к коррозии при попадании закалочной жидкости в поры. По этой же причине более интенсивно протекают процессы химико-термической обработки заготовки.

Задание

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Кратко законспектировать основные положения.
3. Для предложенной преподавателем марки (состава) металлического порошка выбрать режимы прессования и спекания.
4. Засыпать определенный объем порошка в пресс-форму и произвести формообразование с помощью разрывной машины Р-10.
5. Выполнить спекание заготовки при выбранных для данной марки порошка режимах (температура, время) и атмосфере спекания.
6. Провести механические испытания образца и сравнить полученные

значения с табличными показателями.

7. Проанализировать результаты и сделать выводы по работе.

Содержание отчета

Отчет должен содержать основные сведения о технологии изготовления деталей порошковой металлургией; режимы прессования и спекания заготовки; эскизы пресс-формы и получаемой детали; результаты механических испытаний, выводы по работе.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем преимущество получения заготовок порошковой металлургией?
2. Каковы способы получения порошков?
3. Перечислите технологические свойства порошков.
4. Этапы изготовления деталей из металлических порошков.
5. Методы формообразования заготовок из порошков.
6. Назначение, параметры режима спекания, их влияние на свойства заготовок.
7. Окончательная обработка заготовок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 6996-85. Соединения сварные. Методы определения механических свойств.
2. ГОСТ 9454-78. Форма и размеры образцов для испытаний на ударную вязкость.
3. Дриц М.Е. Технология конструкционных материалов и материаловедение: учебник для вузов / М.Е. Дриц, М.А. Москалев.- М.: Высш. шк., 1990.- 447 с.
4. Зубцов М.Е. Листовая штамповка / М.Е. Зубцов.- Л.: Машиностроение, 1980.- 432 с.
5. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин.- М.: Металлургия, 1984.- 359 с.
6. Лахтин Ю.М. Материаловедение/ Ю.М. Лахтин, В.П. Леоньева.- М.: Машиностроение, 1981.- 278 с.
7. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский.- Л.: Машиностроение, 1979.- 580 с.
8. Теллер Ю.А., Рахистадт А.Г. Материаловедение (методы анализа, лабораторные работы и задачи) / Ю.А. Теллер, А.Г. Рахистадт.- М.: Металлургия, 1983.- 384 с.

9. Технология конструкционных материалов: учебник для машиностроительных специальностей вузов / А.М. Дальский, А.А. Рутюнова, Т.М. Барсукова и др.; под ред. А.М. Дальского.- М.: Машиностроение, 1985.- 448 с.

10. Технология конструкционных материалов: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, Л.Н. Бухаркин и др.; Под ред. А.М. Дальского.- 5-е изд., исправленное.- М.: Машиностроение, 2004.- 512 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 Определение прочности и пластичности при растяжении	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 Определение ударной вязкости конструкционных материалов	10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 Определение твердости материалов	15
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 Испытания на усталость	18
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 Исследование технологических свойств конструкционных материалов	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 Определение основных технологических параметров заготовительных операций листовой штамповки ..	26
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 Выбор параметров процесса резания и оценка их влияния на эффективность процесса	30
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 Изготовление деталей из композиционных порошковых материалов	36
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	41

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Технология конструкционных материалов»
для студентов направления 15.03.01 «Машиностроение»
(профили «Оборудование и технология сварочного
производства», «Технологии, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств») всех форм обучения

Составитель

Бокарев Дмитрий Игоревич

Компьютерный набор Д. И. Бокарева

Подписано к изданию 15.11.2021.

Уч.-изд. л. 2,6.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14