

Документ подписан простой электронной подписью

Информация: Министерство науки и высшего образования РФ

ФИО: Игнатенко Виталий Иванович

Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике

Дата подписания: 06.03.2025 09:47:04

Уникальный программный ключ:

a49ae343af5448d45d7e3e1e499659da8109ba78

# ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

## Обработка металлов давлением

*Методические указания  
к лабораторным работам*

Норильск 2023

Технология конструкционных материалов. Обработка металлов давлением: метод. указ. к лаб. работам / сост.: С.С. Пилипенко, А.Я. Сарафанова, Ю.Г. Серебренников; Министерство науки и высшего образования РФ, Заполярный гос. ун-т им. Н.М. Федоровского. – Норильск: ЗГУ, 2023. – 62 с. – Библиогр.: с. 59–60. – Текст: непосредственный.

Методические указания соответствуют теоретическим разделам курса «Технология конструкционных материалов». Позволяют глубже понять влияние отдельных факторов на технологические параметры металлургических процессов, развить творческое мышление и способность к проведению научных исследований.

Предназначены обучающимся бакалавриата направлений подготовки «Технологические машины и оборудование» и «Наземные транспортно-технологические комплексы» всех форм обучения.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Лабораторные занятия одинаковы по структуре и содержат следующие разделы: цель работы, теоретические положения, лабораторное оборудование, порядок выполнения работы, содержание отчёта и контрольные вопросы.

В теоретической части излагается дополнительный материал к соответствующим разделам курса.

Каждое занятие должно начинаться с изучения соответствующих правил техники безопасности. После их усвоения студент расписывается в учебном журнале, затем группа приступает к выполнению лабораторного занятия.

Учитывая важность самостоятельной работы студентов, оформлять отчёт по занятию и готовиться к его защите желательно во внеаудиторное время. В этом случае у студента имеется возможность спокойно осмыслить весь ход лабораторного занятия, проанализировать полученные результаты и сделать соответствующие выводы.

## **ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

1. Перед началом работы необходимо убедиться, что все проходы к оборудованию, на котором выполняются работы, свободны. Если площадка или проходы возле оборудования заняты посторонними предметами (портфелями, сумками, стульями и т.д.), затрудняющими перемещение, их следует убрать до начала работы.

2. Не следует слишком близко подходить к работающему оборудованию и опираться на него. Запрещается во время работы отвлекаться и заниматься другими делами, не имеющими отношения к выполняемой работе.

3. Запрещается находиться около вращающихся деталей (муфт, прокатных валков и др.) в расстёгнутой одежде, с висячими концами шалей, шарфов, галстуков и др., а также с распущенными волосами.

4. Перед включением кнопки «Пуск» необходимо убедиться в том, что все вращающиеся детали оборудования закрыты ограждениями, и включение агрегата не представляет опасности для окружающих, которых необходимо предупредить о предстоящем включении.

5. Включать и выключать агрегаты должен только тот студент, которому преподаватель поручил эту работу. Во время перерывов оборудование должно быть остановлено, после окончания работы – остановлено и обесточено.

6. После окончания работ измерительный инструмент следует сдать руководителю, а использованные образцы собрать в местах, указанных руководителем.

7. В лаборатории широко проводятся научные исследования, часто с использованием того же оборудования, что и при проведении лабораторных работ, поэтому запрещается без специального разрешения трогать измерительную аппаратуру и образцы, не относящиеся к проводимой работе, чтобы не нарушать настройку аппаратуры, порядок расположения образцов и не нанести ущерб исследовательской работе.

8. При выполнении работ следует строго выполнять все требования руководителя.

## **Лабораторная работа №1**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НАГРЕВА МЕТАЛЛА ПЕРЕД ГОРЯЧЕЙ ОБРАБОТКОЙ ДАВЛЕНИЕМ**

**Цель работы:** изучение методики теоретического и экспериментального определения температурно-временных параметров режима горячей обработки металлов давлением; ознакомление с устройством и принципом действия оптических и термоэлектрических пирометров.

#### **Основные теоретические сведения**

Целью нагрева металла перед горячей обработкой давлением является снижение его сопротивления деформированию и достижение максимальной степени деформации. При нагреве металла до максимально допустимых температур сопротивление деформации снижается в 15–20 раз по сравнению с деформацией в холодном состоянии, что позволяет значительно уменьшить потребляемую мощность оборудования, а также энергетические затраты. Кроме того, протекание процесса рекристаллизации, сопровождающего горячую деформацию металла, способствует восстановлению его пластичности.

Нагрев металла перед обработкой давлением является важной операцией, и соблюдение технологии нагрева определяет качество получаемых изделий, производительность оборудования, себестоимость продукции.

Основными параметрами режима горячей обработки металлов являются температурный интервал, скорость и время нагрева металла до заданной температуры. Температурный интервал характеризуется разностью между начальной температурой обработки, до которой производится нагрев металла, и конечной температурой, при которой обработка давлением заканчивается. Время нагрева металла определяется продолжительностью нагрева до заданной температуры и временем выдержки.

Температурный интервал горячей обработки металлов и сплавов определяется их физическими свойствами (температура плавления, теплопроводность, линейное расширение), химическим составом и структурой сплавов. Правиль-

но выбранный температурный интервал обработки должен обеспечить сочетание максимальной пластичности и минимального сопротивления деформации металла, отсутствие брака при нагреве металла (угар, обезуглероживание, перегрев, пережог), получение после горячей обработки требуемой структуры, величины зерна и механических свойств.

Температурный интервал обработки давлением сталей и сплавов цветных металлов определяется по диаграммам состояния этих сплавов или выбирается по справочным таблицам, составленным на основе этих диаграмм.

В общем случае максимальная и минимальная температура горячей обработки может быть определена по эмпирическим формулам С.И. Губкина:

$$T_{\max} = \alpha \cdot T_{\text{пл}}, \quad (1.1)$$

$$T_{\min} = 0,7 \cdot T_{\text{пл}}, \quad (1.2)$$

где  $T_{\text{пл}}$  – абсолютная температура плавления;  $\alpha$  – коэффициент понижения температуры, принимаемый для сплавов 0,8–0,9.

Применительно к сталям температуры начала ( $T_{\max}$ ) и конца ( $T_{\min}$ ) горячей обработки выбирают по диаграмме состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C (рис. 1.1). При этом максимальная температура нагрева должна быть на 150–200 °С ниже линии солидус *AE* во избежание пережога и усиленного окисления стали. Минимальная температура горячей деформации (температура конца обработки) определяется пластичностью стали: у низкоуглеродистых сталей она лежит в интервале  $A_{с3}$ – $A_{с1}$  (750–800 °С), для средне- и высокоуглеродистых сталей, имеющих меньшую пластичность, температура конца обработки находится в интервале  $A_{сг}$ – $A_{с1}$ .

При определении температуры окончания горячей деформации необходимо учитывать процессы рекристаллизации и роста зерен, имеющие место при высоких температурах. Если продолжать деформации при более низких температурах, то произойдет упрочнение металла и снижение пластичности (не успевает произойти рекристаллизация), что может привести к образованию трещин. Высокая температура окончания обработки будет способ-

ствовать получению крупнозернистой структуры металла и, следовательно, снижению механических свойств.

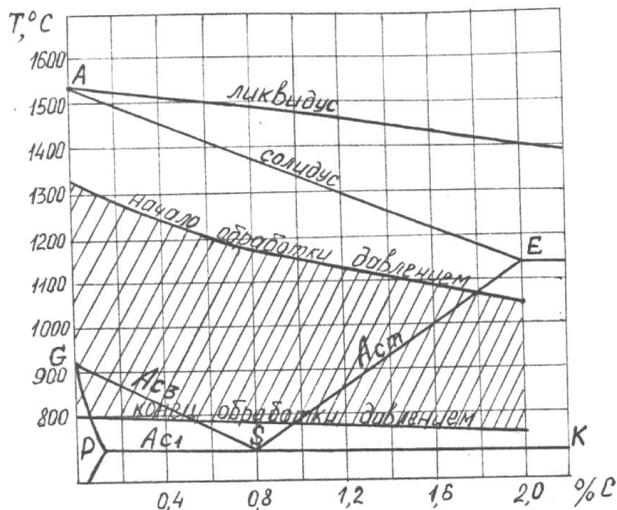


Рис. 1.1. Выбор температурного интервала горячей обработки давлением

Температуру рабочего пространства нагревательных печей принимают выше максимальной температуры нагрева металла на 100–150 °С. Эту разность температур называют **температурным напором**. Ориентировочные температуры горячей обработки сталей и деформируемых сплавов на основе цветных металлов приведены в табл. 1.1.

Скорость нагрева, характеризуемая увеличением температуры в единицу времени ( $^\circ\text{C}/\text{ч}$ ), зависит от теплофизических свойств металла и температуры печи при загрузке в нее заготовок. Увеличение скорости нагрева повышает производительность печи, уменьшает окисление металла. Однако слишком быстрый нагрев вызывает в металле значительные термические напряжения, что может привести к образованию трещин. Это особенно опасно для сталей и сплавов с низкой теплопроводностью (высокоуглеродистые и высоколегированные стали, титановые сплавы), для которых необходим медленный или ступенчатый нагрев до заданной температуры.

Таблица 1.1

Наименование сплава	Рекомендуемый температурный интервал деформации $T_{деф.}^{\circ C}$	
	начала $T_{max}$ (верхний предел)	окончания $T_{min}$ (нижний предел)
Углеродистые конструкционные обыкновенного качества	1300	700
Углеродистые конструкционные качественные	1280–1220	750–720
Углеродистые инструментальные	1200–1180	760–750
Легированные конструкционные общего назначения	1250–1200	800–760
Легированные рессорно-пружинные	1250–1200	850–800
Шарикоподшипниковые	1200–1180	870–830
Легированные инструментальные	1200–1150	900–850
Высоколегированные нержавеющие	1180–1150	900–850
Деформируемые латуни	800	850–600
Деформируемые бронзы	900	750
Деформируемые алюминиевые сплавы	470–430	400–350
Деформируемые магниевые сплавы	430–370	250–300
Титановые сплавы	1000–950	850–800
Никелевые сплавы	1200–1180	1150

Длительность нагрева в печи зависит от химического состава сплава (его температуропроводности), температурного напора печи, формы, размеров нагреваемых заготовок и способа их расположения на поде печи.

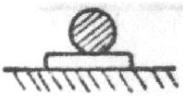
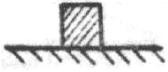
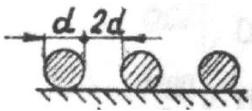
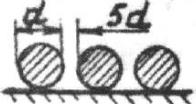
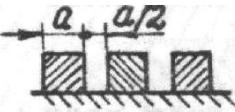
Ориентировочно продолжительность нагрева стальных заготовок толщиной более 100 мм в камерных печах может быть определена по формуле Доброхотова-Копытова, ч,

$$\tau = \alpha \cdot \kappa \cdot D \sqrt{D}, \quad (1.3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий способ укладки заготовок на поде печи (табл. 1.2);  $\kappa$  – коэффициент, учитывающий теплофизические свойства стали, для низкоуглеродистых и низколегированных сталей  $\kappa = 10$ , для

высокоуглеродистых и высоколегированных –  $\kappa = 20$ ;  
 $D$  – диаметр или сторона квадрата нагреваемой заготовки, м.

Таблица 1.2

Расположение заготовок	Поправочный коэффициент	Расположение заготовок	Поправочный коэффициент
	1,0		1,0
	1,0		1,4
	1,3		2,0
	1,4		2,2
	2,0		4,0

Продолжительность нагрева в печах электросопротивления на 15–20% больше, чем в пламенных, это объясняется меньшей интенсивностью теплопередачи за счет излучения нагретых стенок и конвекции газов в печном пространстве.

Наибольшая скорость нагрева (минимальная продолжительность нагрева) достигается в соляных ваннах при индукционном и электроконтактном нагреве: они не только значительно (в 5–10 раз по сравнению с пламенными печами) уменьшают длительность нагрева, но и резко

уменьшают потери металла на угар, повышают качество нагрева металла.

При нагреве металла перед обработкой давлением необходимо учитывать возможность появления брака при несоблюдении установленного режима нагрева.

При высоких температурах происходит активное химическое взаимодействие металла с печными газами, что приводит к окислению и обезуглероживанию поверхностного слоя. Окисление (угар) приводит к безвозвратным потерям металла (обычно 2–3% за нагрев) и ухудшению качества поверхности (вдавленная окалина), а обезуглероживание (за счет взаимодействия с кислородом и водородом печной атмосферы) снижает твердость поверхностного слоя, что недопустимо для инструментальных сталей.

Обезуглероживание является исправимым браком (производится зачистка дефектного слоя), однако требует значительных материальных затрат.

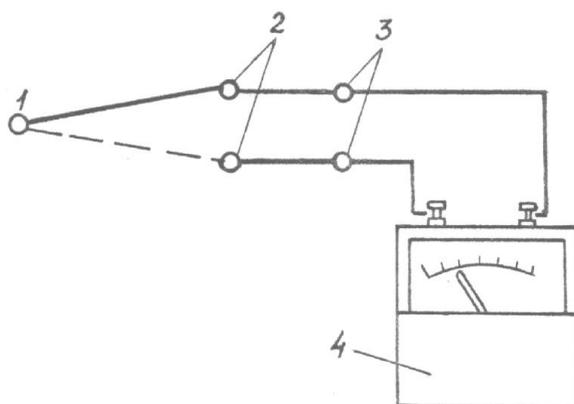
Нагрев сталей при высоких температурах может сопровождаться интенсивным ростом зерна (перегрев), что снижает механические свойства стали и особенно ударную вязкость.

Перегрев металла в большинстве случаев можно исправить последующей термической обработкой – полным отжигом или нормализацией.

Длительная выдержка при температурах верхнего предела приводит к интенсивному окислению не только поверхности, но и по границам зерен с частичным их оплавлением; при этом связь между зернами нарушается, теряется пластичность, и металл при деформации разрушается – это явление носит название **пережога**. Пережог является неисправимым браком – пережженный металл может быть отправлен только на переплавку.

Чтобы нагреть металл до требуемой температуры, не допустив его обезуглероживания, перегрева или пережога, тщательно контролируют температуру рабочего пространства печи и заготовок. С этой целью используют различные приборы, из которых наибольшее применение находят термоэлектрические пирометры и пирометры излучения.

Принцип действия термоэлектрических пирометров (рис. 1.2) заключается в возникновении термоэлектродвижущей силы (ТЭДС) в рабочем слое термопары (термоэлементе), состоящей из двух разнородных электрических проводников (термоэлектродов) и помещенной в рабочее пространство нагретой печи. Свободные концы термопары присоединяют к измерительному прибору (показывающие или самопишущие пирометрические вольтметры). Величина ТЭДС зависит от рода металлов, составляющих термоэлемент, и от разности рабочего слоя и свободных концов термопары. Техническая характеристика основных термопар, применяемых для измерения различных температур, представлена в табл. 1.3.



**Рис. 1.2. Схема термоэлектрического пирометра:**  
**1 – горячий слой; 2 – холодный слой; 3 – компенсационные провода;**  
**4 – милливольтметр**

Таблица 1.3

Тип термопары	Верхний температурный предел измерения		Чувствительность, мВ/°С
	длительного	кратковременного	
Платинородий-платиновая	1300	1600	0,01
Хромель-алюминиевая	1000	1300	0,04
Хромель-копелевая	600	800	0,08
Вольфрам-рекиевая	2200	2500	0,01
Вольфрам-молибденовая	1800	–	0,02

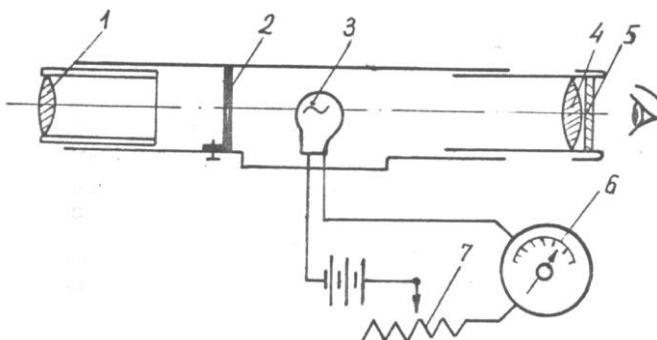
Преимуществом термопар является их высокая чувствительность, стабильность показаний и линейность в широком диапазоне измеряемых температур.

Принцип действия пирометров излучения основан на бесконтактной регистрации теплового излучения нагретых объектов.

По принципу действия различают оптические, фотоэлектрические и радиационные пирометры.

*Оптические яркостные визуальные пирометры* основаны на принципе сравнения яркости свечения поверхности нагретого металла и нити пирометрической лампы, температура которой известна. Потенциометром измеряют яркость нити до исчезновения ее изображения на фоне нагретого объекта, определяют соответствующую этому моменту силу тока лампы, по градуировочной шкале прибора устанавливают температуру объекта. Оптические яркостные пирометры (ОППир-09, ОППир-017) являются переносными измерительными приборами, просты и удобны в работе, интервал измерения температур 600–6000 °С, точность измерения  $\pm 20$ –10 °С. Недостатком метода является субъективность оценки яркости и, следовательно, измеряемой температуры (рис. 1.3).

Принцип действия *фотоэлектрических яркостных пирометров* основан на сравнении яркости излучения нагретого объекта с яркостью эталона. В отличие от оптических пирометров, сравнение производится не визуально, а с помощью фотоэлемента, преобразующего световую энергию в электрическую. Эти приборы (ФЭП-4, ФЭП-8) позволяют ускорить процесс измерения температуры и исключить субъективные ошибки. Диапазон измеряемых температур определяется спектральной чувствительностью применяемых фотоэлементов и составляет 100–2000 °С, погрешность измерения находится в пределах  $\pm 1\%$ .



**Рис. 1.3. Схема оптического пирометра:**  
**1 – объектив; 2 – диафрагма; 3 – пирометрическая лампа; 4 – окуляр;**  
**5 – красный фильтр; 6 – указатель температуры;**  
**7 – реостат регулировки нити накала**

Действие *радиационных пирометров* основано на использовании закона Стефана-Больцмана, устанавливающего зависимость излучаемой телом энергии от его температуры. Излучаемая энергия с помощью специальных линз (материал их определяется диапазоном измеряемых температур) фокусируется на приемниках излучения, в качестве которых используются последовательно соединенные термопары (термобатарей) или специальные пироэлектрические термодетекторы. Радиационные пирометры (ПИРС-040, РАПИР) в зависимости от применяемой оптики позволяют измерять температуру в широком интервале: 100–500 °С, 400–1500 °С, 900–2500 °С; погрешность измерения ±1%. Преимуществом радиационных пирометров является их малая инерционность, т.е. быстрая реакция прибора на изменение температуры нагретого тела (0,5–2,0 с).

### **Порядок выполнения работы**

1. По диаграмме состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C (см. рис. 1.1) определить температуру начала и конца горячей обработки стали в соответствии с ее химическим составом.

2. Рассчитать время нагрева металла, задавшись определенной схемой укладки заготовок на поде печи.

3. Руководствуясь данными расчетов температуры и времени нагрева, осуществить нагрев заготовки в муфельной электрической печи МП-2УМ.

4. Провести замер температуры нагретой заготовки при помощи оптического пирометра ОППир–017, сравнив его показания с температурой, указываемой термоэлектрическим пирометром.

5. Результаты вычислений и измерений внести в протокол испытания (табл. 1.4).

**Содержание отчета:**

1) на диаграмме состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C начертить температурный интервал горячей обработки давлением, указать температуру начала и конца обработки для детали данного химического состава;

2) зарисовать схемы термоэлектрического и оптического пирометров;

3) в табл. 1.4 внести результаты расчетов и измерений.

Таблица 1.4

Температурный интервал горячей обработки, °С		Коэффициент укладки заготовок $\alpha$	Коэффициент, учитывающий химический состав $k$	Диаметр заготовки $D$	Время прогрева заготовок		Температура нагретой заготовки	
					расчетное	фактическое		
$T_{\max}$	$T_{\min}$				$t_p$	$t_f$	термопарой	ОППир–017

**Контрольные вопросы**

1. С какой целью производится нагрев металла перед обработкой давлением?

2. Какие параметры характеризуют режим горячей обработки давлением?

3. Какие виды брака возможны при нагреве металла?

4. Приборы контроля температуры, их классификация.

5. Устройство и принцип действия термоэлектрических и оптических яркостных пирометров.

## Лабораторная работа №2

### ПАСПОРТИЗАЦИЯ ПРОКАТНОГО СТАНА

**Цель работы:** изучение устройства и принципа действия лабораторного прокатного стана; составление паспорта на основные механизмы и узлы.

#### Основные теоретические сведения

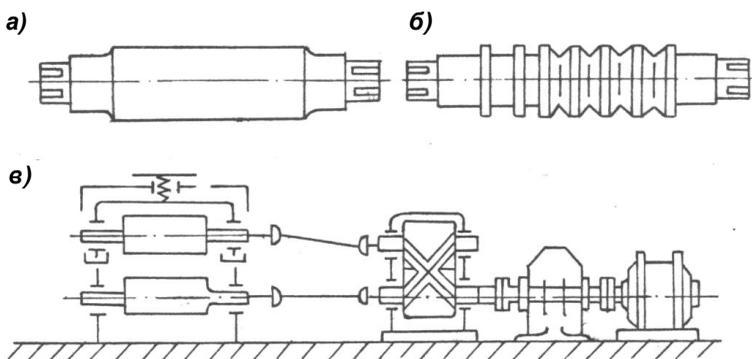
**Паспорт оборудования** – документ, в котором дана его техническая характеристика. Паспортизация оборудования имеет в производственных условиях большое значение. Правильно составленный паспорт дает не только краткую и точную характеристику оборудования (механизма), необходимую для правильного суждения об условиях его эксплуатации, для установления соответствующих режимов работы, но и позволяет установить производительность и другие технико-экономические показатели (например, при подсчетах количества оборудования для выполнения производственного задания, месячного или годового объема производства и т.д.).

Паспорт оборудования включает основные технические данные оборудования в целом, а также техническую характеристику отдельных агрегатов и механизмов, входящих в комплекс оборудования.

**Прокатным станом** называется комплекс технологических машин и агрегатов, предназначенных для пластической деформации металла в валках, его транспортировки и отделки.

Все оборудование прокатного стана можно разделить на две группы – основное и вспомогательное. *Основное оборудование* непосредственно связано с вращением прокатных валков и пластической деформацией металла. Машины и агрегаты, используемые для выполнения всех остальных технологических операций при производстве проката (нагрев, транспортировка металла, кантовка, резка, охлаждение, правка, отделочные операции и т.д.), относятся к *вспомогательному оборудованию* (печи, конвейеры, толкатели, манипуляторы, ножницы, пилы, правильные прессы, моталки, холодильники и т.д.).

Линия, на которой расположено основное оборудование, называется *главной линией прокатного стана* (рис. 2.1). Основными элементами ее являются: рабочая клеть, шестеренная клеть, редуктор, электродвигатель, соединительные устройства.



**Рис. 2.1. Инструмент и оборудование прокатки:**  
 а – главный валок; б – рудьевой валок; в – схема прокатного стана

**Рабочая клеть.** В ней устанавливаются прокатные валки, обеспечивающие деформацию металла. В главной линии может быть несколько рабочих клеток. Размеры прокатных валков (диаметр, длина бочки) являются определяющей характеристикой рабочей клетки.

При этом для листопрокатных станов основной характеристикой является длина бочки, определяющая максимальную ширину проката ( $0,8-0,9 L_б$ ), а для сортопрокатных станов – диаметр бочки валов, позволяющий определить максимальный размер проката ( $\frac{1}{7} - \frac{1}{10} D_б$ ).

Валки промышленных листопрокатных станов (тонкий и толстый лист толщиной 0,20–200 мм) имеют длину бочки 300–5000 мм, а валки сортопрокатных станов, прокатывающих круг, квадрат, уголок, рельсы и другой профиль, имеют диаметр 250–1300 мм.

Специализированные трехвалковые прокатные станы поперечно-винтовой прокатки, предназначенные для получения периодического проката, характеризуются максимальным диаметром выпускаемой продукции (10, 20,

50, 70, 80, 120, 220 мм). Характеристикой шаропрокатных станов поперечно-винтовой прокатки (шары диаметром 40–125 мм) является диаметр валков (станы 620–1010).

Частота вращения валков определяется с помощью тахометра или хронометражем. Окружная скорость валков определяется по формуле, м/с,

$$U = \frac{\pi \cdot D_{\text{б}} \cdot n}{60},$$

где  $D_{\text{б}}$  – диаметр бочки валка, м;  $n$  – частота вращения валков, с<sup>-1</sup>.

В зависимости от назначения скорость прокатки для различных станов составляет:

- для слябингов и блюмингов – 3–7 м/с;
- для рельсобалочных – 3–10 м/с;
- для листопрокатных станов – 9–21 м/с;
- для мелкосортных станов – 5–20 м/с;
- для проволочных – 17–40 м/с.

Валки, которые производят формоизменение металла, расположены в станинах рабочей клетки, воспринимающих давление металла на валки. Шейки прокатных валков вращаются в подшипниках различной конструкции (скольжения, качения, жидкостного трения). Для изменения расстояния между валками, а следовательно, и регулирования толщины прокатываемой полосы в верхней части станины имеется нажимное устройство, регулирующее положение верхнего валка. На станине установлен индикатор, указывающий величину зазора между валками. Станины рабочих клеток изготавливаются закрытого (цельнолитые) и открытого (со съемной верхней поперечной станиной, закрепляемой при сборке клетки специальными тягами) типов. Станины закрытого типа обеспечивают большую жесткость рабочей клетки и, следовательно, высокую точность проката. Их применяют главным образом для листопрокатных станов, для станков, выпускающих полупродукт (слябинги, блюминги), а также для крупносортовых станков готовой продукции (рельсобалочные и др.). Однако замена валков при перестройке стана, производимая через боковые проемы станины, в этом случае значи-

тельно сложнее, чем в станинах открытого типа: замена валков в данном случае производится без затруднений после снятия верхней поперечины станины.

В зависимости от конструкции и назначения рабочая клетка прокатного стана может иметь различное количество валков – 2, 3, 4, 6, 12, 20. По числу и расположению валков в рабочих клетках станы подразделяют на станы дуо, трио, кварто, многовалковые и универсальные (рис. 2.2).

Станы дуо (рис. 2.2, а) имеют два рабочих валка, которые вращаются либо в одном (нереверсивные станы), либо в разных (реверсивные) направлениях, что позволяет пропускать обрабатываемый металл в обе стороны.

В станах трио (рис. 2.2, б) имеются три рабочих валка с постоянным направлением их вращения. Прокатка ведется попеременно сначала между нижним и средним, а затем между средним и верхним валками, что дает возможность менять направление прокатки.

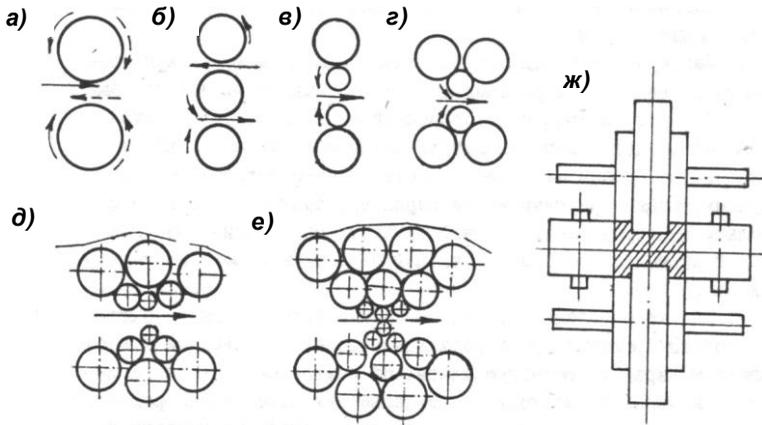


Рис. 2.2. Схемы рабочих клеток станов

Станы кварто (рис. 2.2, в) имеют четыре валка, из которых два являются рабочими и два опорными; последние предназначены для уменьшения прогиба рабочих валков.

Многовалковые станы (шести-, двенадцати- и двадцативалковые) также имеют только два рабочих валка. Опорные валки, располагаемые в один, два или три яруса, позволяют применять рабочие валки малого диаметра,

благодаря чему увеличивается вытяжка и снижается давление металла на валки (рис. 2.2, з, е, д).

Планетарные станы, конструкции которых разработаны сравнительно недавно, наоборот, имеют большое число пар рабочих валков малого диаметра и два валка большого диаметра, являющихся опорными. Деформация ведется одновременно несколькими парами рабочих валков, что позволяет получить за один проход значительную вытяжку.

Универсальные станы (рис. 2.2, ж), кроме горизонтальных валков, деформирующих металл в вертикальной плоскости, имеют также и вертикальное расположение с одной или обеих сторон горизонтальных валков; вертикальные валки производят деформацию металла в горизонтальной плоскости. Универсальные станы предназначены для прокатки широкополосных балок.

**Шестеренная клеть** предназначена для разделения крутящего момента двигателя и распределения его между рабочими валками прокатной клетки. В станине шестеренной клетки установлены зубчатые шестерни одинакового диаметра, число которых равно числу рабочих валков в прокатной клетке. Шестерни работают при больших нагрузках, носящих динамический характер, поэтому их изготавливают только с шевронным зубом, что улучшает зацепление шестерен, повышает их надежность, обеспечивает плавность работы шестеренной клетки.

**Редуктор** используют для изменения (обычно для уменьшения) частоты вращения при передаче движения от двигателя к рабочим валкам через шестеренную клетку. На реверсивных станах (блужинги, слябинги, толстолистовые и рельсобалочные станы) редукторы не устанавливают, так как для данных условий работы применение сравнительно тихоходных реверсивных двигателей постоянного тока экономически более выгодно.

В зависимости от передаточного числа редукторы прокатных станов бывают одно-, двух- и трехступенчатыми. Частота вращения отдельных звеньев машин (валов, зубчатых колес, прокатных валков) может быть определена по формуле:

$$n = \frac{n_n}{i},$$

где  $n_n$  – номинальная частота вращения двигателя,  $\text{с}^{-1}$ ;  $i$  – передаточное отношение от электродвигателя до звена, для которого определяется частота вращения.

**Электродвигатель** является приводом прокатного стана. Вращение вала электродвигателя через редуктор и шестеренную клетку передается на рабочие валки, сообщая им крутящий момент, необходимый для деформации металла. В станах с постоянным направлением прокатки (неревверсивные станы) применяют двигатель переменного тока; в станах с изменяющимся направлением прокатки в одной клетке применяются двигатели постоянного тока, что позволяет проводить быстрое реверсирование вращения валков и направления прокатки. В большинстве прокатных станов применяют один электродвигатель для привода рабочих валков одной или нескольких рабочих клетей (в станах линейного типа). Для мощных станов, прокатывающих слитки весом 10–250 т (блужинги, слябинги, толстолистовые бронепрокатные станы), применяют индивидуальный привод каждого рабочего вала. Максимальная мощность главного электродвигателя прокатного стана достигает 7500 кВт, суммарная мощность всех двигателей, предназначенных для привода нескольких рабочих клетей прокатного стана, достигает 45000 кВт.

**Соединительные устройства** (муфты, шпиндели) предназначены для передачи крутящего момента от электродвигателя через редуктор и шестеренную клетку на рабочие валки прокатного стана. Наибольшее применение находят зубчатые муфты, обеспечивающие передачу крутящего момента при некотором перекосе валков, а также пластичные и упругие муфты, уменьшающие действие ударных нагрузок на редуктор и двигатель.

При значительных перемещениях верхних валков в вертикальной плоскости (например, в блужингах, слябингах, трубопрокатных и толстолистовых станах) для привода валков используют универсальные шпиндели с шарнирами Гука, основной особенностью которых является воз-

возможность передачи крутящего момента прокатки валком при перекусе шпинделя до 10–12°.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством лабораторного прокатного стана, его основными узлами, их назначением и технической характеристикой.

2. Зарисовать кинематическую схему главной линии стана.

3. Составить паспорт лабораторного прокатного стана, заполнив табл. 2.1–2.5.

Таблица 2.1

Общие сведения		Габаритные размеры, мм		
тип стана	режим работы	длина	ширина	высота

Таблица 2.2

Техническая характеристика электродвигателя			Номинальные параметры			
тип двигателя	род тока	режим работы	мощность, кВт	напряжение, В	ток, А	частота вращения, 1/мин

Таблица 2.3

Техническая характеристика редуктора			Техническая характеристика шестеренной клетки					
вид	число ступеней	передаточное число	тип станины	тип зубчатой передачи	размеры шестерен, мм		тип подшипников	вид смазки
					диаметр	длина		

Таблица 2.4

Техническая характеристика станины стана		Габаритные размеры, мм		Подшипники	
тип	материал	ширина	высота	тип	диаметр

Таблица 2.5

Техническая характеристика прокатных валков		Размеры валков, мм		Размеры шейки, мм	
материал	тип валков	диаметр	длина бочки	диаметр	длина

### **Содержание отчета:**

- 1) краткое описание механизмов главной линии прокатного стана;
- 2) кинематическая схема лабораторного прокатного стана;
- 3) паспорт прокатного стана.

### **Контрольные вопросы**

1. Дать определение паспорта оборудования.
2. Дать определение прокатного стана, перечислить основные элементы главной линии стана.
3. Охарактеризовать назначение механизмов, входящих в главную линию прокатного стана.
4. Что представляет собой рабочая клеть прокатного стана, ее основные узлы и их назначение?
5. Что является характеристикой листовых и сортовых прокатных станов?
6. Какое оборудование прокатного стана относится к вспомогательному?

### **Лабораторная работа №3**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЕФОРМАЦИИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРОКАТКЕ**

**Цель работы:** ознакомление с экспериментальными методами определения коэффициентов деформации при прокатке.

### **Лабораторное оборудование**

1. Лабораторный реверсивный стан дуо 150.
2. Измерительный инструмент (штангенциркуль ШЦ-I, металлическая линейка).

### **Основные теоретические сведения**

**Прокаткой** называется процесс пластической деформации металла, в результате которого заготовка обжимается вращающимися валками прокатного стана. При этом происходит уменьшение площади поперечного сече-

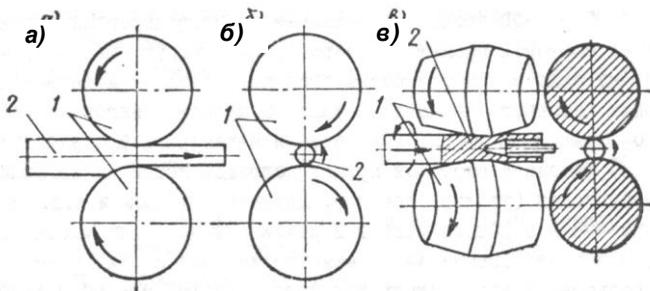
ния и одновременное увеличение длины, а при прокатке на профилированных валках обжимаемый металл приобретает требуемую форму.

Существует три основных способа прокатки:

1. *Продольная прокатка* (рис. 3.1, а), при которой направление движения заготовки совпадает с направлением вращения валков; производится либо на гладких валках (в этом случае продукцией проката являются листы, лента), либо на профилированных (калиброванных) – продукцией в этом случае является сортовой прокат (круг, квадрат, уголки, рельсы, балки и т.д.). Продольная прокатка является самым распространенным способом прокатки – с его помощью производится около 90% всей продукции прокатных цехов.

2. *При поперечной прокатке* валки вращаются в одну сторону (рис. 3.1, б), при этом заготовка получает не поступательное движение, как при продольной прокатке, а вращательное. Обжатие заготовки по диаметру и придание ей требуемой формы обеспечивается соответствующей профилировкой валков и изменением расстояния между ними. Данным способом прокатки изготавливают цилиндрические шестерни с накатанным зубом.

3. *Поперечно-винтовая (косая) прокатка* выполняется в валках, оси которых располагаются под некоторым углом друг к другу (рис. 3.1, в). При вращении валков в этом случае создаются силы, придающие прокатываемой заготовке совокупность вращательного (как при поперечной прокатке) и поступательного (как при продольной прокатке) движений. Метод поперечно-винтовой прокатки лежит в основе производства цельнокатаных труб, шаров, периферического проката.



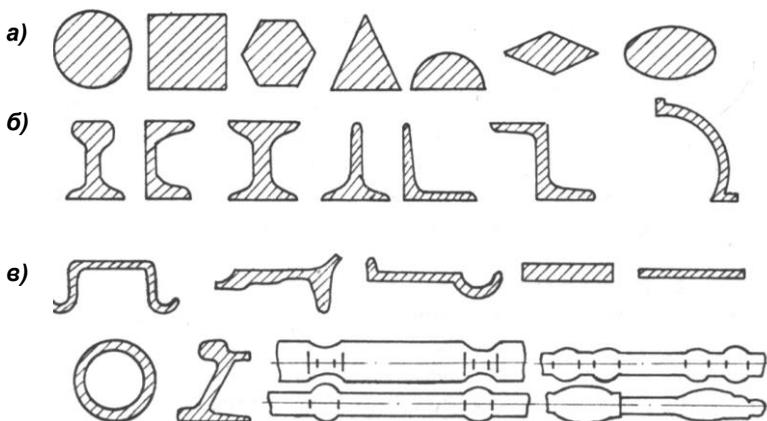
**Рис. 3.1. Основные виды прокатки:**  
**а – продольная; б – поперечная; в – поперечно-винтовая**

Сортаментом прокатной продукции называют перечень выпускаемого проката с указанием профилей и размеров поперечного сечения, а также длины, стандартизованных в соответствующих ГОСТах. Сортамент проката делится на следующие группы (рис. 3.2):

1. Сортной прокат, получаемый на профилированных валках:

- сортовой прокат простого профиля (круг, квадрат, шестигранник, сляб и т.п.) используется как исходный материал для получения фасонного проката, а также в качестве заготовки для кузнечно-штамповочного производства и механической обработки;

- фасонный сортовой прокат подразделяется на профили общего назначения (уголки, швеллер, двутавр, рельсы и т.д.), используемые в строительстве и в различных отраслях машиностроения, и профили специального назначения (подкладки железнодорожных рельсов, шпунты, сталь для лемеха плуга, автобод автомобильных колес и т.д.), предназначенные для сельхозмашиностроения, гидростроительства, железнодорожного транспорта и других отраслей промышленности.



**Рис. 3.2. Сортамент продукции, получаемой различными видами прокатки: а – сортовой прокат простого профиля; б – фасонного; в – специальные виды**

2. Листовой прокат, получаемый на гладких валах:

- толстолистовой прокат прокатывают из слитков в виде листов толщиной 4–60 мм, шириной 600–5000 мм;
- тонколистовой прокат имеет толщину 0,20–3,75 мм при ширине 200–2200 мм, выпускается обычно в виде рулонов.

3. Трубы цельнокатаные с наружным диаметром 51–650 мм и толщиной стенки 2,5–50 мм; методом продольной прокатки получают сварные трубы с прямым или спиральным швом с наружным диаметром 10–1420 мм.

4. Специальные виды проката – оси вагонов, втулки велосипедные, зубчатые колеса, бандажи железнодорожных колес, шары для подшипников качения и т.д.

5. Периодический прокат применяется в качестве фасонной заготовки в кузнечно-штамповочном производстве или для чистовой механической обработки. Он представляет собой прокат, поперечное сечение которого периодически меняется по длине.

6. В особую группу можно выделить гнутые профили, которые получают путем последовательного профилирования плоской листовой заготовки в холодном состоянии. Форма гнутых профилей может быть относительно простой (профиль открытого типа) и весьма сложной (профили по-

лузакрытого и закрытого типа). Гнутые профили характеризуются меньшим весом и более высокими механическими свойствами и широко используются в автомобильной и авиационной промышленности, машиностроении и строительных конструкциях.

Формоизменение металла при обработке давлением рассмотрим на примере продольной прокатки на гладких валках. При прокатке узкой полосы в этом случае будут иметь место высотная, продольная и поперечная деформации. Поскольку объем металла при обработке давлением практически не изменяется ( $U = U_1$ ), можно записать:

$$H_0 B_0 L_0 = H_1 B_1 L_1, \quad (3.1)$$

где  $H_0 B_0 L_0$  – размеры (высота, ширина, длина) прямоугольного параллелепипеда до прокатки;  $H_1 B_1 L_1$  – размеры (высота, ширина, длина) полосы после прокатки.

В практике используют несколько способов оценки степени деформации.

*Абсолютная деформация* характеризует изменение размеров полосы (мм) в результате прокатки и определяется разностью размеров до и после деформации:

- абсолютное обжатие

$$\Delta h = H_0 - H_1; \quad (3.2)$$

- абсолютное удлинение

$$\Delta l = L_0 - L_1; \quad (3.3)$$

- абсолютное уширение

$$\Delta b = B_0 - B_1. \quad (3.4)$$

*Относительная деформация* более полно характеризует процесс формоизменения и представляет собой отношение абсолютной деформации по оси к начальным размерам тела по этой же оси (в долях единицы или в процентах):

- относительное обжатие

$$\Sigma = \frac{\Delta h}{H_0} = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \cdot 100\%; \quad (3.5)$$

- относительное удлинение

$$l = \frac{\Delta l}{L_0} = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \cdot 100\%; \quad (3.6)$$

- относительное уширение

$$B = \frac{\Delta b}{B_0} = \frac{B_0 - B_1}{B_0} \cdot 100\% . \quad (3.7)$$

Практическое применение при измерении степени деформации имеют только относительное обжатие и относительное уширение.

Из закона постоянства объема (формула (3.1)) легко вывести коэффициенты деформации, наиболее характеризующие изменение размеров тела по различным осям:

$$\frac{H_0}{H_1} = \frac{B_1 \cdot L}{B_0 \cdot L_0} \quad \text{или} \quad \lambda = \mu \cdot \beta , \quad (3.8)$$

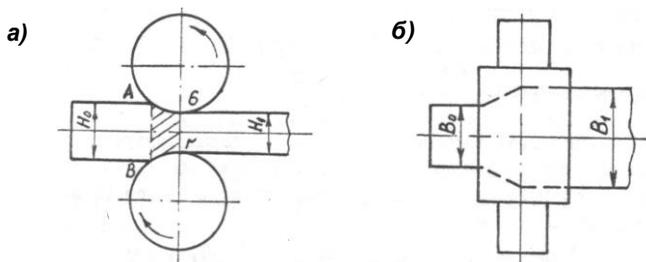
где  $\lambda = \frac{H_0}{H_1}$  – коэффициент высотной деформации;  $\mu = \frac{L_1}{L_0}$  –

коэффициент продольной деформации;  $\beta = \frac{B_1}{B_0}$  – коэффи-

циент поперечной деформации.

Процесс прокатки осуществляется за счет сил трения, возникающих между вращающимися валками и прокатываемой полосой (рис. 3.3). При этом можно выделить следующие понятия: угол захвата  $\alpha$  – угол, образованный радиусом, проведенным в точку касания полосы с валком и линией, соединяющей центры валков.

Дуга  $AB$  – часть окружности валков, отвечающая углу захвата  $\alpha$ ; при небольших углах захвата  $\alpha$  длина дуги  $AB$  принимается равной ее горизонтальной проекции. Она характеризует длину зоны деформации  $l$  (мм).



**Рис. 3.3. Схема обжатия заготовки при продольной прокатке: а – изменение толщины заготовки; б – изменение ширины заготовки**

Зона деформации  $АВВ\Gamma$  – часть металла, соответствующая дуге захвата и подвергающаяся в данный момент деформации; зону деформации удобнее характеризовать площадью горизонтальной проекции контактной поверхности заготовки  $F_r$  (мм<sup>2</sup>).

Значения рассмотренных параметров могут быть определены по формулам

$$\alpha = \frac{180}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}, \text{ град}; \quad (3.9)$$

$$l = \sqrt{\Delta h \cdot R}, \text{ мм}; \quad (3.10)$$

$$F_r = \frac{B_0 + B_1}{2} \cdot l, \text{ мм}. \quad (3.11)$$

### Порядок выполнения работы

1. В работе используются прямоугольные литые свинцовые образцы и алюминиевые полосы.

2. Предварительно проводят измерение исходных размеров образцов ( $H_0 B_0 L_0$ ).

3. Прокатывают образцы с различным абсолютным обжатием, измеряя после каждого пропуска размеры полос.

4. По формулам (3.2), (3.4), (3.5), (3.7)–(3.11) рассчитывают показатели деформации и геометрические параметры зоны деформации.

5. Результаты измерений и вычислений вносят в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Номер пропуска	$H_0$ , мм	$H_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$B_0$ , мм	$B_1$ , мм	$\Delta b$ , мм	$\Sigma$ , %	$B$ , %	$\lambda$	$\mu$	$\beta$	$\alpha$	$L_1$ , мм	$F_2$ , мм <sup>2</sup>
1														
2														
3														

### **Содержание отчета:**

- 1) привести схему продольной прокатки с обозначением геометрических параметров зоны деформации;
- 2) привести результаты экспериментального и расчетного определений показателей деформации и геометрических параметров зоны деформации.

### **Контрольные вопросы**

1. Что называется прокаткой?
2. Разновидности процесса прокатки, их характеристика.
3. Сортамент прокатной продукции и его характеристика.
4. Показатели деформации при прокатке, их характеристика.
5. Основные геометрические параметры зоны деформации при продольной прокатке, их характеристика.

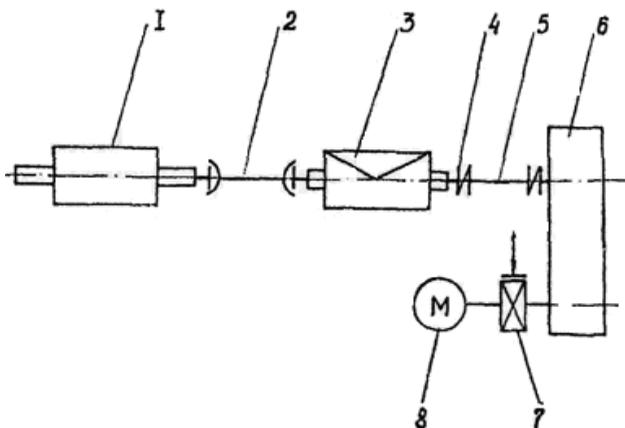
## **Лабораторная работа №4**

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ**

**Цель работы:** ознакомиться с методикой определения коэффициента внешнего трения при захвате полосы валками и при установившемся процессе прокатки.

### **Лабораторное оборудование**

Лабораторный стан (рис. 4.1) является одноклетьевым реверсивным станом для прокатки узких полос.



**Рис. 4.1. Схема лабораторного прокатного стана:**

- 1 – рабочая клеть; 2 – универсальные соединительные шпиндели;  
 3 – шестеренная клеть; 4 – коренная муфта; 5 – промежуточный вал;  
 6 – редуктор; 7 – двигательная муфта; 8 – главный электродвигатель**

Рабочая клеть стана представляет собой клеть ДУО со станинами открытого типа. Прокатные валки стальные с диаметром и длиной бочки 120 и 150 мм соответственно.

Перемещение верхнего валка осуществляется с помощью нажимных винтов и электромеханического привода.

Привод вращения прокатных валков содержит главный электродвигатель постоянного тока, горизонтальный цилиндрический редуктор с передаточным числом 50, шестеренную клеть и универсальные шпиндели с шарнирами Гука.

### **Основные теоретические сведения**

Внешнее трение играет важную роль в процессе прокатки, для осуществления которого должен произойти захват полосы вращающимися валками, возможный только при выполнении определенного условия (рис. 4.2).

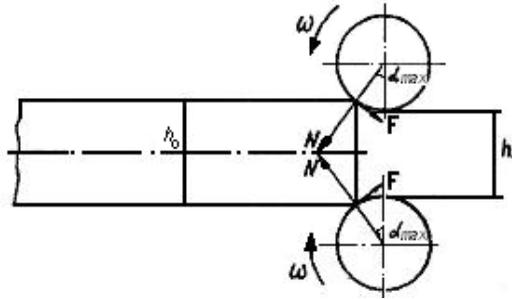


Рис. 4.2. Схема силового взаимодействия полосы и валков при захвате

Из условия равновесия полосы под действием приложенных к ней сил следует, что сумма горизонтальных проекций сил должна равняться нулю:

$$2F \cos \alpha - 2N \sin \alpha = 0,$$

где  $F$  – сила трения;  $N$  – сила нормального давления;  $\alpha$  – угол захвата.

Приведенное равенство можно представить в виде:

$$F = N \operatorname{tg} \alpha.$$

Сила трения является движущей силой при прокатке, поэтому захват произойдет только в том случае, если  $F \geq N \operatorname{tg} \alpha$ .

Известно, что сила трения  $F$  и сила нормального давления  $N$  связаны зависимостью

$$F = f_3 \cdot N,$$

где  $f$  – коэффициент внешнего трения при захвате.

Тогда условие захвата полосы валками можно представить в следующем виде:

$$f_3 \geq \operatorname{tg} \alpha.$$

При максимально возможном угле захвата имеет место следующее равенство:

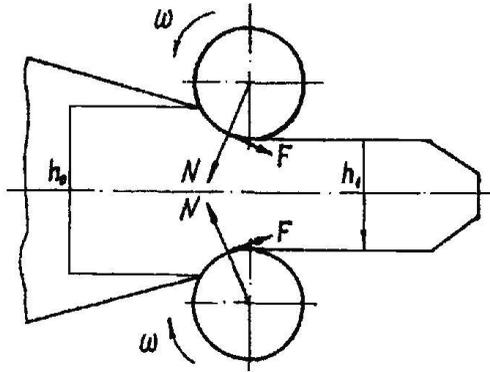
$$f_3 = \operatorname{tg}_{\max}.$$

Максимально возможный угол захвата можно определить по формуле:

$$\alpha = \frac{180}{\pi} \sqrt{\frac{h_0 - h_1}{R}},$$

где  $h_0$ ,  $h_1$  – высота полосы до и после прокатки соответственно;  $R$  – радиус прокатного вала.

При установившемся процессе прокатки (рис. 4.3) для определения условия равновесия полосы принимается допущение, что равнодействующая сил трения и нормального давления приложена посередине дуги контакта.



**Рис. 4.3. Схема силового взаимодействия полосы и валков**

Полоса будет находиться под действием приложенных к ней сил в равновесии при возникновении буксования валков, которое начинается после достижения максимально возможного абсолютного обжатия.

При этом имеет место следующее равенство:

$$f_y = \operatorname{tg} \frac{\alpha'_{\max}}{2},$$

где  $f_y$  – коэффициент внешнего трения при установившемся процессе прокатки;  $\alpha'_{\max}$  – максимально возможный угол захвата при установившемся процессе прокатки. Для этого случая используются образцы клиновидной формы (рис. 4.4).

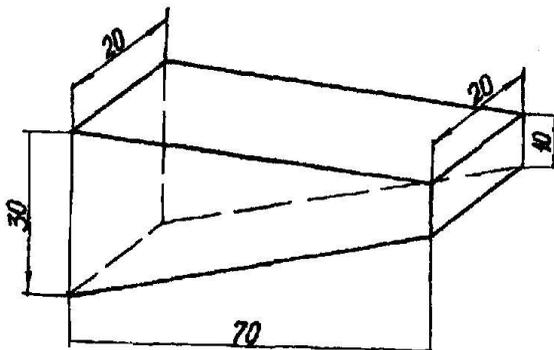


Рис. 4.4. Размеры клиновидного образца до прокатки

При прокатке тонких полос при отношении  $l/h_{cp} > 3$ , где  $l$  – длина дуги контакта полосы с валком;  $h_{cp}$  – средняя толщина полосы в очаге деформации ( $h_{cp} = \frac{H_0 + h_1}{2}$ ), коэффициент внешнего трения достаточно точно можно определить по опытным величинам опережения ( $S$ ).

При прокатке скорость входа полосы в валки меньше горизонтальной проекции окружной скорости валков, а скорость выхода – больше. Это явление называется *отставанием* и *опережением*.

Отставание и опережение принято определять как относительную величину.

Опережение представляет большой практический интерес, т.к. позволяет рассчитать угловую скорость валков отдельных рабочих клеток непрерывных прокатных станов.

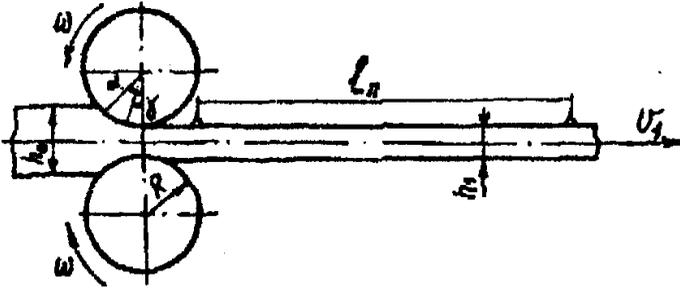
Опережение можно определить по формуле:

$$S = \frac{V_n - V_0}{V_0} \cdot 100\%,$$

где  $V_n$  – скорость полосы на выходе из валков;  $V_0$  – окружная скорость валков.

Практически опережение определяют (рис. 4.4) после измерения расстояний между отпечатками кернов на полосе  $l_n$  от кернов на поверхности валков  $l_e$  по формуле:

$$S = \frac{l_n - l_0}{l_0} \cdot 100\%.$$



**Рис. 4.5. Схема прокатки образца для определения опережения kernовым методом**

Теоретически для тонкой полосы опережение можно определить по формуле Дрездена:

$$S = \frac{R}{h_1} \cdot \gamma^2 \cdot 100\% ,$$

где  $h_1$  – толщина полосы после прокатки;  $\gamma$  – критический (нейтральный) угол.

По опытному опережению из формулы Дрездена определим нейтральный угол  $\gamma$  и коэффициент трения  $f$  :

$$\gamma = \sqrt{\frac{S \cdot h_1}{R}} ; \quad f = 0,5\alpha / (1 - 2\gamma / \alpha),$$

где  $\alpha$  – угол захвата;  $h_1$  – толщина полосы после прокатки;  $R$  – радиус прокатных валков.

Результаты экспериментального и расчетного определения величин заносятся в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Характер процесса прокатки	Измеряемые и расчетные величины						
	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\alpha$ , рад	$S$ , %	$\gamma$ , рад	$f$	
						опыт	расчет по формуле А.П. Грудева
Захват полосы							
Установившийся процесс							

## Порядок выполнения работы

1. Передний конец образца размером 20×20×70 мм обработать до правильной прямоугольной формы.

2. Установить раствор (≈5 мм) между валками, при котором естественный захват образца невозможен.

3. При помощи деревянного бруска слегка прижать образец передней гранью к вращающимся валкам и одновременно с помощью нажимного механизма увеличивать раствор между валками до тех пор, пока не произойдет захват и прокатка образца.

4. Измерить высоту образца после прокатки  $h_1$  и определить коэффициент внешнего трения и максимальный угол захвата.

5. Установить раствор (10–12 мм) между валками и задать клиновой образец тонкой стороной в валки.

6. В момент начала буксования отключить привод вращения валков, нажимным механизмом увеличить раствор между валками и извлечь образец.

7. Измерить начальную  $h_0$  и конечную  $h_1$  высоту по оттиску на образце. Вычислить максимальный угол захвата и коэффициент внешнего трения при установившемся процессе прокатки.

8. Образцы размером  $h_0 \cdot \epsilon_0 \cdot L_0 = 5 \div 8 \cdot 20 \div 25 \cdot 400 \div 50$  мм прокатать с обжатием: для первого –  $\Delta h = 0,5$  мм, для второго –  $\Delta h = 1,0$  мм, для третьего –  $\Delta h = 1,5$  мм. При прокатке желательно удерживать полосу от смещений вдоль бочки валка.

9. На каждом образце измерить расстояние между отпечатками зерна  $l_n$  и толщину после прокатки  $h_1$ . Вычислить опережение  $S$ , нейтральный угол  $\gamma$  и коэффициент внешнего трения  $f$ .

10. Определить коэффициент трения для установившегося процесса прокатки по формуле А.П. Грудева:

$$f_y = K_M \left[ 0,07 - \frac{0,1v_g^2}{2(1 + v_d) + 3v_g^2} \right],$$

где  $v_g$  – окружная скорость валков;  $K_M$  – коэффициент, учитывающий влияние смазки,  $K_M=1,5$  для сухих валков.

#### **Содержание отчета:**

- 1) привести схему прокатного стана (рис. 4.1);
- 2) привести схемы процесса прокатки (рис. 4.3–4.5);
- 3) привести результаты экспериментального и расчетного величин коэффициентов трения, используя табл. 4.1.

#### **Контрольные вопросы**

1. Устройство прокатного стана.
2. Методы определения коэффициентов трения.
3. Что такое опережение и отставание?
4. Зависимость опережения от диаметра валков коэффициента трения, толщины полосы и натяжения.
5. Закон трения.

#### **Лабораторная работа №5**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА УШИРЕНИЕ ПРИ ПРОКАТКЕ**

**Цель работы:** изучить методику экспериментального и теоретического определения уширения при прокатке и сопоставить результаты расчета и измерений уширения; проанализировать влияние различных факторов на уширение.

#### **Лабораторное оборудование**

Прокатка образцов производится на лабораторном стане, техническая характеристика и описание которого приведены в лабораторной работе №2.

#### **Основные теоретические сведения**

В настоящее время наиболее точной формулой для определения уширения следует считать формулу А.И. Целикова:

$$\Delta\varepsilon = 0,5C_\varepsilon \cdot C_Q(\sqrt{\Delta h \cdot R} - 0,5 \frac{\Delta h}{\mu_y}) \ln \frac{h_0}{h_1},$$

где  $C_\varepsilon$  – коэффициент, учитывающий влияние ширины и определяемый по графику (рис. 5.1);  $C_Q$  – коэффициент, учитывающий влияние заднего натяжения;  $\mu_y$  – коэффициент внешнего трения при установившемся процессе прокатки.

Также известна простая формула Э. Зибеля для определения уширения:

$$\Delta\varepsilon = (0,3 \div 0,4) \frac{\Delta h}{h_0} \sqrt{\Delta h \cdot R}.$$

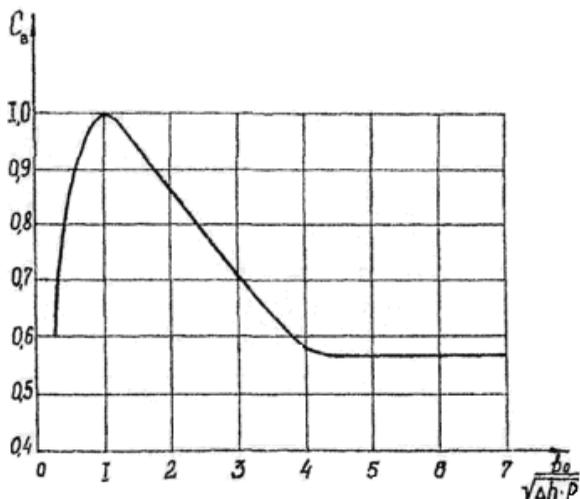


Рис. 5.1. График для определения коэффициента по формуле А.И. Целикова

### Порядок выполнения работы

1. Работа выполняется на двух свинцовых образцах размерами  $h_0 \cdot e_0 \cdot L_0 = 20 \cdot 29 \cdot 60$  мм.

2. Прокатать образцы с обжатием: для первого – 1,5; 2,0; 2,5 мм; для второго – 6,0 мм.

3. На каждом образце измерить толщину, ширину и длину до и после каждого пропуска.

4. По полученным данным определить обжатия, уширение и вытяжку. Уширение определить также по приведенным формулам А.И. Целикова и Э. Зибеля.

5. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 5.1.

Таблица 5.1

№ образца	Число проходов	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$\epsilon_0$ , мм	$\epsilon_1$ , мм	Уширение			$L_0$ , мм	$L_2$ , мм	$\lambda$
							опыт	по Целикову	по Зибелю			
1 2	1											
	2											
	3											
	$\Sigma$											

6. По полученным данным построить график зависимости  $\Delta \epsilon = f(\Delta h)$  для первого образца. Сопоставить суммарное уширение для первого образца с уширением для второго и сделать вывод о влиянии дробности деформации на уширение.

7. Сопоставить опытные и расчетные значения уширения и сделать вывод о величине погрешности при расчете уширения по формулам А.И. Целикова и Э. Зибеля.

### **Содержание отчета:**

- 1) привести результаты измерений и вычислений, используя табл. 5.1;
- 2) выполнить анализ результатов.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое уширение?
2. Типы уширения при прокатке.
3. Как влияют на уширение обжатие ( $\Delta h$ ), дробность деформации (число проходов), ширина полосы и длина очага деформации?

## Лабораторная работа №6

# ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЕФОРМАЦИИ, СКОРОСТИ ИСТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА И УСИЛИЯ ПРЕССОВАНИЯ

**Цель работы:** изучить методику экспериментального и теоретического определения коэффициентов деформации, усилий и скорости истечения металла при прессовании.

## Лабораторное оборудование

Лабораторный гидравлический пресс (рис. 6.1) предназначен для производства работ, связанных с правкой, осадкой, прессованием и другими операциями.

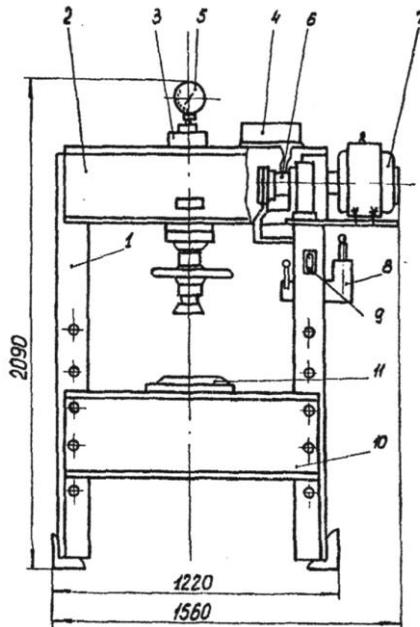


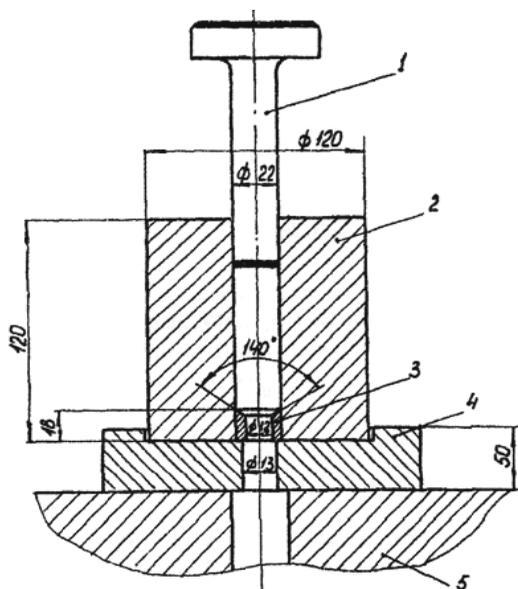
Рис. 6.1. Схема лабораторного гидравлического пресса:  
1 – стойки станины; 2 – верхняя поперечина; 3 – гидроцилиндр;  
4 – резервуар для рабочей жидкости; 5 – манометр; 6 – насос;  
7 – электродвигатель; 8 – распределитель; 9 – пусковая кнопка;  
10 – нижняя поперечина станины; 11 – опорная плита

Пресс может работать как от ручного насоса, так и от электромеханического привода.

### **Техническая характеристика пресса**

Максимальное усилие, кН.....	400
Рабочая жидкость в гидросистеме.....	масло минеральное
Максимальный ход штока, мм.....	250
Максимальное давление в гидросистеме, МПа.....	28
Рабочая скорость штока, м/с.....	0,005
Площадь поршня при рабочем ходе, м <sup>2</sup> .....	0,0143
Размеры опорной плиты, мм.....	400×450
Масса оборудования, кг.....	530

Схема приспособления для прессования представлена на рис. 6.2, в состав которого, кроме пресс-штемпеля для прессования прутков, входит также пресс-штемпель, оснащенный иглой для прессования труб.



**Рис. 6.2. Прессовый инструмент:**  
1 – пуансон; 2 – контейнер; 3 – матрица; 4 – нижняя опорная плита;  
5 – предметный столик гидравлического пресса

### **Основные теоретические сведения**

Прессование представляет собой процесс обработки металлов давлением, при котором металл, помещенный в контейнер, выдавливается через отверстие матрицы.

Изменение формы отверстия матрицы позволяет изготавливать самые разные прессованные профили (рис. 6.3), которые зачастую не могут быть получены другими методами.

Исходным материалом для прессования являются литые или прокатанные заготовки, преимущественно цветных металлов и сплавов.

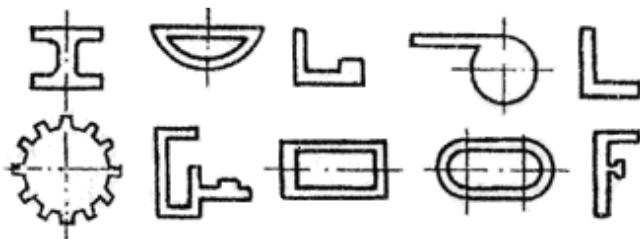


Рис. 6.3. Виды профилей, получаемых прессованием

Кроме высокой производительности и экономичности, процесс прессования имеет еще одно несомненное преимущество: схема напряженного состояния – трехосное сжатие, что позволяет обрабатывать малопластичные или даже хрупкие сплавы.

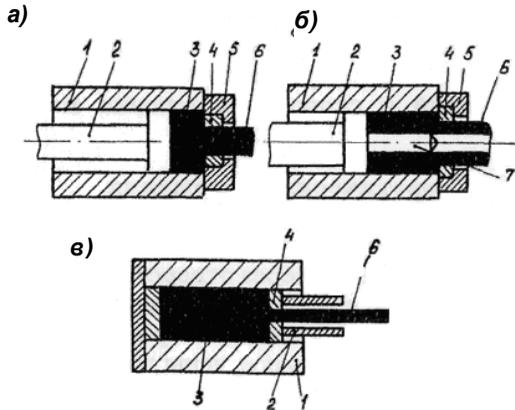
Прессование обычно осуществляется на вертикальных или горизонтальных гидравлических прессах и подразделяется на следующие виды:

- *прямое прессование* сплошных (рис. 6.4, а) и полых (рис. 6.4, б) изделий, при котором направление движения пресс-изделия совпадает с направлением движения пуансона;
- *обратное прессование* (рис. 6.4, в), отличающееся встречным направлением движения пресс-изделия и пуансона.

Уменьшение трения при обратном прессовании, благодаря отсутствию движения выдавливаемого металла относительно стенок контейнера, приводит к снижению требуемого усилия прессования на 25–30%, а величина пресс-остатка составляет 5–6% вместо 18–20% при прямом прессовании, однако сложность конструкции пресса ограничивает применение этого метода.

Определение коэффициентов деформации при прессовании, как и при других видах обработки металлов давлени-

ем, производится на основании предположения о постоянстве объема, согласно которому объем металла до деформации принимается равным его объему после деформации.



**Рис. 6.4. Схемы основных способов прессования:**  
**а** – прямое; **б** – прямое прессование труб; **в** – обратное;  
**1** – контейнер; **2** – пуансон и пресс-шайба; **3** – заготовка;  
**4** – матрица; **5** – матрицедержатель; **6** – пресс-изделие; **7** – игла

Относительная степень деформации при прессовании определяется как отношение разности площади поперечного сечения внутренней полости контейнера  $F_k$  и площади поперечного сечения всех отверстий матрицы  $\Sigma F_M$  к площади поперечного сечения внутренней полости контейнера  $F_k$ :

$$E = \frac{F_k - \Sigma F_M}{F_k} \cdot 100\% .$$

Степень деформации при прессовании может достигать 95%.

Коэффициент вытяжки представляет собой отношение площади поперечного сечения внутренней полости контейнера  $F_k$  к площади поперечного сечения всех отверстий матрицы  $\Sigma F_M$ :

$$\lambda_p = \frac{F_k}{\Sigma F_M} .$$

Экспериментально коэффициент вытяжки можно определить как отношение длины пресс-изделия  $L_{изд}$  к разности длины заготовки после «распрессовки» и длины пресс-остатка  $L_3 - L_{ост}$ :

$$\lambda_3 = \frac{L_{изд}}{L_3 - L_{ост}}$$

Благодаря схеме трехосного сжатия коэффициент вытяжки при прессовании обычно составляет 8,0–80,0, а при прессовании пластичных цветных металлов может достигать 450–700 м и даже 2500 (прессование алюминия).

В процессе прессования усилие, необходимое для выдавливания металла, не остается постоянным. Характерная диаграмма изменения полного усилия прессования представлена на рис. 6.5.

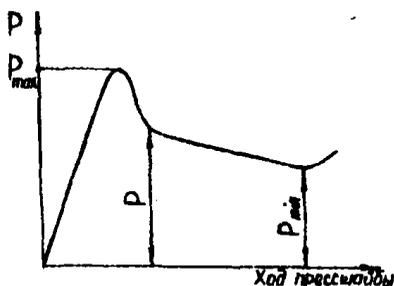


Рис. 6.5. Изменение усилия при прямом прессовании

Как видно на диаграмме, в начальный момент усилие резко возрастает до величины  $P_{max}$  и с началом движения металла резко уменьшается до величины  $P$ , что соответствует моменту выхода металла из отверстия матрицы. Величина  $P_{max}$ , в зависимости от целого ряда факторов, может превышать величину  $P$  на 10–15%.

При расчетах определяют обычно величину  $P$ , а пик усилия  $P_{max}$  оценивают при выборе прессы коэффициентом запаса. Величина  $P$  определяется целым рядом таких факторов, как механические свойства металла, скорость и степень деформации, величина контактного трения, геометрия инструмента. Сравнение опытного и расчетного усилия вы-

полняют при прессовании сплошного свинцового образца  $d \times l = 20 \times 60$  мм. Усилие пресса определяют как

$$P_{on} = q_1 \cdot \eta \cdot F,$$

где  $q_1$  – давление масла в цилиндре пресса;  $\eta$  – к.п.д. гидрочиллиндра пресса;  $F$  – площадь цилиндра.

В качестве расчетной используем формулу Е.П. Унксова:

$$P_p = F_3 \cdot \sigma_T \left( \frac{2L}{D_3} + \frac{1}{2\alpha} \cdot \ln \frac{F_3}{F_{изд}} + \frac{4fl}{d} \right),$$

где  $F_3$  – площадь сечения заготовки (контейнера);  $F_{изд}$  – площадь сечения изделия (очка матрицы);  $\sigma_T$  – предел текучести материала (свинца);  $L$  – длина заготовки в момент начала выхода материала из формирующей части матрицы;  $D_3$  – диаметр заготовки;  $d$  – диаметр цилиндрической части очка матрицы;  $l$  – длина цилиндрической части очка матрицы;  $f$  – коэффициент трения ( $f_{свинца} = 0,2-0,3$ );  $\alpha$  – полуугол при вершине конуса матрицы.

Указанные в формуле геометрические параметры процесса прессования показаны на рис. 6.6.

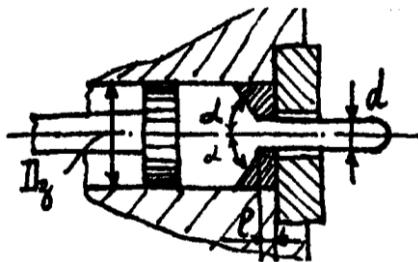


Рис. 6.6. Геометрические параметры процесса прессования

Важным технологическим параметром данного процесса является скорость истечения металла из очка матрицы  $V_u$ .

Экспериментально среднюю скорость истечения можно определить как отношение длины пресс-изделия к продолжительности прессования  $\tau_n$ , которую можно установить хронометрированием:

$$V_u = \frac{L_{изд}}{\tau_n} .$$

### Порядок выполнения работы

В работе используется два свинцовых образца (сплошной и полый) размерами  $d \times l = 20 \times 60$  мм.

1. Выполнить прессование сплошного образца, изменяя диаметр и длину заготовки в момент выхода изделия из очка матрицы, т.е. после ее «распрессовки», а также длину и диаметр изделия.

2. С помощью секундомера измерить продолжительность процесса прессования.

3. Измерить длину полученного пресс-изделия.

4. Снять показания манометра при прессовании сплошной заготовки.

5. Повторить все операции при прессовании трубы.

6. Рассчитать усилие прессования по формуле Е.П. Унксова, определить скорость истечения металла и коэффициенты деформации.

7. Результаты измерений и вычислений внести в табл. 6.1.

8. Определить величину относительного отклонения расчетных и опытных значений коэффициента вытяжки и усилия прессования по формулам:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_p - \lambda_э}{\lambda_p} \cdot 100\% ;$$

$$\Delta P = \frac{P_p - P_э}{P_p} \cdot 100\% .$$

#### **Содержание отчета:**

1) привести упрощенную схему лабораторного пресса и приспособления для прессования;

2) привести результаты измерений и вычислений в виде табл. 6.1;

3) сравнить визуально качество поверхности прутка и трубы.

Таблица 6.1

Вид пресс-изделия	$F_{\kappa}, \text{M}^2$	$F_{\text{м}}, \text{M}^2$	$L_3, \text{M}$	$l_{\text{изд}}, \text{M}$	$L_{\text{ост}}, \text{M}$	$E, \%$	$\lambda_{\text{р}}$	$\lambda_3$	$P_{\text{р}}, \text{H}$	$P_3, \text{H}$	$\tau_n$	$V_{\text{и}}, \text{см/с}$
Пруток												
Трубы												

### Контрольные вопросы

1. Что такое прессование?
2. Какое объемное напряженное состояние соответствует прессованию?
3. Виды прессования.
4. При каком виде прессования усилие прессования минимально?

### Лабораторная работа №7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНА НАИМЕНЬШЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

**Цель работы:** ознакомиться с проявлениями закона наименьшего сопротивления при осадке.

### Лабораторное оборудование

Прессование производится на лабораторном гидравлическом прессе с максимальным усилием 400 кН. Технические характеристики прессы представлены в лабораторной работе №6.

### Основные теоретические сведения

Процесс формоизменения металла всегда протекает так, что полная работа пластической деформации принимает минимальное значение, при этом каждая частица деформируемого тела перемещается в направлении наименьшего сопротивления.

При осадке металла между параллельными плитами при наличии изотропного трения таким направлением перемещения для точек контактной площади тела является

кратчайшее расстояние (нормаль) к свободной боковой поверхности образца. Если контактная площадь не является кругом, то эти расстояния неодинаковы для различных точек тела. Поэтому в направлении меньших размеров тела происходит более интенсивное течение металла, и они при деформации увеличиваются быстрее, чем большие размеры. Благодаря неравномерному течению происходит выравнивание размеров тела и в результате его поперечное сечение стремится принять форму круга, т.е. форму геометрической фигуры, имеющей при данной площади наименьший периметр (правило наименьшего периметра). Различные точки тела испытывают разную степень деформации. Такая деформация называется **неравномерной (неоднородной)**.

В идеальном случае, при осадке без контактного трения, сопротивление на контакте с инструментом отсутствует, поэтому нет более или менее предпочтительных направлений течения. Все точки тела деформируются в одинаковой степени. Такая деформация называется **равномерной (однородной)**. По мере увеличения степени пластической деформации форма сжимаемого образца (в плане) остаётся подобной исходной (первоначально прямые углы заготовки остаются прямыми).

### Порядок выполнения работы

Свинцовые образцы размерами  $h_0 \times b_0 \times l_0 = 20 \times 20 \times 40$  мм осаживают на сухих шероховатых и смазанных полированных бойках в три перехода с обжатием за каждый переход по 4–6 мм. После каждого осаживания измеряют толщину образцов и рассчитывают относительное обжатие:

$$E = (h_0 - h_i / h_0 \cdot 100\%),$$

где  $h_i$  – высота образца  $i$ -го перехода и фиксируют форму образцов (в плане) обводкой их контура на бумаге карандашом.

#### **Содержание отчета:**

1) привести на бумаге контуры обведенных свинцовых образцов до осадки и после каждого осаживания;

2) сделать заключение об изменении формы поперечного сечения образцов в зависимости от наличия осадки и степени относительного обжатия.

### **Контрольные вопросы**

1. Какое влияние оказывает величина силы контактного трения на форму прямоугольного образца при осадке?
2. Каковы основные правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ?

### ***Лабораторная работа №8***

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИЙ ПРИ ОСАДКЕ**

**Цель работы:** изучить зависимость усилия осадки от величины обжатия.

#### **Лабораторное оборудование**

Лабораторный гидравлический пресс с максимальным усилием верхнего бойка 400 кН, предназначен для производства работ, связанных с правкой, осадкой, пресованием.

#### **Основные теоретические сведения**

Нормальные напряжения  $P$ , возникающие на контакте между деформируемым металлом и инструментом, называются *контактными давлениями*. В общем случае при осадке давления распределены по контакту неравномерно. Если в одном из бойков сделана узкая прорезь, то металл затекает в нее неравномерно – тем интенсивнее, чем больше контактное давление в данной точке. По характеру затекания металла в прорезь можно судить о распределении давлений по контакту.

Для определения усилия осадки  $P$  необходимо найти давление по всей контактной площади  $F$  :

$$P = \iint_F p dF.$$

Если известно среднее значение контактных давлений (среднее контактное давление)  $P_{cp}$ , то усилие осадки определяют по формуле:

$$P = P_{cp} \cdot F.$$

Среднее контактное давление  $P_{cp}$  при осадке цилиндра может быть рассчитано по формуле Зибеля:

$$P_{cp} = \sigma_T \left(1 + \frac{fd}{3h}\right), \quad (8.1)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести (сопротивление деформации) деформируемого металла, зависящий от температуры, степени и скорости деформации;  $f$  – коэффициент контактного трения;  $d$  и  $h$  – диаметр контактной площади и высота образца в данный момент деформации.

Предел текучести  $\sigma_T$  приближенно определяют из опыта при осадке цилиндрического образца в полированных бойках с использованием высокоэффективной технологической смазки, обеспечивающей низкие значения (порядка 0,03–0,05) коэффициента трения. Отношение диаметра к высоте образца  $d/h$  должно находиться в пределах, близких к 1–2. Для этих условий из формулы (8.1) имеем:

$$P_{cp} = (1,01 - 1,03) \sigma_T, \text{ т.е. } P_{cp} \approx \sigma_T.$$

### Порядок выполнения работы

1. *Определение предела текучести свинца.* Производят осадку образца диаметром  $d_0 = 30$  мм и высотой  $h_0 = 30-40$  мм на полированных бойках со смазкой с относительными обжатиями 20, 40 и 60%. В момент окончания осадки фиксируют нагрузку пресса  $P$ , измеряют размеры образцов после осадки и рассчитывают предел текучести:

$$\sigma_T = \frac{P}{F} = \frac{4P}{\pi d_1^2},$$

где  $d_1$  – диаметр образца после осадки.

Находят степень деформации образца после каждого сжатия, %:

$$E = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100,$$

где  $h_0$  и  $h_1$  – высота образца соответственно до и после осадки.

Опытные и расчетные данные осадки образцов со смазкой заносят в табл. 8.1.

Строят графики зависимости предела текучести  $\sigma_T$  от степени деформации  $E$ .

Таблица 8.1

№ опыта	Размеры образцов, мм				E, %	F, мм <sup>2</sup>	P, кН	$\sigma_T$ , МПа
	до осадки		после осадки					
	$d_0$	$h_0$	$d_1$	$h_1$				
1								
2								
3								

2. *Исследование среднего контактного давления при осадке.* На сухих шероховатых бойках осаживают свинцовый образец диаметром 30 мм и высотой 30 мм в три стадии до конечной высоты 20, 15 и 10 мм. В момент окончания каждого сжатия фиксируют усилие осадки  $P$  и измеряют диаметр и высоту образцов. Рассчитывают фактическое значение среднего контактного давления:

$$P_{cp} = \frac{P}{F}.$$

Теоретические значения среднего контактного давления рассчитывают по формуле (8.1), приняв значения коэффициента трения  $f = 0,25 - 0,35$ . Величину  $\sigma_T$  определяют по найденной в предыдущем исследовании зависимости между  $\sigma_T$  и  $E$ .

Находят расхождения между фактическими (экспериментальными) значениями  $P_{cp}$  и значениями, рассчитанными по теоретической формуле (8.1). Опытные и рас-

четные данные осадки образцов на сухих бойках заносят в табл. 8.2.

Строят график зависимости фактического и расчетного (теоретического) значений среднего контактного давления от величины отношения  $d/h$ .

Делают выводы о влиянии сил трения и отношения  $d/h$  на среднее контактное давление при осадке.

Таблица 8.2

№ опыта	Размеры образцов, мм				$E, \%$	$\frac{d}{h}$	$F, \text{мм}^2$	$P_{cp}, \text{Мпа}$	
	до осадки		после осадки					значение, полученное опытным путём	расчётное значение
	$d_0$	$h_0$	$d_1$	$h_1$					
1									
2									
3									

### Содержание отчета:

- 1) привести упрощенную схему лабораторного пресса;
- 2) привести результаты измерений и вычислений в виде табл. 8.1 и 8.2;
- 3) построить график зависимости предела текучести  $\sigma_T$  от степени деформации и дать пояснение к нему;
- 4) построить график зависимости фактического и теоретического значений среднего контактного давления от отношения  $d/h$ .

### Контрольные вопросы

1. Как определяют предел текучести металла при осадке?
2. Каков характер зависимости среднего контактного давления при осадке от параметров процесса деформации?

## Лабораторная работа №9

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

**Цель работы:** изучение методики определения параметров процесса волочения и показателей деформации.

#### Лабораторное оборудование

Основные технические характеристики лабораторного волочильного стана:

Тип волочильного стана.....	цепной
Максимальное усилие волочения, Н.....	8000
Максимальный ход тележки, мм.....	600
Максимальная скорость тележки, м/с.....	0,05

#### Основные теоретические сведения

**Волочением** называется технологический процесс обработки металлов давлением, заключающийся в протягивании заготовки через отверстие рабочего инструмента (волоки или фильеры), размеры которого меньше размеров сечения исходной заготовки (рис. 9.1). При этом достигается как уменьшение поперечного сечения заготовки, так и его изменение в соответствии с конфигурацией отверстия; получаемые изделия приобретают точные размеры и высокую чистоту поверхности. Волочение, как правило, осуществляют в холодном состоянии, что способствует упрочнению металла.

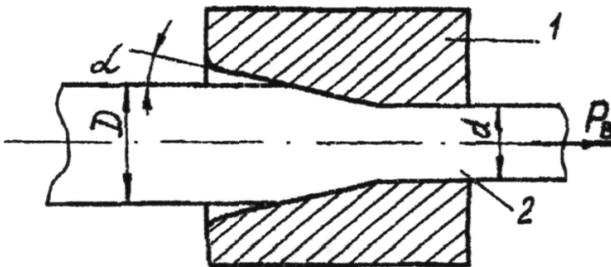


Рис. 9.1. Схема процесса волочения:  
1 – волока; 2 – протягиваемый металл

Исходным материалом для волочения служат горячекатаные или отпрессованные заготовки из сталей различ-

ного состава, прецизионных сплавов, а также практически всех цветных металлов и их сплавов. Волочением получают проволоку с минимальным диаметром 0,005 мм, прутки диаметром до 150 мм, сплошные профили сложной конфигурации, тонкостенные трубы различных диаметров (от капиллярных до 500 мм).

Процесс пластической деформации при волочении характеризуется рядом параметров, из которых основными являются показатели деформации и усилия волочения.

Относительное обжатие  $E$  представляет собой отношение разности площадей поперечного сечения заготовки до и после волочения к площади начального сечения:

$$E = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\% . \quad (9.1)$$

Относительное удлинение выражается отношением разности длин заготовки до и после волочения к начальной длине и определяется по формуле

$$\mu = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \cdot 100\% . \quad (9.2)$$

Коэффициент вытяжки представляет собой отношение длины прутка после волочения к начальной длине; при волочении длинных изделий удобнее пользоваться отношением площадей поперечного сечения до и после волочения:

$$\lambda = \frac{L_1}{L_0} = \frac{F_0}{F_1} . \quad (9.3)$$

При волочении имеет место схема объемно-напряженного состояния с одним главным растягивающим напряжением, вызываемым усилием волочильного стана, и двумя сжимающими напряжениями, создаваемыми противодействием стенок волокна. Это снижает пластичность металла, ограниченную условиями холодной обработки; поэтому допустимая степень деформации за одну протяжку не превышает 25–35%, а коэффициент вытяжки ограничивается даже для пластичных металлов значениями 1,25–1,45.

Величина усилия волочения, необходимого для деформирования металла в очаге деформации, не должна вызывать пластической деформации металла после его

выхода из волокни (т.е.  $\sigma_1 < \sigma_T$ , где  $\sigma_1$  – напряжение в сечении выходящего профиля) – это вызвало бы искажение сечения получаемого изделия или обрыв протягиваемого прутка. Отсюда следует, что правильное определение значения усилия волочения как функции многочисленных параметров становится важным фактором при обеспечении рационального технологического процесса волочения.

Растягивающее рабочее напряжение волочения (без противонапряжения) будет равно:

$$\sigma_1 = \sigma_T [(1 + \alpha) / \alpha] \cdot (1 - 1 / \lambda^\alpha), \quad (9.4)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести материала, МПа;  $\alpha$  – угол формообразующего конуса, т.к. при волочении  $\alpha = 3 \div 10^\circ$ , то принимаем  $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha \approx \alpha$ .

Усилие волочения (без противонапряжения) определяется по формуле

$$P_g = \sigma_1 \cdot F_1. \quad (9.5)$$

Мощность, необходимая для проведения процесса волочения, определяется по формуле

$$N_g = P_g \cdot V_g, \quad (9.6)$$

где  $V_g$  – скорость волочения, м/с.

В зависимости от характера движения тянущего устройства волочильные станы могут быть:

1) с прямолинейным движением протягиваемого материала, которые различают по принципу работы:

- на цепные;
- реечные;
- гидравлические;
- с возвратно-поступательными движущимися каретками;
- гусеничной тягой;

2) с наматыванием протягиваемого материала на барабаны, которые подразделяются на следующие конструкции:

- стан без скольжения проволоки на промежуточных барабанах;
- со скольжением проволоки на промежуточных барабанах.

В зависимости от числа волок и барабанов волочильные станы могут быть однократного и многократного волочения.

В зависимости от диаметра обрабатываемого материала волочильные станы разделяют на станы волочения:

- толстой проволоки диаметром более 6 мм при диаметре чистового барабана 600–700 мм;
- утолщенной проволоки диаметром 3–6 мм при диаметре чистового барабана 500–600 мм;
- средней проволоки диаметром 1,8–3,0 мм при диаметре чистового барабана 400–500 мм;
- тонкой проволоки диаметром 0,8–1,8 мм при диаметре чистового барабана 300–350 мм;
- тончайшей проволоки диаметром 0,5–0,8 мм при диаметре чистового барабана 200–250 мм;
- наитончайшей проволоки диаметром менее 0,5 мм при диаметре чистового барабана 150–200 мм.

Станы с прямолинейным характером движения обрабатываемого материала применяют для волочения прутков, труб, профилей, не сматываемых в бунты. Волочильные станы с наматыванием в бунты применяют для волочения проволоки и труб небольшого диаметра. В современных волочильных цехах, как правило, волочильные станы группируют в непрерывные агрегатные линии, состоящие из основного и вспомогательного оборудования. К *основному оборудованию* относятся машины и установки для осуществления процесса волочения. К *вспомогательному оборудованию* относятся устройства для разматывания, наматывания, острения, смазки, сварки, обрезки проволоки и упаковки бунтов и т.п.

В цепных станах (рис. 9.2), применяемых для волочения прутков, профилей и труб длиной 8–10 м, усилие волочения создается бесконечной цепью, за звенья которой зацепляется крюк волочильной каретки. Каретка имеет самозахватывающие клещи, с помощью которых заготовка протягивается через волоку, закрепленную на кронштейне станины. Двигаясь вместе с цепью, каретка увлекает за собой захваченный клещами пруток. Возврат каретки по-

сле протягивания прутка производится самопроизвольно за счет наклона направляющих станины.

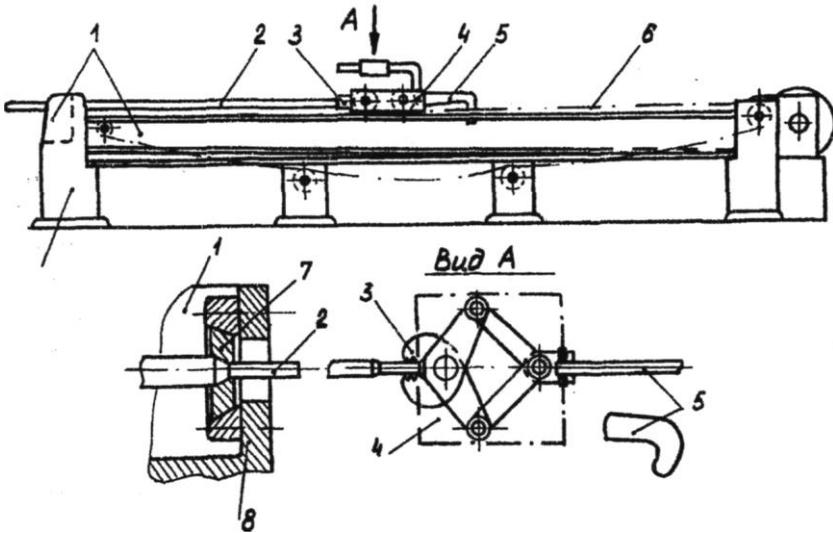


Рис. 9.2. Схема цепного волочильного стана:

- 1 – станина; 2 – протягиваемый пруток; 3 – самозахватывающие клещи;  
4 – волочильная каретка; 5 – крюк; 6 – бесконечная шарнирная цепь;  
7 – волока; 8 – кронштейн-станина

Шарнирная цепь получает движение от электродвигателя с редуктором через ведущую звездочку. Цепные волочильные станы развивают усилие тяги 0,01–150 МН, что позволяет протягивать прутки с начальным диаметром до 200 мм. Скорость волочения может достигать 50 м/мин. В станах новых конструкций число одновременно протягиваемых прутков может достигать 8–10.

В барабанных станах усилие волочения создается вращающимся тянущим барабаном, на котором с помощью клещевого захвата закрепляется конец протягиваемой проволоки. Эти станы обычно применяются для волочения проволоки диаметром до 6 мм и прутков, наматываемых в бухту на тянущий (ведущий) барабан. Станы барабанного типа могут иметь один барабан (станы однократного волочения) или несколько последовательно расположенных барабанов и волок (станы многократного волочения). Количество барабанов

определяется числом протяжек, необходимых для получения заданного сечения, и может быть от 3 до 30.

Скорость волочения в станах барабанного типа – 2000 м/мин. и более.

Инструментом для волочения являются волокни (фильеры), волочильные доски, кольца и оправки, изготавливаемые из инструментальных углеродистых сталей, спеченных твердых сплавов. При волочении тончайшей проволоки применяют волокни из технических алмазов, стойкость которых в десятки раз превышает стойкость твердосплавных волокон.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством и правилами эксплуатации лабораторного волочильного стана.

2. Измерить исходные размеры (диаметр и длину) протягиваемого прутка.

3. Заострить конец заготовки, заправить его в волоку, закрепить в захвате и, включив стан, провести протяжку прутка.

4. Измерить полученные после волочения размеры изделия (диаметр и длину).

5. Произвести необходимые вычисления по формулам (9.1)–(9.6).

6. Полученные результаты внести в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Материал заготовки	Показатели измерений и расчетов								
	$D_0$ , мм	$L$ , мм	$F_0$ , мм <sup>2</sup>	$d_1$ , мм	$L_1$ , мм	$F_1$ , мм <sup>2</sup>	$E$ , %	$\lambda$ , %	$\mu$

#### Содержание отчета:

1) привести характеристику и схему процесса волочения;

2) привести результаты практической части работы, представив их в виде табл. 9.1.

## Контрольные вопросы

1. Дать определение процесса волочения. Его преимущества и недостатки.
2. Исходный материал и сортамент изделий, получаемых волочением.
3. Какие показатели деформации характеризуют процесс волочения?
4. Оборудование, применяемое при волочении, его характеристика.
5. Основной рабочий инструмент, применяемый при волочении, его характеристика.
6. Растягивающее рабочее напряжение, усилие и мощность волочения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берман, С.И. Прокатка листов и лент из тяжелых цветных металлов / С.И. Берман. – Москва: Металлургия, 1977. – 264 с. – Текст: непосредственный.
2. Еланский, Г.Н. Основы производства и обработки металлов: учебник / Г.Н. Еланский, Б.В. Линчевский, А.А. Кальменев. – Москва: МГВМИ, 2005. – 416 с. – Текст: непосредственный.
3. Казаков, Н.Ф. Технология металлов / Н.Ф. Казаков, А.М. Осокин, А.П. Шишкова. – Москва: Металлургия, 1975. – 688 с. – Текст: непосредственный.
4. Корнилович, С.А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие / С.А. Корнилович. – Омск: Омский ГАУ, 2017. – 100 с. // Лань: электронно-библиотечная система: [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/176604>. – Текст: электронный.
5. Королев, А.А. Механическое оборудование заводов цветной металлургии. Ч. 3. Механическое оборудование цехов по обработке цветных металлов: учебник / А.А. Королев, А.Г. Навроцкий. – Москва: Металлургия, 1989. – 624 с. – Текст: непосредственный.
6. Кузнецов, В.Г. Технология конструкционных материалов. Ч. 1: учебно-метод. пособие / В.Г. Кузнецов, Р.К. Кузнецов, Ф.А. Гарифуллин. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017. – 404 с. // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/79569.html>. – Текст: электронный.
7. Лукашкин, Н.Д. Конструкция и расчет машин и агрегатов металлургических заводов: учебник / Н.Д. Лукашкин, Л.С. Кохан, А.М. Якушев. – Москва: Академкнига, 2003. – 456 с. – Текст: непосредственный.
8. Машины и агрегаты металлургических заводов: учебник. В 3-х т. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Металлургия, 1988. – 679 с. – Текст: непосредственный.

9. Богоявленский, К.Н. Обработка цветных металлов и сплавов давлением / К.Н. Богоявленский, В.В. Жолобов, А.Д. Ланхидов [и др.]. – Москва: Металлургия, 1973. – 471 с. – Текст: непосредственный.

10. Основы металлургического производства: учебник / В.К. Бабич, Н.Д. Лукашкин, А.С. Морозов [и др.]. – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва: Металлургия, 2000. – 240 с.

11. Спицын, И.А. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Раздел «Горячая обработка металлов»: учеб. пособие / И. А. Спицын. – Пенза: ПГАУ, 2020. – 105 с. // Лань: электронно-библиотечная система: [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/170959>. – Текст: электронный.

12. Суворов, И.И. Обработка металлов давлением / И.И. Суворов. – Москва: Высшая школа, 1980. – 368 с. – Текст: непосредственный.

13. Технология конструкционных материалов: учебник / А.М. Дольский, И.А. Арутюнова [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1977. – Текст: непосредственный.

14. Технология конструкционных материалов. Физико-механические основы обработки металлов резанием и металлорежущие станки: учеб. пособие / В.Е. Гордиенко, А.А. Абросимова, В.И. Новиков [и др.]. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. – 84 с. // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/74354.html>. – Текст: электронный.

15. Шопина, Е.В. Материаловедение и технология конструкционных материалов теплотехнологического оборудования: учеб. пособие / Е.В. Шопина, А.А. Стативко. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. – 110 с. // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/92263.html>. – Текст: электронный.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	3
<b>Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ</b> .....	4
<b>Лабораторная работа №1.</b> Определение температурного режима нагрева металла перед горячей обработкой давлением.....	5
<b>Лабораторная работа №2.</b> Паспортизация прокатного стана.....	15
<b>Лабораторная работа №3.</b> Определение коэффициентов деформации и геометрических параметров при прокатке.....	22
<b>Лабораторная работа №4.</b> Экспериментальные методы определения коэффициентов внешнего трения при прокатке.....	29
<b>Лабораторная работа №5.</b> Исследование влияния отдельных факторов на уширение при прокатке.....	36
<b>Лабораторная работа №6.</b> Исследование коэффициентов деформации, скорости истечения металла и усилия прессования.....	39
<b>Лабораторная работа №7.</b> Исследование закона наименьшего сопротивления .....	46
<b>Лабораторная работа №8.</b> Исследование усилий при осадке.....	48
<b>Лабораторная работа №9.</b> Исследование процесса волочения металлов.....	52
<b>Библиографический список</b> .....	59

Компьютерная верстка Т.В. Телелева

Темплан ФБГОУ ВО «ЗГУ» 2023 г., поз. 61. Подписано в печать 27.02.2023.  
Формат 60x84 1/16. Бум. для копир.-мн.ап. Гарнитура *Bookman Old Style*.  
Печать плоская. Усл.п.л. 3,9. Уч.-изд.л. 3,9. Тираж 30 экз. Заказ 28.

663310, Норильск, ул. 50 лет Октября, 7. E-mail: [RIO@norvuz.ru](mailto:RIO@norvuz.ru)

---

Отпечатано с готового оригинал-макета в отделе ЦИТ ФБГОУ ВО «ЗГУ»