

**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»**

**Кафедра «Металлургия и литейное производство»**

**Ю. Л. Бобарикин**

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

### **ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

**по одноименной дисциплине для студентов  
специальности 1-42 01 01 «Металлургическое  
производство и материалобработка  
(по направлениям)» направления 1-42 01 01-2  
«Металлургическое производство и материалобработка  
(материалобработка)» специализации  
1-42 01 01-02 01 «Обработка металлов давлением»  
дневной и заочной форм обучения**

**Гомель 2014**

УДК 621.77(075.8)  
ББК 34.621я73  
Б72

*Рекомендовано научно-методическим советом  
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 11 от 24.12.2013 г.)*

Рецензент: заф. каф. «Обработка материалов давлением» ГГТУ им. П. О. Сухого  
д-р техн. наук, проф. *М. Н. Верещагин*

**Бобарикин, Ю. Л.**

Б72      Технология прокатного производства : лаборатор. практикум по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)» направления 1-42 01 01-2 «Металлургическое производство и материалобработка (материалобработка)» специализации 1-42 01 01-02 01 «Обработка металлов давлением» днев. и заоч. форм обучения / Ю. Л. Бобарикин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2014. – 30 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://library.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Включает пять лабораторных работ, предметом изучения которых является экспериментальное изучение технологических основ процесса прокатки.

Для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)» направления 1-42 01 01-2 «Металлургическое производство и материалобработка (материалобработка)» специализации 1-42 01 01-02 01 «Обработка металлов давлением» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.77(075.8)  
ББК 34.621я73

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2014

## Лабораторная работа № 1

### *Конструкция и регулировка прокатного стана.*

**Цель работы:** ознакомление с конструкцией прокатного стана; получение навыков по регулировке прокатного стана.

#### **Основные теоретические сведения.**

Свыше 80 % всей выплавляемой в мире стали, значительное количество цветных металлов подвергается обработке в прокатных цехах на прокатных станах. Продукцией металлопрокатного производства является прокат разнообразный по сортаменту. Сортаментом называется совокупность форм и размеров профилей, получаемых прокаткой на прокатном стане. Под профилем понимают геометрическую форму поперечного сечения прокатываемой полосы (раската), выходящего из чистой (последней) клетки прокатного стана.

Весь сортамент прокатной продукции подразделяется на следующие пять основных групп:

1 - сортовой прокат простого профиля: круглый, квадратный, шестиугольный, полосовой и др.

2 - сортовой прокат фасонного профиля: угловой, тавровый, двутавровый, рельсовый, швеллерный и др.

3 - листовой прокат всех профилеразмеров, в том числе со специальными покрытиями.

4 - трубы: бесшовные гладкие, нарезные, сварные, профильные и с покрытием.

5. специальный прокат: колеса, кольца, шарики, гнутые профили, периодические профили и др.

Прокатные станы по назначению условно разделяются на следующие:

1. Блюминги - прокатные обжимные станы с диаметром валков 300...1500 мм, предназначены для прокатки из массивных слитков блюмов и фасонных заготовок. Блюм - полупродукт преимущественно квадратного профиля с размером сечения 140x140 мм ... 450x450 мм, служащий заготовкой для дальнейшей прокатки на заготовочных или сортовых станах.

2. Слябинги - прокатные обжимные станы с диаметром валков 800...1500 мм, предназначены для прокатки слябов из массивных

слитков. Сляб - полупродукт с прямоугольным сечением профиля, размер сечения которого составляет 100x500 мм ... 350x2240 мм, служащий заготовкой для дальнейшей прокатки листов.

3. Заготовочные станы - прокатные станы с диаметром валков 500...900 мм, предназначены для прокатки заготовок с размером профиля 50x50 мм ... 240x240 мм. Заготовки предназначаются для дальнейшей обработки на различных прокатных станах.

4. Сортные станы - подразделяются на три группы: крупно-сортные прокатные станы с диаметром валков 500...950 мм, предназначены для прокатки профилей с диаметром 80...150 мм по круглому профилю, а для других профилей с соответствующими круглыми площадями сечений профилей; среднесортные прокатные станы с диаметром валков 350...500 мм, на которых прокатывают профиль с диаметром 20...80 мм; мелкосортные прокатные станы с диаметром валков 250...350 мм, на которых прокатывают профиль с диаметром 9...20 мм.

5. Проволочные станы - прокатные станы с диаметром валков 150...250 мм, предназначены для прокатки катанки (заготовки для волочения проволоки) диаметром 5...9 мм.

6. Листопрокатные станы - горячей прокатки, прокатывающие листы толщиной 1,2...160 мм, шириной до 3200 мм; листопрокатные станы холодной прокатки, прокатывающие листы толщиной 0,2...4 мм, шириной до 1850 мм; фольгапрокатные, прокатывающие очень тонкие листы или ленты (фольгу) толщиной 0,002...0,01 мм.

7. Трубные станы - прокатные станы, предназначены для производства бесшовных и сварных труб разного диаметра и с разной толщиной стенки.

8. Специальные станы - прокатные станы, предназначенные для прокатки периодических, гнутых профилей, колесопркатные, кольце-пркатные, шаропркатные и др.

В зависимости от расположения и количества рабочих клеток прокатные станы разделяются на следующие группы: одноклетьевые, многоклетьевые линейные, полунепрерывные и непрерывные.

Сами рабочие клетки могут иметь два (дуо), три (трио), четыре (кварто), шесть, двенадцать и двадцать прокатных валков. При этом в отдельных случаях валок может замещаться движущимся рабочим столом (например, при поперечно-клиновой прокатке).

По характеру относительного расположения осей прокатываемой полосы и осей валков, а также движения полосы относительно

валков различают продольную, поперечную и винтовую (косую) прокатку. Основное распространение получила продольная прокатка.

Прокатный стан может состоять из одной или нескольких рабочих линий.

Рабочая линия прокатного стана для продольной прокатки (рис. 1) в общем случае состоит из рабочей клетки 1 и ее привода состоящего из шпинделей валков 2, шестеренной клетки 3 передаточным числом  $i=1$ , редуктора 4 с передаточным числом  $i>1$ , коренной муфты 5, редуктора 6, моторной муфты 7, электродвигателя 8. Однако в указанной схеме конструкции рабочей линии могут быть изменения, например, могут отсутствовать шестеренная клетка и редуктор при непосредственном приводе валков от индивидуальных электродвигателей для каждого валка. Редуктор может отсутствовать или совмещаться в одном блоке с шестеренной клеткой. Шпиндели валков часто имеют устройства для уравнивателя. В качестве электродвигателей обычно применяются электродвигатели постоянного тока с возможностью изменения частоты вращения вала электродвигателя. Применяются также электродвигатели переменного тока, в этом случае привод клетки может иметь коробку передач установленную между электродвигателем и редуктором. Привод клетки может иметь и другие изменения. Рабочая линия прокатного стана может также иметь несколько рабочих клеток с расположением всех клеток в одну линию с одним приводом.

Основными элементами рабочей клетки (рис. 2) являются: рабочие валки 1, станина клетки 2, нижние подушки 3, верхние подушки 4, подшипники 5, регулировочные винты 6, опорная плита 7.

Рабочие валки удерживаются в клетке на подшипниках, запрессованных на шейки валков. Подшипники закрепляются в подушках. При этом нижние подушки неподвижно закреплены на станине клетки, а верхние подушки способны перемещаться по направляющим станины с целью регулировки межвалкового зазора. Регулировка межвалкового зазора осуществляется с помощью регулировочных винтов, воздействующих на левую и правую верхние подушки. При этом верхние подушки поджимаются к регулировочным винтам специальными нажимными устройствами, удерживающими верхний валок в подвешенном состоянии в случае наличия межвалкового зазора. Нажимные устройства могут иметь различные конструкции. Они могут быть гидравлическими или пружинными (на рис. 2 условно непоказа-

ны). Регулировочные винты могут иметь ручной или электрический привод.

Кроме указанных элементов рабочая клетка может иметь и другие вспомогательные элементы. Приводными могут быть как оба так и один валок.

В случае многовалковых рабочих клеток они содержат помимо двух рабочих валков, которые в таких схемах неприводные, несколько дополнительных опорных валков, среди которых могут быть приводные и неприводные.

При обозначении прокатного стана указывается его классификационная характеристика и в конце цифра, указывающая диаметр рабочих валков в последней (чистой) клетки прокатного стана. Например на Белорусском металлургическом заводе в г. Жлобине применяются: 20-ти клетевой непрерывный мелкосортный прокатный стан 320 (чистовая клетка имеет диаметр рабочих валков 320 мм), а также одноклетевой реверсивный крупносортный прокатный стан 850 (диаметр рабочих валков - 850 мм). Эти прокатные станы являются крупнейшими сортопрокатными станами в Республике Беларусь.

### **Оборудование, инструмент, материалы.**

Работа проводится на лабораторном одноклетевом двухвалковом прокатном стане 200, а также на шестивалковой рабочей клетке.

Для регулировки лабораторного стана применяются образцы алюминиевых полос шириной 5...20 мм, толщиной 1...4 мм и длиной не менее 150 мм.

#### Характеристика прокатного стана

Диаметр рабочих валков	D=200 мм
Длина бочки валка	L=200 мм
Нажимное устройство- винтовое с ручным приводом	
Уравновешивающее устройство- пружинное	
Привод от двигателя переменного ток:	N=32 кВт, n =1500 об/мин
Редуктор РМ-350	i=20
Шестеренная клетка	l=1
Скорость прокатки	0 до 0,3 м/с

В состав главной линии прокатного стана (рис.1) входит электродвигатель 1, который посредством муфты моторной 2 приводит в

действие редуктор 3. Посредством муфты коренной 4 момент вращения передается на шестеренную клеть 5, от которой шпинделя 6 передают вращающий момент на прокатные валки прокатной клетки 7.

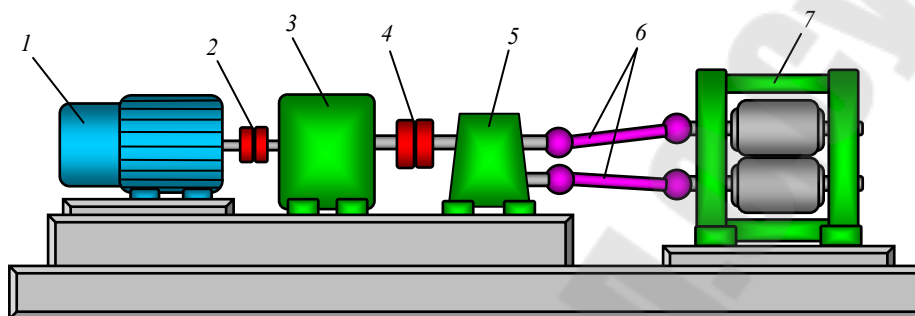


Рис. 1. Главная линия одноклетьевого двухвалкового прокатного стана: 1 — электродвигатель; 2 — муфта моторная; 3 — редуктор; 4 — муфта коренная; 5 — шестеренная клеть; 6 — шпиндель; 7 — прокатная клеть.

Прокатная клеть (рис. 2) в качестве основы конструкции имеет плитовину 4, на которую установлена станина 1. На станине смонтированы все остальные элементы конструкции. Столы с линейками 6 и 11 для подачи и приема проката расположены на входной и выходной стороне станины. Главный инструмент клетки – прокатные валки 2, удерживаются на станине в подушках 5 и 7, в которых установлены подшипники прокатных валков. Нажимное устройство 8 обеспечивает установку зазора между валками. Для осевой установки валков используется устройство 10. Устройство уравнивания валков 12 обеспечивает демпфирование ударной нагрузки на валки. Для удержания верхних валков в контакте с нажимным устройством 8 используется гидравлический или пружинный прижим, работающий на распирающие между верхними и нижними подушками 5 и 7. Предохранительное устройство 9 исключает перегрузку на валки по усилию прокатки, а также может служить датчиком усилия прокатки. При помощи датчиков производится экспериментальное определение усилия прокатки.

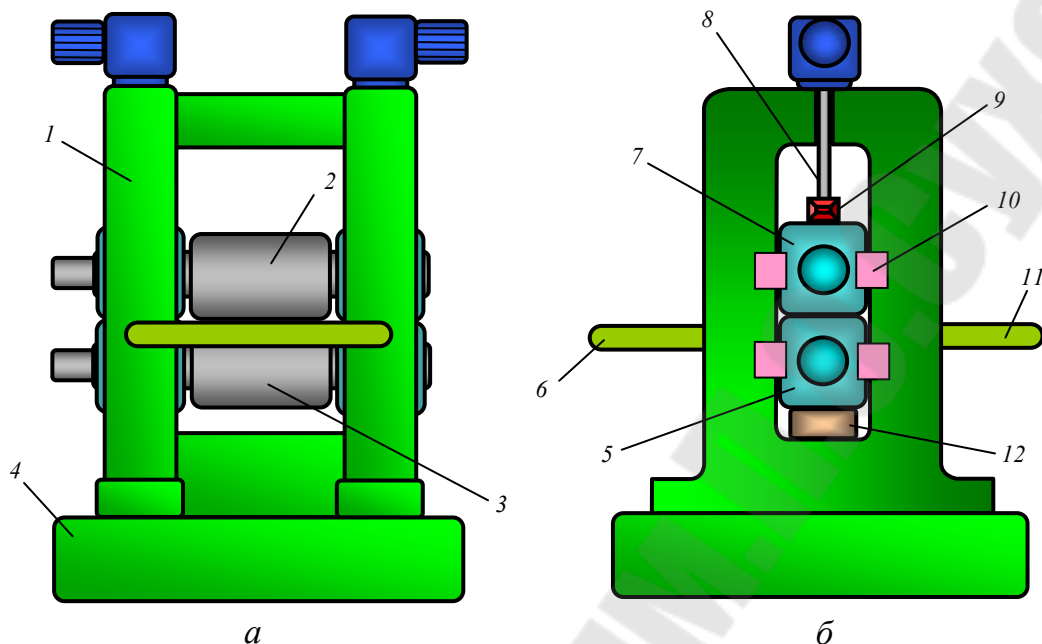


Рис. 2. Прокатная клеть: *а* — вид спереди; *б* — вид сбоку; 1 — станина; 2, 3 — верхний и нижний рабочие валки; 4 — плитовина; 5, 7 — нижняя и верхняя подушки; 6, 11 — входной и выходной столы с линейками; 8 — нажимное устройство; 9 — предохранительное устройство; 10 — устройство осевой установки и фиксации валков; 12 — устройство уравнивания валков.

Регулирование положения верхнего валка производится с помощью устройства осевой регулировки валков, нажимного механизма и уравнивающего устройства.

Осевая регулировка валков производится при помощи планки, прижимающей фланец нижней подушки к рабочей клетю.

Верхний валок при помощи нажимных винтов 3 устанавливается в соответствии с положением нижнего валка.

Регулировка параллельности валков производится с помощью уравнивающего и нажимного устройств, расположенных в верхней части клетки.

Шестеренная клеть 5 (рис.1) является редуктором с передаточным числом  $i=1$ . Служит для передачи вращения от одного электродвигателя к двум валкам.

Понижающий редуктор РМ 350 установлен между электродвигателем и шестеренной клетью, (электродвигатель – редуктор – шес-



теренная клеть – два валка) и предназначен для уменьшения скорости вращения и увеличение крутящего момента.

Привод лабораторного стана ДУО 200 осуществляется от двигателя постоянного тока типа П81, 220 В, 32 кВт, 1500 об./мин. Путем изменения напряжения якоря двигателя, скорость прокатки может плавно меняться от 0 до 0,3 м/с. Номинальный момент двигателя  $N=200$  Нм. Допускается кратковременная перегрузка по моменту до  $M_{\text{мех}}=400$  Нм. Возможна комплектация двигателем переменного тока с постоянной скоростью вращения якоря и механической коробкой передач момента вращения.

### **Выполнение работы**

Для ознакомления с конструкцией прокатного стана изучаются конструкции указанных станков с составлением схемы рабочей линии стана стана 200. С

Для изучения рабочих клеток вычерчиваются эскизные чертежи рабочих клеток стана 200 и шестивалковой клетки.

Для получения навыков по регулировке прокатного стана выполняется настройка межвалкового зазора стана ДУО 200.

Вначале предварительно настраивается величина межвалкового зазора меньше высоты образцов полосы. Затем включается вращение валков и прокатывается образец. После прокатки анализируется форма деформированного образца, его ось должна быть прямолинейна. В случае неправильной настройки зазора по ширине валков образец после прокатки будет иметь дугообразную форму на виде сверху. Для устранения перекоса установки валков необходимо с помощью регулировочных винтов отрегулировать положение подушек прокатных валков. Далее повторно прокатать второй образец и проанализировать его форму после прокатки. В случае если прямолинейность образца не получена проводится дополнительная регулировка положения валков. После каждой прокатки образцов необходимо заэскизывать их форму.

## **Структура отчета**

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Краткие теоретические сведения.
4. Схемы рабочих линий прокатных станов.
5. Эскизные чертежи прокатных клетей.
6. Эскизные чертежи образцов, полученных при настройке прокатной клетки.

## **Контрольные вопросы**

1. Сортамент прокатной продукции.
2. Виды прокатных станов по назначению.
3. Виды прокатных станов в зависимости от расположения и количества рабочих клетей.
4. Виды прокатки в зависимости от характера относительно-го расположения осей прокатываемой полосы и осей валков.
5. Основные элементы рабочей линии прокатного стана.
6. Основные элементы прокатной клетки.
7. Обозначение прокатного стана.

## Лабораторная работа № 2

### *Изучение условия захвата полосы валками и определение коэффициента контактного трения*

**Цель работы:** изучить способность прокатных валков к захвату обрабатываемой полосы, определить действительное значение коэффициента контактного трения.

#### Основные теоретические сведения

Для выполнения стадии захвата необходимо выполнение условия захвата. Рассмотрим это условие (рис.1).

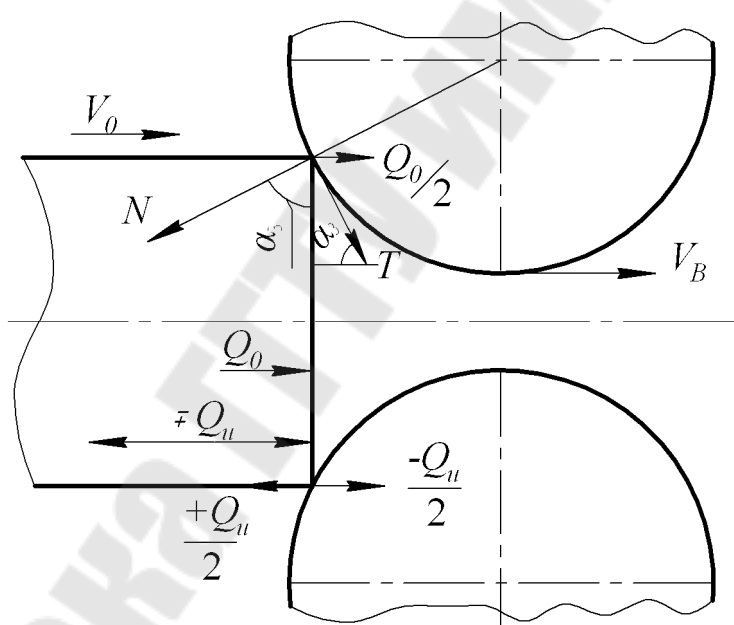


Рис.1. Схема сил при захвате полосы валками.

На рисунке 1 отражены следующие параметры:

$N$  - нормальная сила воздействия поверхности валка на заготовку; на линейной контакте полосы с валком.

$T$  - контактная сила трения.

$Q_0$  - сила подачи полосы к валкам.

$V_0$  - скорость подачи полосы к валкам.

$V_B$  - мин. Скорость вращения валка.

$Q_u$  - сила интеграции между полосой и валком.

$\alpha_3$  - угол захватка.

Для продвижения полосы зазор между валками необходимо выполнить следующее условие:

$$T \sin \alpha_3 + \frac{Q_o}{2} \geq N \cos \alpha_3 \pm \frac{Q_u}{2} \quad (1)$$

Если допустить, что на контакт действует закон трения Кулона, то:

$$T = f \cdot N, \quad (2)$$

Тогда неравенство записывается в виде:

$$f \geq \operatorname{tg} \alpha_3 + \frac{\pm \frac{Q_u}{2} - \frac{Q_o}{2}}{N \cos \alpha_3} \quad (3)$$

Неравенство является условием вынужденного захвата полосы при продольной прокатке. В неравенстве используется  $-\frac{Q_u}{2}$ , если  $V_o > V_v$  и  $+\frac{Q_u}{2}$ , если  $V_o < V_v$ .

Если выполняется свободный захват, т.е.  $Q_o \approx 0$ , то условие примет вид:

$$f \geq \operatorname{tg} \alpha_3 \quad (4)$$

$f$  - коэффициент контактного трения между кромкой полосы и поверхности прокатного валка.

Из условий (3) и (4) следует, что на захват влияет величина контактного трения.

В лабораторной работе изучается свободный захват по условию (4).

Величина угла захвата рассчитывается по формуле:

$$\alpha_3 = \frac{h_0 - h_1}{R} \quad (5)$$

Если угол захвата максимальный, то выполняется условие:

$$f = \tan \alpha_3^{\max} \quad (6)$$

### Оборудование, инструмент, материалы

Для выполнения лабораторной работы используется лабораторный двухвалковый прокатный стан с диаметром валков 100 мм, измерительный инструмент, позволяющий определять толщину полосы с точностью до 0,1 мм. В качестве образцов для исследований исполь-

зуются алюминиевые полосы разной толщины. Всего должно быть три группы образцов с одинаковыми значениями толщин полос.

### Выполнение работы

- 1) Подготовить к прокатке полосы: проверить отсутствие дефектов, края полосы должны быть ровными, измерить толщину полос и внести их значения в протокол испытаний (таблица).
- 2) Сомкнуть валки прокатного стана и включить их вращение.
- 3) Полосу минимальной толщины подвести без излишнего усилия к уровню входа в очаг деформации между валками.
- 4) Если полоса не будет захвачена валками, то приступить к постепенному разведению валков и к увеличению зазора. Разведение валков продолжать до момента осуществления захвата.
- 5) После захвата измерить толщину полосы и внести значение в протокол испытаний (таблица).
- 6) Провести аналогичные действия для двух других полос с этой же толщины.
- 7) Провести аналогичные действия для других полос с большей толщиной.
- 8) По формуле (5) рассчитать углы захвата и полученные значения внести в таблицу.
- 9) Для опытов, в которых захват произошел только после разведения валков по формуле (6) вычисляется коэффициент контактного трения.

Таблица. Экспериментальные значения параметров прокатки

№ образца	$h_0$	$h_1$	$\alpha_2$	$f$
1				
2				
3				

## **Структура отчета**

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Краткие теоретические сведения.
4. Схема захвата полосы валками.
5. Таблица с экспериментальными и расчетными данными.

## **Контрольные вопросы**

1. Схема сил, действующих на полосу при захвате.
2. Определение угла захвата.
3. Порядок экспериментального определения угла захвата и коэффициента контактного трения.
4. Факторы, влияющие на условие захвата.

## Лабораторная работа № 3

### *Изучение геометрических и деформационных показателей прокатки*

**Цель работы:** Изучить и определить величины, характеризующие деформацию тела при прокатке. Определить соблюдается ли при практической деформации закон постоянства объема деформируемого тела.

#### **Основные теоретические сведения**

Геометрические параметры очага деформации продольной прокатки представлены на рисунке. 1.

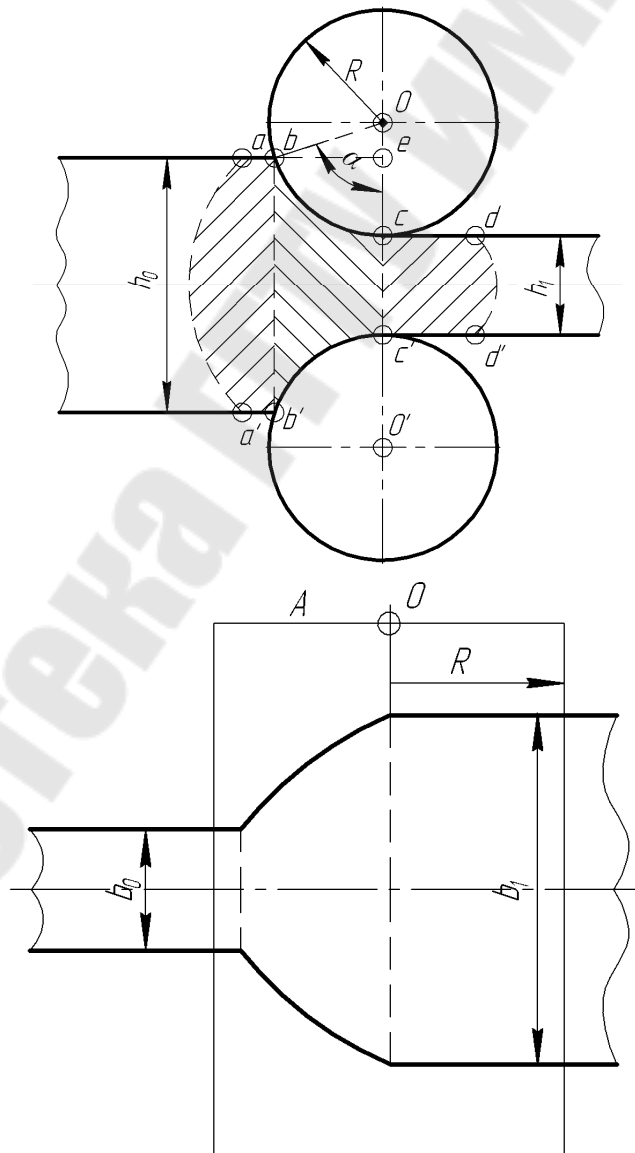


Рис.1 Схема геометрии очага деформации продольной прокатки

Основные геометрические параметры очага деформации (рис.):

$h_0, b_0$  – высота и ширина полосы до прокатки;

$h_1, b_1$  – высота и ширина полосы после прокатки;

$\alpha$  – угол прокатки;

$l$  – длина очага деформации (отрезок  $be$ );

$l_0$  – длина дуги контакта металла с валком (дуга  $bc$ );

Геометрический очаг деформации - это объем полосы, продольное сечение которого описано линией  $bcc'b'$ .

Фактический очаг деформации - это объем полосы, продольное сечение которого описано линией  $abcdc'b'a'$ .

Для вычисления некоторых геометрических параметров используют следующие формулы.

$$\alpha = \frac{h_0 - h_1}{R}, \quad (1)$$

$$l_0 = \alpha \times R, \quad (2)$$

$$l = \sqrt{(h_0 - h_1)R - \left(\frac{h_0 - h_1}{2}\right)^2} \quad (3)$$

При вычислении величины  $l$  величина  $\left(\frac{h_0 - h_1}{2}\right)^2$  достаточна, мала, поэтому при относительно небольшой разнице  $h_0$  и  $h_1$  эту величину исключают из формулы (3).

#### *Деформационные параметры продольной прокатки*

Различают абсолютные, относительные и истинные деформационные параметры. Абсолютное обжатие:

$$\Delta h = h_1 - h_0, \quad (4)$$

Величина  $\Delta h$  имеет отрицательное значение- это связано с уменьшением высоты полосы при прокатке. В геометрических, деформационных и энергосиловых расчетах используется положительное значение  $\Delta h$ .

Абсолютное уширение:

$$\Delta b = b_1 - b_0, \quad (5)$$



Абсолютная вытяжка:

$$\Delta l = l_1 - l_0, \quad (6)$$

где  $l_1$  и  $l_0$  длина полосы после и перед прокаткой.

Абсолютные деформационные показатели в большей степени отражают геометрический очаг, потому для характеристики деформации используется относительные деформационные показатели:

Относительное обжатие:

$$\varepsilon_h = \frac{\Delta h}{h_0}, \quad (7)$$

Относительно уширение:

$$\varepsilon_b = \frac{\Delta b}{b_0}, \quad (8)$$

Относительная вытяжка:

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad (9)$$

Для больших деформаций (свыше 20%) относительные деформационные имеют значительные отклонения от истинных значений. Поэтому для больших деформаций используется истинная деформация (логарифмическая):

Истинное обжатие:

$$\varepsilon'_h = \ln \frac{h_1}{h_0}, \quad (10)$$

Истинное уширение:

$$\varepsilon'_b = \ln \frac{b_1}{b_0}, \quad (11)$$

Истинная вытяжка:

$$\varepsilon'_l = \ln \frac{l_1}{l_0}. \quad (12)$$

Размерность абсолютной деформации в мм, относительных деформации и истинных деформаций - в относительных единицах (в долях единицы).

Используется также коэффициенты деформации:

Коэффициент обжатия:

$$\eta = \frac{h_1}{h_0}, \quad (13)$$

Коэффициент уширения:

$$\beta = \frac{b_1}{b_0}, \quad (14)$$

Коэффициент вытяжки:

$$\lambda = \frac{l_1}{l_0}, \quad (15)$$

Факторы, влияющие на уширение:

- 1) Соотношение между длиной очага деформации, а также шириной и высотой полосы на входе и выходе из очага деформации
- 2) Радиус прокатных валков. Чем больше радиус, тем больше длина очага при прочих равных параметрах. Поэтому увеличение радиуса способствует увеличению уширения и наоборот.
- 3) Коэффициент прокатного трения скольжения. Его влияние связано со сдерживанием пластического течения металла в разные стороны. Если уширение интенсивное, то увеличение коэффициента трения способствует уменьшению уширения. Если уширение не интенсивное, то коэффициент трения слабо влияет на уширение.

Используют разные аналитические и геометрические зависимости для определения величины деформации уширения, но эти зависимости преимущественно основаны на эксперименте. Аналитический расчет этой деформации очень сложен. Для оценки величины уширения используется показатель уширения:

$$\chi = \frac{\Delta b}{\Delta h} \quad (16)$$

Если уширение отсутствует, то  $\Delta b = 0$  и  $\chi = 0$ . Это практически возможно, если ширина полосы в 5 раз и более превышает длину очага деформации. Если  $\Delta b = \Delta h$ , то  $\chi = 1$  - на прокатке это означает, что отсутствует деформация удлинения полосы и весь смещенный объем от деформации по высоте перераспределяется по ширине полосы. Теоретически такой вариант возможен, если ширина полосы более чем в 5 раз меньше длины очага. В производстве такие варианты прокатки не проводят.

В соответствии с законом сохранения объема при пластической деформации твердого материала имеется связь между приведенными показателями:

$$\begin{aligned}\varepsilon_h + \varepsilon_b + \varepsilon_l &= 0; \\ \varepsilon'_h + \varepsilon'_b + \varepsilon'_l &= 0 \\ \eta \cdot \beta \cdot \lambda &= 1\end{aligned}\quad (17)$$

Смещенный объем полосы в результате прокатки в направлениях трех деформаций определяется по формулам:

$$\begin{aligned}V_h &= V \cdot \varepsilon'_h \\ V_b &= V \cdot \varepsilon'_b \\ V_l &= V \cdot \varepsilon'_l\end{aligned}\quad (18)$$

где  $V$  – объем полосы до прокатки.

### **Оборудование, инструмент, материалы.**

Для выполнения лабораторной работы используется лабораторный двухвалковый прокатный стан с диаметром валков 100 или 200 мм, измерительный инструмент, позволяющий определять толщину полосы с точностью до 0,1 мм. В качестве образцов для исследований используются алюминиевые полосы разной толщины, ширины и высоты. Всего должно быть три группы образцов с одинаковыми значениями размеров полос. Каждая группа образцов должна содержать не менее трех полос.

### **Выполнение работы**

1. Произвести измерение размеров полос из каждой группы, результаты измерений занести в таблицу.
2. Выполнить прокатку полос.
3. Произвести измерение размеров полос после прокатки из каждой группы, результаты измерений занести в таблицу.
4. Рассчитать деформационные параметра прокатки по формулам (4)...(16), результаты расчетов занести в таблицу.
5. По формуле (17) выполнить проверку определения деформационных показателей.

6. Рассчитать геометрические параметры прокатки по формулам (1)...(3).
7. По формуле (18) рассчитать смещенные объемы, результаты расчетов занести в таблицу.

Таблица. Результаты измерений и расчетов геометрических и деформационных показателей продольной прокатки.

№ образца	Исходные размеры, мм			Конечные размеры, мм			Абсолютная деформация			Относительная деформация			Истинная деформация		
	h <sub>0</sub>	b <sub>0</sub>	l <sub>0</sub>	h <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	l <sub>1</sub>	Δh	Δb	Δl	ε <sub>h</sub>	ε <sub>b</sub>	ε <sub>l</sub>	ε' <sub>h</sub>	ε' <sub>b</sub>	ε' <sub>l</sub>
1															
2															
3															

№ образца	Показатель уширения	Коэффициенты деформации			Смещенный объем		
		η	β	λ	V <sub>h</sub>	V <sub>b</sub>	V <sub>l</sub>
1	χ						
2							
3							

### Структура отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Краткие теоретические сведения.
5. Таблица с экспериментальными и расчетными данными.
6. Расчетные данные по формулам (1)...(3), (17).

### **Контрольные вопросы**

1. Назвать геометрические параметры очага деформации.
2. Назвать деформационные параметры очага деформации.
3. Записать формулы для расчета геометрических параметров деформации.
4. Записать формулы для расчета деформационных параметров деформации.

## Лабораторная работа № 4

### *Изучение опережения и отставания полосы при прокатке*

**Цель работы:** изучить методику экспериментального определения значений опережения и отставания полосы при прокатке.

### Основные теоретические сведения

Если провести измерения скорости полосы на выходе из валков и скорости полосы на входе в валки, то можно обнаружить разницу в значении этих скоростей. Скорость на выходе всегда больше, чем скорость на входе (рис.1). Это различие связано с тем, что процесс прокатки представляет собой совмещение двух процессов: осадки полосы цилиндрическими бойками валковой подачи полосы цилиндрическими - роликками.

Отставанием при прокатке называют степень уменьшения значения скорости движения сечения полосы на контакте валка с полосой по сравнению с горизонтальной проекцией скорости валка.

Опережением при прокатке называют степень увеличения значения скорости движения сечения полосы на контакте валка с полосой по сравнению с горизонтальной проекцией скорости валка.

Зона  $ab$  называется зоной отставания, зона  $bc$  - зона опережения.

Из графика видно,  $\max$  отставание в сечении полосы, соответствует точке  $a$  и  $\max$  опережение в сечении соответствует точке  $c$ . Поэтому на практике отставание и опережение определяется именно в этих сечениях.

В точке  $b$  отсутствует опережение и отставание. Сечение, проходящее через эту точку, называется нейтральным. Угол  $\gamma$  определения положения этого сечения называется нейтральным углом.

Численно значение опережения определяется по формулам:

$$s_1 = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \quad (1)$$

$$s_1 = \gamma^2 \frac{R}{h_1} \quad (2)$$

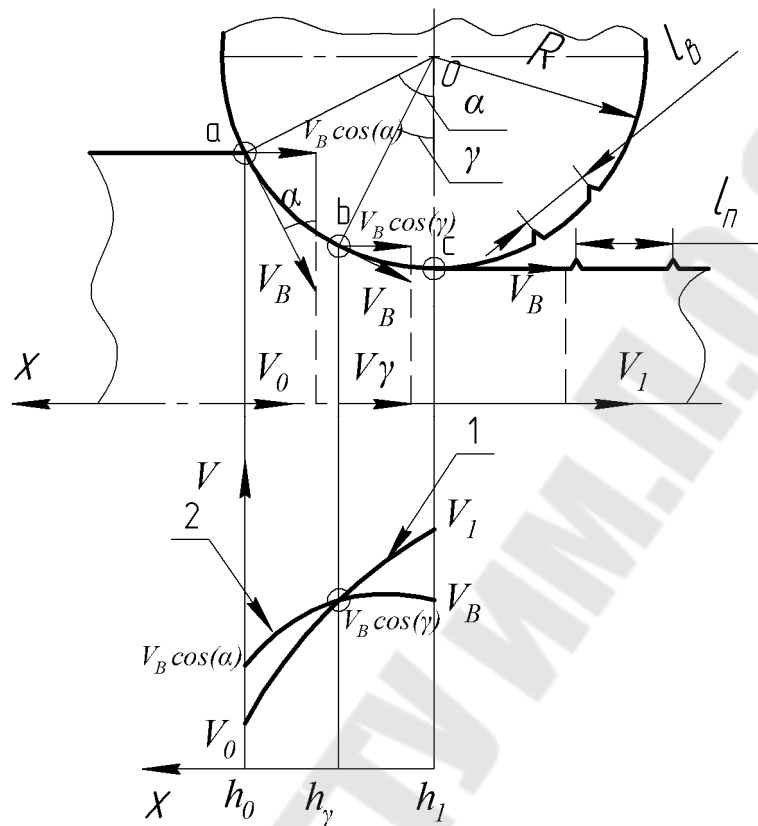


Рис. 1 Кинематическая схема очага деформации

Нейтральный угол:

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left( 1 - \frac{\alpha}{2\varphi} \right) \quad (3)$$

Угол прокатки:

$$\alpha = \frac{h_0 - h_1}{R} \quad (4)$$

Угол трения:

$$\varphi = \tan^{-1} f \quad (5)$$

Экспериментально опережение определяется по формуле:

$$s_1^{\text{эксп}} = \frac{l_n - l_B}{l_B} \quad (6)$$

Численно значение отставания определяется по формуле:

$$S_0 = \frac{V_B \cdot \cos \alpha - V_0}{V_B \cdot \cos \alpha} \quad (7)$$

Между опережением и отставанием существует связь:

$$s_o = 1 - \frac{1 - s_1}{\lambda \cdot \cos \alpha} \quad (8)$$

где  $\lambda = \frac{F_o}{F_1}$  коэффициент вытяжки.

### **Оборудование, инструмент, материалы**

Для выполнения лабораторной работы используется лабораторный двухвалковый реверсивный прокатный стан с диаметром валков 100 мм, измерительный инструмент, позволяющий определять линейные размеры с точностью до 0,1 мм. На поверхности валков имеются специальные мелкие углубления, равномерно расположенные по окружности вала. В качестве образцов для исследований используются одинаковые алюминиевые полосы.

### **Выполнение работы**

- 1) Подготовить к прокатке полосы: проверить отсутствие дефектов, края полосы должны быть ровными, измерить толщину полос и отобрать партию полос из трех штук с равной толщиной.
- 2) Настроить валки прокатного стана таким образом, чтобы зазор между валками обеспечивал захват полосы. Измерить расстояние между углублениями на поверхности валков  $l_b$  и радиус валков  $R$ .
- 3) Полосу подвести без излишнего усилия к уровню входа в очаг деформации между валками.
- 4) После захвата и прокатки полосы измерить на полосе расстояния между отпечатками  $l_n$ , а также высоту полосы после прокатки  $h_1$ . Измерения провести на всем количестве отпечатков на полосе. Получить среднее значение. Результаты занести в таблицу.



- 5) Провести аналогичные действия на двух других полосах. Получить средние значения.
- 6) По формуле (6) рассчитать экспериментальное значение опережения.
- 7) По формуле (2) рассчитать теоретическое значение опережения. Для этого по формулам (3)-(5) рассчитать необходимые величины. Значение коэффициента трения взять из предыдущей лабораторной работы. Полученные значения занести в таблицу.
- 8) Сравнить экспериментальное и теоретическое значения опережения. Сделать вывод о причинах не полного совпадения этих величин.
- 9) По формуле (8) рассчитать отставание. Результат занести в таблицу.

Таблица. Экспериментальные и теоретические значения

№ образца	$h_1$ , мм	$l_n$ , мм	$s_1^{\text{эк}}$	$\alpha$ , град	$\varphi$ , град	$\gamma$ , град	$s_1$	$s_0$
1								
2								
3								

### Структура отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Краткие теоретические сведения.
4. Кинематическая схема очага деформации.
5. Таблица с экспериментальными и расчетными данными.

### **Контрольные вопросы**

1. Определения явления отставания и опережения полосы.
2. Причины появления отставания и опережения полосы.
3. Формулы для расчета значений опережения и отставания.
4. Методика экспериментального определения опережения и отставания.
5. Формула связи опережения и отставания.
6. Причины не полного равенства расчетных и экспериментальных значений опережения.

## Лабораторная работа № 5

### *Давление прокатки*

**Цель работы:** изучить методику аналитического и экспериментального определения значений давления и усилия при холодной прокатке полосы.

#### **Основные теоретические сведения**

Давление прокатки является основополагающим параметром при определении всех других энергосиловых параметров процесса: усилия, момента, энергии и мощности прокатки. Сила прокатки рассчитывается как произведение давления прокатки на площадь контакта вала с прокатываемой полосой. Момент прокатки на прокатных валах определяется как произведение значения усилия прокатки на плечо усилия прокатки. Энергия прокатки рассчитывается как произведение давления прокатки, объема полосы и истинной деформации полосы по высоте. Мощность прокатки, затрачиваемая на пластическую деформацию полосы, равна произведению момента прокатки и угловой скорости вращения валков.

Для определения численного значения давления прокатки используются расчетный и экспериментальный методы.

Расчетный метод состоит в определении давления прокатки по известным аналитическим или эмпирическим формулам. Аналитические формулы получены на основе математического вывода зависимости. Эмпирические формулы получены на основе обобщающего анализа экспериментальных данных.

Экспериментальный метод определения давления прокатки состоит в измерении усилия прокатки с помощью силоизмерительной аппаратуры, а давление прокатки определяется арифметическим делением измеренной величины силы прокатки на площадь поверхности контакта полосы с валком. Площадь поверхности контакта полосы с валком для листовой прокатки определяется по формулам:

$$\begin{aligned}
 F_k &= b_{cp} l; \\
 b_{cp} &= \frac{(b_1 + b_0)}{2}; \\
 l &= \sqrt{(h_0 - h_1)R - \left(\frac{h_0 - h_1}{2}\right)^2}
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

где  $F_k$  – площадь поверхности контакта, мм<sup>2</sup>;

$b_{cp}$  – средняя ширина полосы, мм;

$l$  – длина очага деформации, мм;

$b_1, b_0$  – ширина полосы до и после прокатки, мм;

$h_0, h_1$  – высота полосы до и после прокатки, мм;

$R$  – радиус прокатных валков, мм.

Одной из наиболее известных аналитических зависимостей для расчета давления холодной листовой прокатки без натяжений полосы является формула Целикова А.И.:

$$\begin{aligned}
 p &= \beta \sigma_s \frac{h_\gamma}{\Delta h \delta} \cdot \left[ \left(\frac{h_0}{h_\gamma}\right)^\delta + \left(\frac{h_\gamma}{h_1}\right)^\delta - 2 \right] \\
 \delta &= \frac{f}{\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}; \quad \alpha = \sqrt{\frac{h_0 - h_1}{R}}; \quad \Delta h = h_0 - h_1 \\
 h_\gamma &= h_1 \left[ \frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 + 1)(h_0/h_1)}}{\delta + 1} \right]^{1/\delta}
 \end{aligned}
 \quad (2)$$

где  $p$  – давление прокатки, МПа;

$\beta$  – коэффициент Надои-Лоде, учитывающий влияние на давление прокатки главных напряжений в очаге деформации, направленных по ширине полосы, рассчитывается по спецформуле, но для упрощения можно принять для широких полос равным 1,15, для узких полос равным 1;

$\sigma_s$  – сопротивление пластической деформации металла полосы, МПа; выбирается из справочных данных для заданного металла полосы, для алюминиевых сплавов 40...150 МПа;

$h_\gamma$  – высота нейтрального сечения полосы, мм;

$\Delta h$  – абсолютное обжати полосы, мм;

$f$  – коэффициент контактного трения; для прокатки алюминия и его сплавов равен 0,2...0,25;

$\alpha$  – угол прокатки, рад.

### Оборудование, инструмент, материалы:

Для выполнения лабораторной работы используется лабораторный двухвалковый реверсивный прокатный стан с диаметром валков 100 мм, измерительный инструмент, позволяющий определять линейные размеры полосы с точностью до 0,1 мм, образцы полос из алюминиевых сплавов, силоизмерительная аппаратура.

### Выполнение работы

- 1) Подготовить к прокатке полосы: проверить отсутствие дефектов, края полосы должны быть ровными, измерить толщину и ширину полос; отобрать партию полос из трех штук с равной толщиной и шириной. Значения толщины и ширины полосы занести в таблицу.
- 2) Настроить силоизмерительную аппаратуру.
- 3) Настроить валки прокатного стана таким образом, чтобы зазор между валками обеспечивал захват полосы. Измерить радиус валков  $R$ .
- 4) Полосу подвести без излишнего усилия к уровню входа в очаг деформации между валками и выполнить прокатку с фиксацией значения экспериментального усилия прокатки  $P^{экс}$ . Значения экспериментального усилия прокатки занести в таблицу. Измерить геометрию сечения полосы после прокатки, значения занести в таблицу.
- 5) Выполнить аналогичную прокатку остальных двух образцов полосы. Результаты занести в таблицу.
- 6) По формулам (1) рассчитать площадь поверхности контакта  $F_k$ .
- 7) Рассчитать давление прокатки  $p^{экс}$ , исходя из значений  $F_k$  и  $P^{экс}$ .

- 8) По формулам (2) рассчитать теоретическое значение давления прокатки  $p$  исходя из уточненных значений  $\sigma_s$  и  $f$ . Полученные значения занести в таблицу.
- 9) Сравнить экспериментальное и теоретическое значения давления прокатки. Сделать вывод о причинах не полного совпадения этих величин.

Таблица. Экспериментальные и теоретические значения параметров прокатки

№ образца	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$F_k$ , мм <sup>2</sup>	$P^{экс}$ , Н	$p$ , МПа	$p^{экс}$ , МПа
1								
2								
3								

### Структура отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Краткие теоретические сведения.
4. Расчеты параметров в соответствии с выполнением работы.
5. Таблица с экспериментальными и расчетными данными.

### Контрольные вопросы

7. Энергосиловые параметры прокатки.
8. Разница между аналитическими и эмпирическими формулами.
9. Формулы для расчета площади контакта вала и полосы.
10. Методика экспериментального определения давления прокатки.
11. Формула для давления прокатки.
12. Причины не полного равенства расчетных и экспериментальных значений давления прокатки.

**Бобарикин Юрий Леонидович**

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Лабораторный практикум  
по одноименной дисциплине для студентов  
специальности 1-42 01 01 «Металлургическое  
производство и материалобработка  
(по направлениям)» направления 1-42 01 01-2  
«Металлургическое производство и материалобра-  
ботка (материалобработка)» специализации  
1-42 01 01-02 01 «Обработка металлов давлением»  
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 12.06.14.

Рег. № 72Е.

<http://www.gstu.by>