

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Невинномысский технологический институт (филиал)

***МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ***

по выполнению практических работ  
по дисциплине «Технология и оборудование литейно-прокатного  
производства»  
для студентов очной формы обучения  
направления подготовки  
15.03.02 Технологические машины и оборудование

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВО и рабочей программы дисциплины «Технология и оборудование литейно-прокатного производства». Указания предназначены для студентов очной/заочной формы обучения направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Содержат основные разделы изучаемого теоретического материала, перечень вопросов необходимых для проработки, а также список рекомендуемой литературы.

*Составители*

*Отв. редактор*

## Содержание

<b>Введение</b> .....	4
<b>Практическое занятие № 1.</b> Расчет рабочих валков на прочность. Применение основных формул.....	5
<b>Практическое занятие № 2.</b> Расчет сортового валка. Ознакомиться с особенностями схем приложения.....	7
<b>Практическое занятие № 3.</b> Расчет бочки и шейки сортового валка. Изучение методики расчета.....	9
<b>Практическое занятие № 4.</b> Расчет листового валка. Особенность схемы приложения.....	11
<b>Практическое занятие № 5.</b> Расчет приводных концов валков. Применение основных формул.....	13
<b>Практическое занятие № 6.</b> Особенности расчета валков у станков кварто. Изучение схемы привода и расчет усилия на валки.....	15
<b>Практическое занятие № 7.</b> Расчеты валков на усталостную прочность. Ознакомиться с влиянием переменного напряжения.....	17
<b>Практическое занятие № 8.</b> Расчет упругой деформации валков. Изменение формы полосы.....	20
Литература	

## **Введение**

Прокатка — самый массовый способ обработки металлов давлением. Количество выпускаемого металлургическими заводами прокатанного металла служит одним из важнейших показателей уровня развития металлопромышленности в стране. «Технология и оборудование литейно-прокатного производства» изучает законы прокатки, которые дают ключ к управлению металлопромышленности в стране.

Дисциплина «Технология прокатки» относится к дисциплине базовой части. Она направлена на формирование общекультурных, профессиональных и общепрофессиональных компетенций обучающихся в процессе выполнения работ, определенных ФГОС ВО.

Методические указания составлены на современном научном уровне и рассчитаны на студентов, по направлению 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Последовательность лабораторных работ соответствует логической структуре ее прохождения. Предлагаемые методические указания содержат материал, который рекомендуется использовать студентам при осуществлении лабораторных работ.

## **Практическое занятие № 1. Расчет рабочих валков на прочность.** Применение основных формул.

Эффективность работы прокатных станов, качество и себестоимость выпускаемой продукции в значительной степени зависят от прочности и жесткости рабочих клетей. Поэтому при проектировании и эксплуатации прокатных станов необходимо грамотно рассчитывать оборудование рабочих клетей. Обычно размеры деталей этого оборудования предварительно определяют конструктивно по эмпирическим соотношениям, полученным в результате обобщения опыта прокатного машиностроения [1-5], а затем делают поверочные расчеты на прочность и жесткость, по результатам которых корректируют принятые конструктивно размеры. В настоящем пособии представлены методика и примеры поверочных расчетов основных деталей рабочих клетей разного типа при заданных их размерах и действующих на них нагрузках.

В общем случае поверочные расчеты каждой детали клетки проводят в следующем порядке:

- составляют схему нагружения детали заданными внешними силами;
- рассчитывают величину напряжений, возникающих в опасных сечениях детали;
- по справочным данным определяют временное сопротивление (предел прочности) материала, из которого изготовлена деталь;
- проверяют выполнение условия прочности, которое, может иметь две формулировки:

1. Расчетные напряжения должны быть не больше допускаемых (формулы искать в учебной литературе)

2. Расчетный коэффициент запаса прочности должен превышать допустимое значение (формулы искать в учебной литературе)

### **Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме** **Основная литература:**

1. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для вузов. Издание 2-е переработанное и дополненное / В.К. Смирнов, В.А.

Шилов, Ю.В. Инатович. М.:Теплотехник, 2010.

2. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки.-М.: Металлургия, 1980.

3. Вусатовский 3. Основы теории проткатки. - М.: Металлургия, 1972.

4. Тарновский И.Я. и др. Энергосиловые параметры прокатки цветных металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1975.
5. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник,- М.: Металлургия, 1986.
6. Суяров Д.И., Гилевич Ф.С. Расчет оптимальных режимов при горячей прокатке широких полос на реверсивных станах. - Красноярск, 1971.
7. Теория прокатки: Справочник/А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин и др. - М.: Металлургия, 1982.
8. Гилевич Ф.С., Сидельников С.Б. Теория и технология прокатки. Задачи, алгоритмы, программы, решения: Учеб. пособие / ГАЦМиЗ.- Красноярск, 1996.
9. Прокатное производство. Учебник для вузов. 3-е изд / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, Д.А. Хоролев, Ю.М. Матвеев М.:Металлургия, 1982.
10. Гилевич, Ф.С. Прокатное производство: Метод, указания по выполнению лабораторных работ для студентов спец. 110600 «Обработка металлов давлением» / Сост. Ф.С. Гилевич; ГАЦМиЗ:

#### **Интернет-ресурсы:**

- 1 [http://www.edu.ru/index.php?page\\_id=6](http://www.edu.ru/index.php?page_id=6) Федеральный портал Российское образование.
- 2 <http://www.edu.ru/> "Российское образование" Федеральный портал
- 3 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования  
<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"

**Практическое занятие 2.** Расчет сортового валка. Ознакомиться с особенностями схем приложения.

Так как при прокатке в разных калибрах величина давления, диаметр бочки и расстояние от оси нажимного винта являются переменными, то необходимо производить расчет напряжений в бочке и шейке валка для каждого пропуса и в каждом калибре. Из полученных величин выбирается наиболее неблагоприятный случай.

При расчете бочки валка напряжения от кручения обычно не подсчитываются, так как величина их, по сравнению с величиной напряжений от изгиба, намного меньше. Расчет бочки валка производится только на изгиб. При прокатке в любом калибре опорные реакции равны

$$R_A = P (\ell - x) / \ell,$$

$$R_B = P * x / \ell$$

Изгибающий момент в сечении  $x$  (в среднем сечении калибра)

$$M_{изг}^{\delta} = P x / \ell (\ell - x).$$

Напряжение изгиба в данном калибре

$$\sigma_{изг}^{\delta} = M_{изг}^{\delta} / W_{\delta}$$

где  $W_{\delta} = 0,1D$

$\delta$  момент сопротивления поперечного сечения бочки валка на изгиб, мм

$D_{\delta}$  – диаметр валка в сечении, проходящем по середине ручья, мм.

Таким образом ход расчета бочки ручьевого валка таков:

- 1 определяются изгибающие моменты в середине каждого калибра;
- 2 строятся эпюры изгибающих моментов;
- 3 определяются моменты сопротивления сечений каждого калибра;
- 4 подсчитываются изгибающие моменты для каждого калибра.

Шейка валка рассчитывается на изгиб и кручение.

Изгибающий момент для левой шейки

**Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме**

**Основная литература:**

1. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для вузов. Издание 2-е переработанное и дополненное / В.К. Смирнов, В.А.

Шилов, Ю.В. Инатович. М.:Теплотехник, 2010.

2. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки.-М.: Металлургия, 1980.

3. Вусатовский З. Основы теории проткатки. - М.: Металлургия, 1972.

4. Тарновский И.Я. и др. Энергосиловые параметры прокатки цветных металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1975.

5. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник,- М.: Металлургия, 1986.

6. Суяров Д.И., Гилевич Ф.С. Расчет оптимальных режимов при горячей прокатке широких полос на реверсивных станах. - Красноярск, 1971.

7. Теория прокатки: Справочник/А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И.

Зюзин и др. - М.: Металлургия, 1982.

8. Гилевич Ф.С., Сидельников С.Б. Теория и технология прокатки. Задачи, алгоритмы, программы, решения: Учеб. пособие / ГАЦМиЗ.- Красноярск, 1996.

9. Прокатное производство. Учебник для вузов. 3-е изд / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, Д.А. Хоролев, Ю.М. Матвеев М.:Металлургия, 1982.

10. Гилевич, Ф.С. Прокатное производство: Метод, указания по выполнению лабораторных работ для студентов спец. 110600 «Обработка металлов давлением» / Сост. Ф.С. Гилевич; ГАЦМиЗ:

**Интернет-ресурсы:**

1 [http://www.edu.ru/index.php?page\\_id=6](http://www.edu.ru/index.php?page_id=6) Федеральный портал Российское образование.

2 <http://www.edu.ru/> "Российское образование" Федеральный портал

3 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования  
<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"

### **Практическое занятие № 3. Расчет бочки и шейки сортового валка. Изучение методики расчета.**

При расчете бочки валка напряжения от кручения обычно не подсчитываются, так как величина их, по сравнению с величиной напряжений от изгиба, намного меньше. Расчет бочки валка производится только на изгиб. При прокатке в любом калибре опорные реакции равны

$$R_A = P (\ell - x) / \ell,$$

$$R_B = P * x / \ell$$

Изгибающий момент в сечении  $x$  (в среднем сечении калибра)

$$M_{\text{изг}}^{\delta} = P x / \ell (\ell - x).$$

Напряжение изгиба в данном калибре

$$\sigma_{\text{изг}}^{\delta} = M_{\text{изг}}^{\delta} / W_{\delta}$$

где  $W_{\delta} = 0,1D$

$\delta$  момент сопротивления поперечного сечения бочки валка на изгиб, мм

$D_{\delta}$  – диаметр валка в сечении, проходящем по середине ручья, мм.

Таким образом ход расчета бочки ручьевого валка таков:

- 1 определяются изгибающие моменты в середине каждого калибра;
- 2 строятся эпюры изгибающих моментов;
- 3 определяются моменты сопротивления сечений каждого калибра;
- 4 подсчитываются изгибающие моменты для каждого калибра.

Шейка валка рассчитывается на изгиб и кручение.

Изгибающий момент для левой шейки

**Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме**  
**Основная литература:**

1. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для вузов. Издание 2-е переработанное и дополненное / В.К. Смирнов, В.А.

Шилов, Ю.В. Инатович. М.:Теплотехник, 2010.

2. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки.-М.: Металлургия, 1980.

3. Вусатовский З. Основы теории проткатки. - М.: Металлургия, 1972.

4. Тарновский И.Я. и др. Энергосиловые параметры прокатки цветных металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1975.

5. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник,- М.: Металлургия, 1986.

6. Суяров Д.И., Гилевич Ф.С. Расчет оптимальных режимов при горячей прокатке широких полос на реверсивных станах. - Красноярск, 1971.

7. Теория прокатки: Справочник/А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И.

Зюзин и др. - М.: Металлургия, 1982.

8. Гилевич Ф.С., Сидельников С.Б. Теория и технология прокатки. Задачи, алгоритмы, программы, решения: Учеб. пособие / ГАЦМиЗ.- Красноярск, 1996.

9. Прокатное производство. Учебник для вузов. 3-е изд / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, Д.А. Хоролев, Ю.М. Матвеев М.:Металлургия, 1982.

10. Гилевич, Ф.С. Прокатное производство: Метод, указания по выполнению лабораторных работ для студентов спец. 110600 «Обработка металлов давлением» / Сост. Ф.С. Гилевич; ГАЦМиЗ:

### **Интернет-ресурсы:**

1 [http://www.edu.ru/index.php?page\\_id=6](http://www.edu.ru/index.php?page_id=6) Федеральный портал Российское образование.

2 <http://www.edu.ru/> "Российское образование" Федеральный портал

3 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования  
<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"

#### **Практическое занятие № 4. Расчет листового вала. Особенность схемы приложения.**

Бочка вала рассчитывается на изгиб (опасное сечение 1 – 1), а шейка – на изгиб и кручение (опасное сечение сеч. II – II).

Изгибающий момент:

$$M_{изг.δ} = P \cdot [ (\ell_{δ} + \ell_{ш}) - v/4 ] / 4$$

где  $v$  – ширина листа,

$P$  – полное давление металла на валки,

$$b_{изг.δ} = M_{изг.δ} / 0.1 D_{δ}^3$$

Шейка рассчитывается аналогично ручьевого вала, т.е.

$$M_{изг.ш} = P \cdot \ell_{ш} / 2;$$

$$b_{изг.ш} = M_{изг.ш} / 0.1 d_{ш}^3$$

$$M_{кр.ш} = M_{деф.} + P \cdot f_{ш} \cdot d_{ш} / 2;$$

$$τ_{кр.ш} = M_{кр.ш} / 0.2 d_{ш}^3$$

Результирующие напряжения для шейки определяются также, как и для ручьевого вала.

При расчете величин напряжений следует иметь в виду, что валки в процессе работы подвергаются переточкам. Допускаемая величина переточки:

для блюмингов 10 – 12% (от диаметра нового вала);

для сортовых станов 8 – 10%;

для средне- и толстолистовых 5 - 7%;

для тонколистовых и станов холодной прокатки 3 – 6%.

**Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме**

#### **Основная литература:**

1. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для вузов. Издание 2-е переработанное и дополненное / В.К. Смирнов, В.А.

Шилов, Ю.В. Инатович. М.:Теплотехник, 2010.

2. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки.-М.: Металлургия, 1980.

3. Вусатовский З. Основы теории проткатки. - М.: Металлургия, 1972.

4. Тарновский И.Я. и др. Энергосиловые параметры прокатки цветных металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1975.

5. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник,- М.: Металлургия, 1986.

6. Суяров Д.И., Гилевич Ф.С. Расчет оптимальных режимов при горячей прокатке широких полос на реверсивных станах. - Красноярск, 1971.

7. Теория прокатки: Справочник/А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И.

Зюзин и др. - М.: Металлургия, 1982.

8. Гилевич Ф.С., Сидельников С.Б. Теория и технология прокатки. Задачи, алгоритмы, программы, решения: Учеб. пособие / ГАЦМиЗ.- Красноярск, 1996.

9. Прокатное производство. Учебник для вузов. 3-е изд / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, Д.А. Хоролев, Ю.М. Матвеев М.:Металлургия, 1982.

10. Гилевич, Ф.С. Прокатное производство: Метод, указания по выполнению лабораторных работ для студентов спец. 110600 «Обработка металлов давлением» / Сост. Ф.С. Гилевич; ГАЦМиЗ:

#### **Интернет-ресурсы:**

1 [http://www.edu.ru/index.php?page\\_id=6](http://www.edu.ru/index.php?page_id=6) Федеральный портал Российское образование.

2 <http://www.edu.ru/> "Российское образование" Федеральный портал

3 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования  
<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"

**Практическое занятие № 5.** Расчет приводных концов валков. Применение основных формул.

Приводные концы рабочих валков могут быть выполнены либо в виде плоской лопасти или в виде трефа. В первом случае расчет их выполняется как и для лопасти шпинделя (см. соответствующий расчет).

Треф валка рассчитывается на кручение. Максимальное напряжение кручения возникает на дне впадин трефа и при  $d_1 = 0,66 d_t$  равно  $\tau_{кр.} = M_{кр.} / 0,07 d_t^3$

где  $d_t$  – наружный диаметр трефа;

$d_1$  – диаметр вписанной окружности по впадинам трефа.

Допускаемые напряжения: для стали  $[\tau] = 80 - 100$  МПа;

для чугуна  $[\tau] = 70 - 80$  МПа.

**Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме**

**Основная литература:**

1. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для вузов. Издание 2-е переработанное и дополненное / В.К. Смирнов, В.А.

Шилов, Ю.В. Инатович. М.:Теплотехник, 2010.

2. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки.-М.: Металлургия, 1980.

3. Вусатовский З. Основы теории проткатки. - М.: Металлургия, 1972.

4. Тарновский И.Я. и др. Энергосиловые параметры прокатки цветных металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1975.

5. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник,- М.: Металлургия, 1986.

6. Суяров Д.И., Гилевич Ф.С. Расчет оптимальных режимов при горячей прокатке широких полос на реверсивных станах. - Красноярск, 1971.

7. Теория прокатки: Справочник/А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И.

Зюзин и др. - М.: Металлургия, 1982.

8. Гилевич Ф.С., Сидельников С.Б. Теория и технология прокатки. Задачи, алгоритмы, программы, решения: Учеб. пособие / ГАЦМиЗ.- Красноярск, 1996.

9. Прокатное производство. Учебник для вузов. 3-е изд / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, Д.А. Хоролев, Ю.М. Матвеев М.:Металлургия, 1982.

10. Гилевич, Ф.С. Прокатное производство: Метод, указания по выполнению лабораторных работ для студентов спец. 110600 «Обработка металлов давлением» / Сост. Ф.С. Гилевич; ГАЦМиЗ:

**Интернет-ресурсы:**

- 1 [http://www.edu.ru/index.php?page\\_id=6](http://www.edu.ru/index.php?page_id=6) Федеральный портал Российское образование.
- 2 <http://www.edu.ru/> "Российское образование" Федеральный портал
- 3 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования  
<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"

**Практическое занятие № 6.** Особенности расчета валков у станов кварто. Изучение схемы привода и расчет усилия на валки.

Рабочие и опорные валки станов кварто выполняют различные функции.

Приводные рабочие валки рассчитываются только на напряжения кручения, а неприводные опорные валки рассчитываются на напряжения изгиба.

Применение опорных валков практически полностью разгружает рабочие валки от действия изгибающих моментов. Распределение напряжений изгиба между опорными и рабочими валками во многом зависит от профилировки валков и реального профиля валков в процессе прокатки.

Обычно верхний рабочий валок имеет выпуклость, а остальные валки изготавливаются цилиндрическими.

Расчеты показывают, что при этом примерно до 97,5% всей нагрузки воспринимается опорным валком, который и рассчитывается на изгиб.

**Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме**  
**Основная литература:**

1. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для вузов. Издание 2-е переработанное и дополненное / В.К. Смирнов, В.А.

Шилов, Ю.В. Инатович. М.:Теплотехник, 2010.

2. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки.-М.: Металлургия, 1980.

3. Вусатовский З. Основы теории проткатки. - М.: Металлургия, 1972.

4. Тарновский И.Я. и др. Энергосиловые параметры прокатки цветных металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1975.

5. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник,- М.: Металлургия, 1986.

6. Суяров Д.И., Гилевич Ф.С. Расчет оптимальных режимов при горячей прокатке широких полос на реверсивных станах. - Красноярск, 1971.

7. Теория прокатки: Справочник/А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И.

Зюзин и др. - М.: Металлургия, 1982.

8. Гилевич Ф.С., Сидельников С.Б. Теория и технология прокатки. Задачи, алгоритмы, программы, решения: Учеб. пособие / ГАЦМиЗ.- Красноярск, 1996.
9. Прокатное производство. Учебник для вузов. 3-е изд / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, Д.А. Хоролев, Ю.М. Матвеев М.:Металлургия, 1982.
10. Гилевич, Ф.С. Прокатное производство: Метод, указания по выполнению лабораторных работ для студентов спец. 110600 «Обработка металлов давлением» / Сост. Ф.С. Гилевич; ГАЦМиЗ:

**Интернет-ресурсы:**

- 1 [http://www.edu.ru/index.php?page\\_id=6](http://www.edu.ru/index.php?page_id=6) Федеральный портал Российское образование.
- 2 <http://www.edu.ru/> "Российское образование" Федеральный портал
- 3 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования  
<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"

## Практическое занятие № 7. Расчеты валков на усталостную прочность.

Ознакомиться с влиянием переменного напряжения.

Практикой установлено, что многократное приложение нагрузки может вызвать разрушение элементов оборудования при напряжениях, значительно меньших, чем в случае их однократного нагружения.

Напряжение, при котором разрушается оборудование, может быть меньше предела прочности и предела текучести, а иногда и предела упругости.

Способность металла выдерживать переменные напряжения называется усталостной прочностью.

Расчеты на статическую прочность валков ведутся по наибольшей кратковременной нагрузке, а на усталостную прочность по наибольшей длительно действующей нагрузке, повторяемость которой за время службы валков не менее  $10^3$  циклов.

Изменение напряжения в любом сечении валка характеризуется циклом, который определяется следующими величинами:

- наибольшее напряжение цикла (с учетом алгебраического знака)  $\sigma_{\max}$  и  $\tau_{\max}$  ;
- наименьшее напряжение цикла  $\sigma_{\min}$  и  $\tau_{\min}$ ;
- среднее напряжение цикла  $\sigma_{\text{ш}} = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2$  и  $\tau_{\text{ш}} = (\tau_{\max} + \tau_{\min}) / 2$ ;
- амплитуда цикла  $\sigma_{\alpha} = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2$  и  $\tau_{\alpha} = (\tau_{\max} - \tau_{\min}) / 2$ ;
- коэффициент асимметрии  $r = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$  или  $r = \tau_{\min} / \tau_{\max}$

При симметричном цикле  $r = -1$ ;  $\sigma_{\text{ср.}} = 0$ ;  $\sigma_{\alpha} = \sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$ .

а) Общий случай асимметричного цикла ( $\sigma_{\min} < 0$ );

б) симметричный цикл;

в) пульсирующий цикл;

г) асимметричный цикл ( $\sigma > 0$ ).

Исходными данными при расчетах на усталостную прочность служат значения пределов прочности  $\sigma_{\text{в}}$ , предела текучести  $\sigma_{\text{т}}$ , предела усталости при изгибе  $\sigma_{-1}$  и кручении  $\tau_{-1}$

(для симметричного цикла)  $\sigma_{-1} = (0,45 \div 0,55) \cdot \sigma_{\text{в}}$  ;

$\tau_{-1} = 0,6 \cdot \sigma_{-1}$

Допускаемые напряжения при учете усталостной прочности

принимают высокими, исходя из запаса прочности  $n = 1,1 \div 1,4$

Запас прочности рассчитывают по формулам [5]

а) для бочки валков на изгиб  $n = \beta \cdot \varepsilon$

$\sigma_{\text{д}} = \sigma_{-1} / \beta$ ;

б) для шейки опорного валка, работающего только на изгиб

$n = \beta \cdot \varepsilon_{\sigma} \cdot \sigma_{-1} / k_{\sigma} \cdot \sigma$

где  $\beta$  – коэффициент качества поверхности;

$\varepsilon_{\sigma}$  – коэффициент влияния абсолютных размеров;  
 $\bar{\sigma}$  – максимальное напряжение изгиба,  $\bar{\sigma} = M_{\max} / W$ ;

$k_{\sigma}$  – коэффициент концентрации напряжений;

в) в приводном конце вала запас прочности

$$n = \beta \cdot \varepsilon_{\tau} \cdot \tau^{-1} / k_{\tau} \cdot \tau$$

Опорные валки станов кварто работают длительное время без перешлифовок (до 15 – 30 суток). Для деталей машин, подвергающихся в процессе длительной эксплуатации многократным переменным нагрузкам, величина допустимой нагрузки недостаточна для характеристики прочностных свойств. Поэтому необходимо воспользоваться экспериментальными данными приведенных в [5, с. 190 – 220].

Расчеты опорных валков на усталостную прочность показывают, что наиболее опасным сечением, является граница между бочкой и шейкой валка (сеч. II-II рисунок 2.8). Для этого сечения и производится определение допускаемого напряжения по условиям усталостной прочности.

Для валков прокатных станов, напряжения изгиба в которых меняются по симметричному циклу, допускаемое напряжение определяется по формуле

$$[\bar{\sigma}]_{\text{доп}} = \bar{\sigma}_{-1} \cdot \varepsilon_{\sigma} \cdot \beta / k_{\sigma} \cdot n$$

где  $k_{\sigma}$  – коэффициент концентрации напряжений при изгибе;

$n$  – принятый коэффициент запаса прочности.

Принимаем  $\bar{\sigma}_{-1} = 0,45 \cdot \bar{\sigma}_b$

Коэффициент запаса прочности для стальных валков рекомендуется принимать равным:  $n = 1,1 \div 1,4$

Допускаемое напряжение из условий усталостной прочности при изгибе (при  $n = 1,3$ ):

Максимально допустимое давление металла на валки по условиям усталостной прочности

$$P_{\text{доп}}^{\text{уст}} = 0,2 \cdot d_{\text{ш}}^3 \cdot [\bar{\sigma}]_{\text{доп}} / v$$

**Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме**

### **Основная литература:**

1. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для вузов. Издание 2-е переработанное и дополненное / В.К. Смирнов, В.А.

Шилов, Ю.В. Инатович. М.:Теплотехник, 2010.

2. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки.-М.: Металлургия, 1980.

3. Вусатовский З. Основы теории прокатки. - М.: Металлургия, 1972.
4. Тарновский И.Я. и др. Энергосиловые параметры прокатки цветных металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1975.
5. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник,- М.: Металлургия, 1986.
6. Суяров Д.И., Гилевич Ф.С. Расчет оптимальных режимов при горячей прокатке широких полос на реверсивных станах. - Красноярск, 1971.
7. Теория прокатки: Справочник/А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин и др. - М.: Металлургия, 1982.
8. Гилевич Ф.С., Сидельников С.Б. Теория и технология прокатки. Задачи, алгоритмы, программы, решения: Учеб. пособие / ГАЦМиЗ.- Красноярск, 1996.
9. Прокатное производство. Учебник для вузов. 3-е изд / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, Д.А. Хоролев, Ю.М. Матвеев М.:Металлургия, 1982.
10. Гилевич, Ф.С. Прокатное производство: Метод, указания по выполнению лабораторных работ для студентов спец. 110600 «Обработка металлов давлением» / Сост. Ф.С. Гилевич; ГАЦМиЗ:

#### **Интернет-ресурсы:**

- 1 [http://www.edu.ru/index.php?page\\_id=6](http://www.edu.ru/index.php?page_id=6) Федеральный портал Российское образование.
- 2 <http://www.edu.ru/> "Российское образование" Федеральный портал
- 3 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования  
<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"

**Практическое занятие № 8.** Расчет упругой деформации валков. Изменение формы полосы.

Прогиб рабочих и опорных валков оказывает влияние главным образом на форму поперечного сечения полосы и практически не влияет на величину упругой деформации клетки.

Сближение центров валков происходит в результате упругого сплющивания рабочих и опорных валков, под действием большого погонного давления

На основе теории Герца величина сближения центров двух цилиндров из одинакового материала определяется формулой:

$$\delta' = 1,3 \cdot P / E \cdot \ell \cdot \sqrt{35,5 \cdot E \cdot \ell / (1/R_p - 1/R_D) \cdot P}$$

где  $E$  – модуль упругости;  $P$  – давление металла на валки;  $\ell$  - длина бочки валков;

$R_D$  и  $R_p$  – радиусы опорного и рабочего валков.

Контактное сжатие происходит в двух парах валков, в связи, с чем суммарная деформация валков равна

$$\delta_1 = 2\delta'$$

## Список литературы, рекомендуемый к использованию по данным темам

### Основная литература:

1. Колтыгин А.В. Литейное производство [Электронный ресурс]: основы ресурсо- и энергосбережения в литейном производстве. Учебное пособие/ Колтыгин А.В., Орехова А.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский Дом МИСиС, 2010.— 77 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/56557.html>.— ЭБС «IPRbooks»
2. Марукович Е.И. Литейные сплавы и технологии [Электронный ресурс]/ Марукович Е.И., Карпенко М.И.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Белорусская наука, 2012.— 443 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/29469.html>.— ЭБС «IPRbooks»
3. Солнцев, Ю. П. Материаловедение : учебник для студ. сред. спец. учеб. зав. / Ю. П. Солнцев, С. А. Вологжанина. - 3-е изд., стер. - Москва : Академия, 2013. - 492 с. : ил., табл. -(Среднее профессиональное образование. Технологические машины и оборудование)

### Дополнительная литература:

1. Материаловедение : учебник / [Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин и др.]. - 8-е изд., стер. - М. : МГТУ, 2008. - 648 с. : ил. - Библиогр.: с. 630-631. - Предм. указ.: с. 632-637. - ISBN 978-5-7038-1860-2
2. Журавлева, Л. В. Электроматериаловедение : учебник / Л. В. Журавлева. - 3-е изд., стер. - М. : АCADEMIA, 2004. - 312 с. - (Профессиональное образование). - Библиогр.: с. 309. - ISBN 5-7695-1548-1
3. Назаров, Г. И. Конструкционные материалы : справочник / Г. И. Назаров В. В. Сушкин Л. В. Дмитриевская? - М.: Машиностроение, 1973. - 192 с.
4. Сорокин, В. К. Основы материаловедения и конструкционные материалы : учеб. пособие / В. К. Сорокин ; Нижегород. гос. техн. ун-т. - Нижний Новгород : НижГТУ, 2006. - 224, [1] с. : ил., табл. - Библиога: с. 225. - ISBN 5-93272-393-9
5. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для вузов. Издание 2-е переработанное и дополненное / В.К. Смирнов, В.А.
6. Шилов, Ю.В. Инатович. М.:Теплотехник, 2010.
7. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки.- М.: Металлургия, 1980.
8. Вусатовский З. Основы теории проткатки. - М.: Металлургия, 1972.
9. Тарновский И.Я. и др. Энергосиловые параметры прокатки цветных металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1975.
10. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник,- М.: Металлургия, 1986.
11. Суяров Д.И., Гилевич Ф.С. Расчет оптимальных режимов при горячей прокатке широких полос на реверсивных станах. - Красноярск, 1971.
12. Теория прокатки: Справочник/А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И.
13. Зюзин и др. - М.: Металлургия, 1982.

14. Гилевич Ф.С., Сидельников С.Б. Теория и технология прокатки. Задачи, алгоритмы, программы, решения: Учеб. пособие / ГАЦМиЗ.- Красноярск, 1996.
15. Прокатное производство. Учебник для вузов. 3-е изд / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, Д.А. Хоролев, Ю.М. Матвеев М.:Металлургия, 1982.
16. Гилевич, Ф.С. Прокатное производство: Метод, указания по выполнению лабораторных работ для студентов спец. 110600 «Обработка металлов давлением» / Сост. Ф.С. Гилевич; ГАЦМиЗ:

Интернет-ресурсы:

- 1 [http://www.edu.ru/index.php?page\\_id=6](http://www.edu.ru/index.php?page_id=6) Федеральный портал Российское образование.
- 2 <http://www.edu.ru/> "Российское образование" Федеральный портал
- 3 <http://www.edu.ru/db/portal/sites/school-page.htm>- ресурсы портала для общего образования  
<http://www.school.edu.ru/default.asp>- "Российский общеобразовательный портал"

## ***МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ***

по выполнению практических работ  
по дисциплине «Технология и оборудование литейно-прокатного  
производства»  
для студентов очной/заочной формы обучения  
направления подготовки  
15.03.02 Технологические машины и оборудование

*Составители*

*Отв. редактор*

Редактор Л.Д. Бородастова

---

Подписано в печать

Формат 60 × 84 1/16

Уч.-изд. л. 0,4 п.л.

Усл. печ. л. 0,5 п.л.

Тираж 50 экз.

---

Северо-Кавказский федеральный университет

Невинномысский технологический институт (филиал)

357108, г. Невинномысск, ул. Гагарина, 1

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Невинномысский технологический институт (филиал)

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
по выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «Технология и оборудование литейно-прокатного производства»  
для студентов очной/заочной формы обучения направления подготовки  
15.03.02 Технологические машины и оборудование

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВО и рабочей программы дисциплины «Технология и оборудование литейно-прокатного производства». Указания предназначены для студентов очной формы обучения, направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование

*Составители*

*Отв. редактор*

## Содержание

<b>Введение</b>	4
<b>Лабораторная работа № 1 Уравнение постоянства объема и коэффициенты деформации при прокатке</b>	5
<b>Лабораторная работа № 2 Условие захвата металла валками и определение коэффициента трения</b>	7
<b>Лабораторная работа № 3 Уширение при прокатке</b>	11
<b>Лабораторная работа № 4 Опережение при прокатке</b>	14
<b>Лабораторная работа № 5 Исследование силовых условий при прокатке в валках с гладкой бочкой</b>	17

## **Введение**

Прокатка — самый массовый способ обработки металлов давлением. Количество выпускаемого металлургическими заводами прокатанного металла служит одним из важнейших показателей уровня развития металлопромышленности в стране. «Технология прокатки» изучает законы прокатки, которые дают ключ к управлению металлопромышленности в стране.

Дисциплина «Технология и оборудование литейно-прокатного производства» относится к дисциплине вариативной части. Она направлена на формирование общекультурных, профессиональных и общепрофессиональных компетенций обучающихся в процессе выполнения работ, определенных ФГОС ВО.

Методические указания составлены на современном научном уровне и рассчитаны на студентов, по направлению 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Последовательность лабораторных работ соответствует логической структуре ее прохождения. Предлагаемые методические указания содержат материал, который рекомендуется использовать студентам при осуществлении лабораторных работ.

## Лабораторная работа № 1 Уравнение постоянства объема и коэффициенты деформации при прокатке

**Цель работы:** приобрести навыки определения выбора объема металла для обработки давлением.

### Теоретическая часть

Так как плотность металла при обработке давлением изменяется весьма незначительно, то принято считать, что объем металла до деформации равен объему металла после деформации, т.е.

$V_0 = h_0 \cdot b_0 \cdot l_0$  - объем до деформации;

$V_1 = h_1 \cdot b_1 \cdot l_1$  - объем после деформации, где  $h_0, b_0, l_0$  - соответственно, толщина, ширина и длина до прокатки;  $h_1, b_1, l_1$  - соответственно, толщина, ширина и длина после прокатки; отсюда

где  $F_0$  – площадь поперечного сечения до деформации;  $F_1$  – площадь поперечного сечения после деформации.

Разность  $h_0 - h_1 = \Delta h$  называется абсолютным обжатием, а разность  $b_1 - b_0 = \Delta b$  – абсолютным уширением.

Если исходная толщина полосы  $h_0$ , после первого прохода –  $h_1$ , а после  $n$  проходов –  $h_n$ , и поперечная деформация незначительна, т.е. уширением можно пренебречь, то вытяжки для отдельных пропусков равны

Знание коэффициентов деформации необходимо для дальнейшего изучения курса.

Между коэффициентами деформации имеется взаимосвязь, которая часто применяется в технических расчетах при распределении обжатия по проходам, т.е.

Расчет обжатий по проходам следует строить таким образом, чтобы при необходимости сохранения постоянства вытяжки абсолютное обжатие снижалось пропорционально уменьшению толщины полосы. Если же требуется снижение вытяжки от прохода к проходу, то уменьшение абсолютного обжатия должно производиться в большей мере. В противном случае можно ожидать разрушения металла.

С изменением размеров деформируемого тела связаны геометрические явления при прокатке.

Суть этого явления заключается в том, что благодаря обжатию, вытяжке и уширению происходит искажение контуров любых геометрических фигур на плоскостях деформируемого тела. Это явление используется в некоторых случаях прокатки: прокатка с «выверсткой», прокатка диска в диск и др.

При прокатке плоских слитков часто ширина их бывает недостаточной для того, чтобы получить лист требуемой ширины. В этих случаях приходится катать слитки с «выверсткой», т.е. проворачивать их в горизонтальной плоскости на  $90^\circ$ .

При прокатке с выверсткой нужно знать промежуточную толщину  $h_{пр}$ , при которой ширина  $b_0$  достигнет требуемой ширины. Из уравнения постоянства объема следует

### **Указания по технике безопасности**

1. Перед началом работы необходимо осмотреть и проверить стан: а) имеется ли смазка на шейках валков и в подшипниках всей передачи; б) исправно ли нажимное устройство; в) хорошо ли закреплены муфты на соединительных шпинделях; г) на месте ли ограждение; д) в порядке ли стол и проводковая аппаратура.
2. Валки и рабочее место у стана должны быть хорошо освещены.
3. Перед пуском стана следует предупредить всех работающих на стане.
4. При работе стана категорически запрещается производить установку и перестановку проводок, снимать или открывать ограждения.
5. Категорически запрещается вытирать или смазывать валки во время их вращения со стороны входа в них металла.
6. При прокатке коротких полос для задачи их в валки запрещается пользоваться напильником, ключом и другими металлическими предметами. Задачу нужно производить специальными деревянными брусками.
7. При прокатке длинных полос необходимо пользоваться проводками, установленными по ширине прокатываемой полосы, что предохраняет металл от сдвига в сторону. Если же проводки почему либо нельзя установить, необходимо внимательно следить за правильной перпендикулярной подачей полосы в валки. При задаче полосы необходимо держать ее за задний конец, а не за края. В противном случае при сдвиге полосы в сторону она может зажать пальцы или руку работающего.
8. Если при задаче полосы валки ее не захватывают, то необходимо приподнять верхний валок или заострить конец полосы. Категорически запрещается вталкивать металл с силой, навалившись всем телом.
9. Категорически запрещается: а) опираться на стан; б) отвлекаться разговорами и смотреть по сторонам; в) прокатывать посторонние предметы; г) допускать посторонних лиц к работе на стане; д) работать в распахнутой одежде; е) включать стан без разрешения преподавателя или лаборанта.

### **Порядок выполнения**

1. Проверка закона постоянства объема на образец из алюминия размером  $h_0b_0l_0$  наносят сетку. Перед прокаткой тщательно измеряют толщину, ширину и длину образца в точках 1, 2, 3. Затем образец строго перпендикулярно задают в валки, прокатывают за один проход в продольном и поперечном направлениях с произвольным обжатием и измеряют толщину и длину в тех же Точках. Результаты опытов заносят в табл. 1. Подсчитывают относительную погрешность закона постоянства объема.

2. Вычисление коэффициентов деформации из свинца или алюминия изготавливают образец размером  $h_0b_0l_0$  и прокатывают в пять проходов с обжатием за проход  $h = 1$  мм. После каждого прохода измеряют толщину  $h_i$ , ширину  $b_i$ , длину  $l_i$  и заносят в таблицу.

3. Геометрические явления при прокатке Из алюминиевого образца размером  $h_0b_0l_0$  требуется получить полосу толщиной  $h_k = 1$  мм и шириной  $B_k = 60$  мм.

Рассчитывают промежуточную толщину, при которой можно получить заданную ширину  $b_k = 60$  мм, находят конечную длину полосы  $l_k$  при толщине ее  $h_k = 1,0$  мм. Все данные заносят в таблицу.

### Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для вузов. Издание 2-е переработанное и дополненное / В.К. Смирнов, В.А.

Шилов, Ю.В. Инатович. М.:Теплотехник, 2010.

2. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки.-М.: Металлургия, 1980.

3. Вусатовский З. Основы теории проткатки. - М.: Металлургия, 1972.

4. Гарновский И.Я. и др. Энергосиловые параметры прокатки цветных металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1975.

5. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник,- М.: Металлургия, 1986.

6. Суяров Д.И., Гилевич Ф.С. Расчет оптимальных режимов при горячей прокатке широких полос на реверсивных станах. - Красноярск, 1971.

7. Теория прокатки: Справочник/А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И.

Зюзин и др. - М.: Металлургия, 1982.

8. Гилевич Ф.С., Сидельников С.Б. Теория и технология прокатки. Задачи, алгоритмы, программы, решения: Учеб. пособие / ГАЦМиЗ.- Красноярск, 1996.

9. Прокатное производство. Учебник для вузов. 3-е изд / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, Д.А. Хоролев, Ю.М. Матвеев М.:Металлургия, 1982.

10. Гилевич, Ф.С. Прокатное производство: Метод, указания по выполнению лабораторных работ для студентов спец. 110600 «Обработка металлов давлением» / Сост. Ф.С. Гилевич; ГАЦМиЗ:

## Лабораторная работа № 2 Условие захвата металла валками и определение коэффициента трения

### Теоретическая часть

Определяющим фактором процесса прокатки является коэффициент трения, влияющий на захватывающую способность валков, процесс прокатки, уширение и опережение, силовые условия и др.

Для экспериментального определения коэффициента трения используется несколько способов, простейшим из которых является способ максимального угла захвата.

При соприкосновении металла с валками на него действуют две силы  $N$ , нормально направленные к поверхности валков в точке соприкосновения металла с валками, и две силы трения  $T$ , направленные по касательной в точке соприкосновения (рис.3).

Сила  $N_x = N \cdot \sin$  стремится вытолкнуть металл из валков, а сила  $T_x = T \cdot \cos$  - втянуть металл в валки.

**Следовательно, захват металла валками можно улучшить тремя путями:**

- 1) увеличивая коэффициент трения;
- 2) уменьшая угол захвата;
- 3) прикладывая горизонтальную вталкивающую силу.

**При постоянном коэффициенте трения уменьшить угол захвата можно следующим образом:**

- 1) при заданном обжатии путем увеличения диаметра валков;
- 2) при заданном диаметре валков путем уменьшения обжатия;
- 3) при заданном обжатии и диаметре валков путем уменьшения исходной толщины заготовки.

Увеличивать коэффициент трения можно различными способами, некоторые из них используют на практике. Так, например, известно, что захват металла валками, при прочих равных условиях, лучше: на шероховатых валках, чем на гладких; на горячих, чем на холодных и т.д.

В случае установившегося процесса (когда вся зона деформации заполнится металлом) при рассмотрении условий равновесия следует учитывать не полный угол захвата (рис. 4), а лишь ту его часть (угол  $\alpha$ ), под которой располагается равнодействующая элементарных реактивных сил. Так как соответствующий угол в первом приближении можно принять  $\alpha = \beta/2$ , то условие равновесия характеризуется равенством  $N_x = T_x$ , или  $\mu = \tan \alpha = \tan(\beta/2)$ . Таким образом, установившийся процесс прокатки осуществим легче, чем его начальная стадия (естественный захват). Поскольку, однако, всякий случай прокатки должен начинаться со стадии "естественного захвата" слитка валками, то после заполнения зоны деформации металлом образуется избыток сил трения, и тогда величину обжатий можно увеличить.

Максимальный угол захвата при установившемся процессе определяют путем прокатки клиновых образцов.

### **Указания по технике безопасности**

1. Перед началом работы необходимо осмотреть и проверить стан: а) имеется ли смазка на шейках валков и в подшипниках всей передачи; б) исправно ли нажимное устройство; в) хорошо ли закреплены муфты на соединительных шпинделях; г) на месте ли ограждение; д) в порядке ли стол и проводковая аппаратура.
2. Валки и рабочее место у стана должны быть хорошо освещены.
3. Перед пуском стана следует предупредить всех работающих на стане.
4. При работе стана категорически запрещается производить установку и перестановку проводок, снимать или открывать ограждения.
5. Категорически запрещается вытирать или смазывать валки во время их вращения со стороны входа в них металла.
6. При прокатке коротких полос для задачи их в валки запрещается пользоваться напильником, ключом и другими металлическими предметами. Задачу нужно производить специальными деревянными брусками.
7. При прокатке длинных полос необходимо пользоваться проводками, установленными по ширине прокатываемой полосы, что предохраняет металл от сдвига в сторону. Если же проводки почему либо нельзя установить, необходимо внимательно следить за правильной перпендикулярной подачей полосы в валки. При задаче полосы необходимо держать ее за задний конец, а не за края. В противном случае при сдвиге полосы в сторону она может зажать пальцы или руку работающего.
8. Если при задаче полосы валки ее не захватывают, то необходимо приподнять верхний валок или заострить конец полосы. Категорически запрещается вталкивать металл с силой, навалившись всем телом.
9. Категорически запрещается: а) опираться на стан; б) отвлекаться разговорами и смотреть по сторонам; в) прокатывать посторонние предметы; г) допускать посторонних лиц к работе на стане; д) работать в распахнутой одежде; е) включать стан без разрешения преподавателя или лаборанта.

### **Порядок выполнения**

1. Определение максимального угла захвата и коэффициента трения в начале прокатки  
Для опыта берут два свинцовых и один алюминиевый образец размером 104070 мм. Одна из граней 1040 мм должна быть тщательно зашпательна под угольник. Свинцовый и алюминиевый образцы прокатывают на сухих, тщательно протертых ацетоном валках. Валки устанавливаются так, чтобы зазор между ними был примерно равен 2 мм. Образец кладут на стол при помощи деревянного бруска, слегка прижимают его обработанной (1040 мм) гранью к вращающимся валкам. Затем медленно поднимают верхний валок до тех пор, пока образец не захватится валками и прокатается.

2. Определение максимального угла захвата при установившемся процессе  
Устанавливают зазор между валками приблизительно 1-2 мм. Изготовленный из свинца клин прокатывают на сухих валках, пока не начнется буксование валков по металлу. После этого стан останавливают, поднимают верхний валок и извлекают недокатанный клин. Замерив толщину прокатанной части клина  $h_1$  и толщину в месте буксования  $h_{max}$ . Определяют максимальный угол захвата при установившемся процессе  $\alpha_{max}$  и сравнивают его с начальным углом захвата  $\alpha_{нач}$  по формуле. Все данные заносят в таблицу.

### Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для вузов. Издание 2-е переработанное и дополненное / В.К. Смирнов, В.А.

Шилов, Ю.В. Инатович. М.:Теплотехник, 2010.

2. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки.-М.: Металлургия, 1980.

3. Вусатовский З. Основы теории проткатки. - М.: Металлургия, 1972.

4. Тарновский И.Я. и др. Энергосиловые параметры прокатки цветных металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1975.

5. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник,- М.: Металлургия, 1986.

6. Суяров Д.И., Гилевич Ф.С. Расчет оптимальных режимов при горячей прокатке широких полос на реверсивных станах. - Красноярск, 1971.

7. Теория прокатки: Справочник/А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И.

Зюзин и др. - М.: Металлургия, 1982.

8. Гилевич Ф.С., Сидельников С.Б. Теория и технология прокатки. Задачи, алгоритмы, программы, решения: Учеб. пособие / ГАЦМиЗ.- Красноярск, 1996.

9. Прокатное производство. Учебник для вузов. 3-е изд / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, Д.А. Хоролев, Ю.М. Матвеев М.:Металлургия, 1982.

10. Гилевич, Ф.С. Прокатное производство: Метод, указания по выполнению лабораторных работ для студентов спец. 110600 «Обработка металлов давлением» / Сост. Ф.С. Гилевич; ГАЦМиЗ:

## Лабораторная работа № 3 Уширение при прокатке

### Теоретическая часть

При прокатке наряду с уменьшением толщины заготовки (обжатием) и увеличением длины (вытяжкой), происходит увеличение ширины заготовки (уширение). Под уширением  $b$  понимают разность между шириной заготовки после прокатки  $b_1$  и до прокатки  $b_0$ , т.е. Уширение сопутствует любому процессу прокатки, как в холодном, так и в горячем состоянии.

В большинстве случаев уширение представляет собой отрицательное явление: снижает общую вытяжку при прокатке, способствует утонению кромки. В результате неравномерной деформации в кромках возникают значительные растягивающие напряжения, которые могут вызвать трещинообразование.

Уширение при сортовой прокатке используют как средство лучшего заполнения калибра.

Умение рассчитать уширение требуется при горячей прокатке листовой, заготовки для уменьшения количества боковой обрезки, при расчете ширины слитка, а также для правильной установки эджерных валков.

**На величину уширения влияет большое количество факторов:**

- 1) величина обжатия;
- 2) толщина заготовки;
- 3) число пропусков;
- 4) температура прокатываемого металла;
- 5) коэффициент трения;
- 6) диаметр валков;
- 7) ширина полосы.

**Кроме того, уширение можно рассчитать по формуле Зибеля:**

$$\Delta b = 0,35 \varepsilon \sqrt{R \Delta h}.$$

Установлено, что уширение распределяется равномерно по ширине полосы. Однако, рассматривая процесс уширения при прокатке, нужно помнить о законе наименьшего сопротивления, а т. к. периферийные слои полосы встречают меньшее сопротивление своему перемещению в ширину, то они и уширяются больше, что и приводит к появлению растягивающих напряжений и образованию трещин на кромках.

### Указания по технике безопасности

1. Перед началом работы необходимо осмотреть и проверить стан: а) имеется ли смазка на шейках валков и в подшипниках всей передачи; б) исправно ли нажимное устройство; в)

хорошо ли закреплены муфты на соединительных шпинделях; г) на месте ли ограждение; д) в порядке ли стол и проводковая аппаратура.

2. Валки и рабочее место у стана должны быть хорошо освещены.

3. Перед пуском стана следует предупредить всех работающих на стане.

4. При работе стана категорически запрещается производить установку и перестановку проводок, снимать или открывать ограждения.

5. Категорически запрещается вытирать или смазывать валки во время их вращения со стороны входа в них металла.

6. При прокатке коротких полос для задачи их в валки запрещается пользоваться напильником, ключом и другими металлическими предметами. Задачу нужно производить специальными деревянными брусками.

7. При прокатке длинных полос необходимо пользоваться проводками, установленными по ширине прокатываемой полосы, что предохраняет металл от сдвига в сторону. Если же проводки почему либо нельзя установить, необходимо внимательно следить за правильной перпендикулярной подачей полосы в валки. При задаче полосы необходимо держать ее за задний конец, а не за края. В противном случае при сдвиге полосы в сторону она может зажать пальцы или руку работающего.

8. Если при задаче полосы валки ее не захватывают, то необходимо приподнять верхний валок или заострить конец полосы. Категорически запрещается вталкивать металл с силой, навалившись всем телом.

9. Категорически запрещается: а) опираться на стан; б) отвлекаться разговорами и смотреть по сторонам; в) прокатывать посторонние предметы; г) допускать посторонних лиц к работе на стане; д) работать в распахнутой одежде; е) включать стан без разрешения преподавателя или лаборанта.

### **Порядок выполнения**

1. Влияние обжатия на величину уширения. Алюминиевые отожженные образцы толщиной  $h_0 = 3,0; 3,5; 4,0; 5,0$  мм, шириной  $b_0 = 30$  мм, длиной  $l_0 = 60$  мм, прокатывают до толщины  $h_1 = 2,5$  мм на сухих (протертых ацетоном и мелом) валках. Для установки зазора между валками предварительно прокатывают черновой образец. До прокатки образец размечают и измеряют в трех точках ширину, длину между крайними рисками ( $l_0 = 50$  мм) и толщину.

2. После прокатки в этих же точках измеряют толщину  $h_1$ , длину между крайними рисками, ширину и берут среднее  $b_1$ , сравнивают ее с расчетной шириной по формулам (20) и (21). Все данные заносят в табл. 6 и строят графики на миллиметровке в координатах  $b_1 - h$  для рассчитанного и измеренного значения  $b_1$ .

3. Влияние ширины полосы на уширение. Алюминиевые образцы шириной 5, 10, 20, 50 мм; длиной 60 мм и толщиной 5 мм прокатывают с одинаковым обжатием за проход  $h = 2$  мм.

Тщательно измеряют толщину и ширину образцов до и после прокатки. Во избежание искажения результатов образцы следует задавать в валки строго перпендикулярно. Определяют расчетную ширину образца. Все результаты измерений заносят в таблицу и на миллиметровой бумаге строят график зависимости уширения  $b$  от отношения  $b_0/h_0$ .

### Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

1. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для вузов. Издание 2-е переработанное и дополненное / В.К. Смирнов, В.А.

Шилов, Ю.В. Инатович. М.:Теплотехник, 2010.

2. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки.-М.: Металлургия, 1980.

3. Вусатовский З. Основы теории проткатки. - М.: Металлургия, 1972.

4. Гарновский И.Я. и др. Энергосиловые параметры прокатки цветных металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1975.

5. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник,- М.: Металлургия, 1986.

6. Суяров Д.И., Гилевич Ф.С. Расчет оптимальных режимов при горячей прокатке широких полос на реверсивных станах. - Красноярск, 1971.

7. Теория прокатки: Справочник/А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И.

Зюзин и др. - М.: Металлургия, 1982.

8. Гилевич Ф.С., Сидельников С.Б. Теория и технология прокатки. Задачи, алгоритмы, программы, решения: Учеб. пособие / ГАЦМиЗ.- Красноярск, 1996.

9. Прокатное производство. Учебник для вузов. 3-е изд / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, Д.А. Хоролев, Ю.М. Матвеев М.:Металлургия, 1982.

10. Гилевич, Ф.С. Прокатное производство: Метод, указания по выполнению лабораторных работ для студентов спец. 110600 «Обработка металлов давлением» / Сост. Ф.С. Гилевич; ГАЦМиЗ:

## Лабораторная работа № 4 Опережение при прокатке

В процессе прокатки в зоне деформации происходит скольжение металла по валкам таким образом, что скорость металла на выходе из валков больше окружной скорости валков, а на входе металла в валки - меньше.

Такое явление называется опережением и отставанием. Зона деформации состоит из зоны опережения и зоны отставания. Эти две зоны разделяются нейтральным сечением, положение которого характеризуется нейтральным углом.

Опережение является скоростным параметром процесса прокатки и в значительной степени определяет характер распределения и величину давления прокатки, и играет особенно большую роль при прокатке в многоклетевых непрерывных станах.

Обозначим скорость входа металла в валки  $V_0$ , скорость выхода металла из валков –  $V_1$ , а окружную скорость валков -  $V$ . В нейтральном сечении скорость металла и скорость валков одинаковы. Если известно положение нейтрального сечения (т.е. угол), опережение может быть найдено по формуле Дрездена.

Угол можно определить по формуле И.М. Павлова.

### Указания по технике безопасности

1. Перед началом работы необходимо осмотреть и проверить стан: а) имеется ли смазка на шейках валков и в подшипниках всей передачи; б) исправно ли нажимное устройство; в) хорошо ли закреплены муфты на соединительных шпинделях; г) на месте ли ограждение; д) в порядке ли стол и проводковая аппаратура.
2. Валки и рабочее место у стана должны быть хорошо освещены.
3. Перед пуском стана следует предупредить всех работающих на стане.
4. При работе стана категорически запрещается производить установку и перестановку проводов, снимать или открывать ограждения.
5. Категорически запрещается вытирать или смазывать валки во время их вращения со стороны входа в них металла.
6. При прокатке коротких полос для задачи их в валки запрещается пользоваться напильником, ключом и другими металлическими предметами. Задачу нужно производить специальными деревянными брусками.
7. При прокатке длинных полос необходимо пользоваться проводками, установленными по ширине прокатываемой полосы, что предохраняет металл от сдвига в сторону. Если же проводки почему либо нельзя установить, необходимо внимательно следить за правильной перпендикулярной подачей полосы в валки. При задаче полосы необходимо держать ее за задний конец, а не за края. В противном случае при сдвиге полосы в сторону она может зажать пальцы или руку работающего.

8. Если при задаче полосы валки ее не захватывают, то необходимо приподнять верхний валок или заострить конец полосы. Категорически запрещается вталкивать металл с силой, навалившись всем телом.

9. Категорически запрещается: а) опираться на стан; б) отвлекаться разговорами и смотреть по сторонам; в) прокатывать посторонние предметы; г) допускать посторонних лиц к работе на стане; д) работать в распахнутой одежде; е) включать стан без разрешения преподавателя или лаборанта.

### **Порядок выполнения**

1. Влияние коэффициента трения и толщины полосы на опережение Две алюминиевые полосы размером 340500 мм прокатывают в пять проходов с постоянным обжатием  $h = 0,5-0,7$  мм: одну в сухих валках, другую со смазкой машинным маслом. При прокатке по секундомеру измеряют время одного оборота валка.

Отмечают расстояние между отпечатками на полосе  $l_1$ , толщину полосы до и после прокатки.

Длину окружности валка определяют по формуле  $D, V = t$  По этим данным находят опережение и сравнивают эти величины, а также находят входную и выходную скорость металла по формулам. Коэффициент трения при холодной прокатке алюминия со смазкой машинным маслом равен  $= 0,08-0,09$ , без смазки  $= 0,2-0,25$ , а угол захвата определяют по формуле

2. Влияние величины обжатия на опережение Четыре алюминиевых образца толщиной  $h_0 = 2,0; 2,5; 2,0; 3,5$  мм, шириной  $b_0 = 30$  мм и длиной  $l_0 = 500$  мм прокатывают за один проход до толщины  $h_1 = 1,7$  мм на сухих обезжиренных валках на стане с диаметром валков  $D_v = 150$  мм. После прокатки тщательно измеряют толщину полосы и расстояние между отпечатками. По формуле (31) рассчитывают длину окружности валка.

Находят опережение и скорость входа и выхода полосы из валков, коэффициент опережения.

Все данные заносят в таблицу.

3. Влияние диаметра валков на опережение Две алюминиевые полосы размером 3,040500 мм прокатывают с одинаковым обжатием  $h_1 = 1,0$  мм: одну на валках  $D_v = 150$  мм, другую на валках  $D_v = 320$  мм. Измеряют толщину полосы до и после прокатки, расстояние между отпечатками на полосе, рассчитывают опережение и его коэффициент.

### **Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме**

1. Смирнов, В.К. Калибровка прокатных валков: Учебное пособие для вузов. Издание 2-е переработанное и дополненное / В.К. Смирнов, В.А.

Шилов, Ю.В. Инатович. М.:Теплотехник, 2010.

2. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки.-М.: Металлургия, 1980.

3. Вусатовский 3. Основы теории проткатки. - М.: Металлургия, 1972.

4. Гарновский И.Я. и др. Энергосиловые параметры прокатки цветных металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1975.
5. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник,- М.: Металлургия, 1986.
6. Суяров Д.И., Гилевич Ф.С. Расчет оптимальных режимов при горячей прокатке широких полос на реверсивных станах. - Красноярск, 1971.
7. Теория прокатки: Справочник/А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин и др. - М.: Металлургия, 1982.
8. Гилевич Ф.С., Сидельников С.Б. Теория и технология прокатки. Задачи, алгоритмы, программы, решения: Учеб. пособие / ГАЦМиЗ.- Красноярск, 1996.
9. Прокатное производство. Учебник для вузов. 3-е изд / П.И. Полухин, Н.М. Федосов, Д.А. Хоролев, Ю.М. Матвеев М.:Металлургия, 1982.
10. Гилевич, Ф.С. Прокатное производство: Метод, указания по выполнению лабораторных работ для студентов спец. 110600 «Обработка металлов давлением» / Сост. Ф.С. Гилевич; ГАЦМиЗ:

## **Лабораторная работа № 5 Исследование силовых условий при прокатке в валках с гладкой бочкой**

Силы, возникающие при прокатке, воспринимаются прокатными валками и через подшипники, нажимное устройство, передаются на станины рабочей клетки.

Рассчитывая режим обжатий при прокатке или конструируя новый стан, нужно знать: какие силы будут действовать со стороны металла на валки и другие детали стана, чтобы полностью использовать энергосиловые параметры без риска аварий и поломок. Определяем силу при прокатке.

Для определения среднего давления прокатки  $p$  существует большое количество формул. Статистический анализ вычислений, выполненный по многим формулам, показал, что на давление прокатки основное влияние оказывают два фактора:

- 1) коэффициент трения, причем в качестве условия трения принимается либо закон Зибеля (горячая прокатка), либо закон Амонтона-Кулона (холодная прокатка);
- 2) геометрический фактор формы зоны деформации .

**Для определения давления при холодной прокатке наибольшее распространение получили формулы А.И. Целикова и формула Стоуна**

Таким образом, давление при холодной прокатке определяется методом последовательных приближений, т.е. сначала находят давление без учета упругого сплющивания валков, используя формулу (35), а затем, подставляя это значение в формулу (36), рассчитывают длину зоны деформации с учетом упругого сплющивания, которое подставляют в формулы (38) или (40) находят параметры  $x$ , учитывающие трение, а затем по формулам (37) или (39) находят давление прокатки с учетом упругой деформации валков. Кроме того, на давление прокатки оказывает влияние исходная толщина заготовки. По мере уменьшения толщины полосы увеличивается отношение контактной поверхности к деформируемому объему и давление прокатки меняется по гиперболическому закону.

### **Указания по технике безопасности**

1. Перед началом работы необходимо осмотреть и проверить стан: а) имеется ли смазка на шейках валков и в подшипниках всей передачи; б) исправно ли нажимное устройство; в) хорошо ли закреплены муфты на соединительных шпинделях; г) на месте ли ограждение; д) в порядке ли стол и проводковая аппаратура.
2. Валки и рабочее место у стана должны быть хорошо освещены.
3. Перед пуском стана следует предупредить всех работающих на стане.
4. При работе стана категорически запрещается производить установку и перестановку проводов, снимать или открывать ограждения.
5. Категорически запрещается вытирать или смазывать валки во время их вращения со стороны входа в них металла.

6. При прокатке коротких полос для задачи их в валки запрещается пользоваться напильником, ключом и другими металлическими предметами. Задачу нужно производить специальными деревянными брусками.

7. При прокатке длинных полос необходимо пользоваться проводками, установленными по ширине прокатываемой полосы, что предохраняет металл от сдвига в сторону. Если же проводки почему либо нельзя установить, необходимо внимательно следить за правильной перпендикулярной подачей полосы в валки. При задаче полосы необходимо держать ее за задний конец, а не за края. В противном случае при сдвиге полосы в сторону она может зажать пальцы или руку работающего.

8. Если при задаче полосы валки ее не захватывают, то необходимо приподнять верхний валок или заострить конец полосы. Категорически запрещается вталкивать металл с силой, навалившись всем телом.

9. Категорически запрещается: а) опираться на стан; б) отвлекаться разговорами и смотреть по сторонам; в) прокатывать посторонние предметы; г) допускать посторонних лиц к работе на стане; д) работать в распахнутой одежде; е) включать стан без разрешения преподавателя или лаборанта.

### **Порядок выполнения**

1. Влияние обжатия и коэффициента трения на давление прокатки  
Алюминиевые отожженные образцы толщиной 3,5; 3,2; 3,0; 2,8; 2,5 мм, шириной 50 мм и длиной 100 мм по два каждого размера прокатывают за один проход на толщину 2,0 мм. Один размер образцов прокатывают со смазкой валков машинным маслом, другой (не меняя раствора) - на сухих валках, натертых мелом.

В процессе прокатки измеряют силы на каждом нажимном винту при помощи месдоз и определяют суммарную силу.

Зная суммарную силу  $P_n$  и площадь контакта  $F$ , рассчитывают среднее опытное давление

Определяют расчетное давление прокатки.

## Основная литература

1. Колтыгин А.В. Литейное производство [Электронный ресурс]: основы ресурсо- и энергосбережения в литейном производстве. Учебное пособие/ Колтыгин А.В., Орехова А.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский Дом МИСиС, 2010.— 77 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/56557.html>.— ЭБС «IPRbooks»
2. Марукович Е.И. Литейные сплавы и технологии [Электронный ресурс]/ Марукович Е.И., Карпенко М.И.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Белорусская наука, 2012.— 443 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/29469.html>.— ЭБС «IPRbooks»
3. Солнцев, Ю. П. Материаловедение : учебник для студ. сред. спец. учеб. зав. / Ю. П. Солнцев, С. А. Вологжанина. - 3-е изд., стер. - Москва : Академия, 2013. - 492 с. : ил., табл. -(Среднее профессиональное образование. Технологические машины и оборудование)

## Дополнительная литература

1. Материаловедение : учебник / [Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин и др.]. - 8-е изд., стер. - М. : МГТУ, 2008. - 648 с. : ил. - Библиогр.: с. 630-631. - Предм. указ.: с. 632-637. - ISBN 978-5-7038-1860-2
2. Журавлева, Л. В. Электроматериаловедение : учебник / Л. В. Журавлева. - 3-е изд., стер. - М. : ACADEMIA, 2004. - 312 с. - (Профессиональное образование). - Библиогр.: с. 309. - ISBN 5-7695-1548-1

*МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ*

по выполнению лабораторных работ по дисциплине « Технология и оборудование  
литейно-прокатного производства»  
для студентов очной/заочной формы обучения  
направления подготовки  
15.03.02 Технологические машины и оборудование

*Составители*

*Отв. редактор*

Редактор Л.Д. Бородастова

---

Подписано в печать 10.04.2016 г.

Формат 60 × 84 1/16

Уч.-изд. л. 0,4 п.л.

Усл. печ. л. 0,5 п.л.

Тираж 50 экз.

---

Северо-Кавказский федеральный университет

Невинномысский технологический институт (филиал)

357108, г. Невинномысск, ул. Гагарина, 1

---