

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Сибирский федеральный университет

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов  
специальности 150106 «Обработка металлов давлением»

Красноярск  
СФУ  
2011

УДК 621.771.02(07)  
ББК 34.748Я73  
Ф 20

Составители: Катрюк В.П., Рудницкий Э.А.

Ф 20 Технология прокатного производства: Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 150106 «Обработка металлов давлением» [Текст] / сост. В.П. Катрюк, Э.А. Рудницкий. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. – 39 с.

Изложена методика проведения лабораторных работ по курсу "Прокатное производство". Даны основные теоретические сведения, показана методика выполнения работ, даны справочные данные и порядок оформления.

УДК 621.771.02(07)  
ББК 34.748Я73  
© Сибирский  
федеральный  
университет, 2011

## **Введение**

Для закрепления теоретического курса "Прокатное производство" программой и учебными планами предусмотрено выполнение лабораторных работ, которые включают элементы исследований, кроме того, преследуют цель научить студентов работе на прокатном оборудовании, пользованию измерительным инструментом, изучить законы пластической деформации и течение металла при прокатке в валках с гладкой бочкой.

Лабораторные работы проводятся с использованием современного прокатного оборудования Mario Di Maio (Италия): прокатный стан дуо ARIETE LS 400, универсальный прокатный стан AMBIFILO VELOCE ROSEN 130.

По каждой работе в методических указаниях изложены общие сведения о теории данной работы, методике ее проведения и оформления. Таким образом, изучив методические указания студент может самостоятельно выполнять ту или иную работу под наблюдением преподавателя и лаборанта.

В процессе выполнения работы студенты записывают все необходимые данные, снимают показания приборов. После выполнения работы каждый студент, делает необходимые расчеты и оформляет отчет, который включает: цель работы; краткое описание и методику проведения с указанием оборудования, приборов; необходимые расчеты, таблицы, графики; выводы. Отчет выполняется в соответствии с СТО 4.2-07-2010.

Отчет должен быть защищен перед преподавателем, ведущим лабораторные работы.

## **Помните!**

Приступать к выполнению лабораторных работ можно только изучив правила техники безопасности, расписавшись в журнале, получив разрешение у преподавателя.

### **Правила техники безопасности при работе на прокатном стане**

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.

## Лабораторная работа № 1

### УРАВНЕНИЕ ПОСТОЯНСТВА ОБЪЕМА И КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОКАТКЕ

#### Общие сведения

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.

$$V_0 = V_1. \quad (1)$$

$V_0 = h_0 \cdot b_0 \cdot l_0$  - 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

$$h_0 \cdot b_0 \cdot l_0 = h_1 \cdot b_1 \cdot l_1,$$

$$\frac{h_1 \cdot b_1 \cdot l_1}{h_0 \cdot b_0 \cdot l_0} = 1 \quad (2)$$

Отношение  $\frac{h_1}{h_0} = \eta$  - называется коэффициентом обжатия,  $\frac{b_1}{b_0} = \beta$  - коэффициентом уширения,  $\frac{l_1}{l_0} = \lambda$  - коэффициентом вытяжки.

$$\eta \cdot \beta \cdot \lambda = 1 \text{ или } \ln \eta + \ln \beta + \ln \lambda = 0, \quad (3)$$

отсюда

$$\lambda = \frac{1}{\eta \cdot \beta}, \quad (4)$$

или

$$\lambda = \frac{h_0 \cdot b_0}{h_1 \cdot b_1} = \frac{F_0}{F_1}, \quad (5)$$

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

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

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

$$\lambda_1 = \frac{h_0}{h_1}; \lambda_2 = \frac{h_1}{h_2}; \lambda_3 = \frac{h_2}{h_3}; \dots \lambda_n = \frac{h_{n-1}}{h_n}, \quad (6)$$

отсюда

$$h_0 = \lambda_1 \cdot h_1; h_1 = \lambda_2 \cdot h_2; h_2 = \lambda_3 \cdot h_3; \dots h_{n-1} = \lambda_n \cdot h_n. \quad (7)$$

Произведя соответствующую замену, получим:

$$h_0 = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \dots \lambda_n \cdot h_n.$$

Следовательно, суммарная вытяжка

$$\Lambda_n = \frac{\eta_0}{\eta_1} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \dots \lambda_n. \quad (8)$$

Средний коэффициент вытяжки

$$\bar{\lambda} = \sqrt[n]{\Lambda_n}. \quad (9)$$

Знание коэффициентов деформации необходимо для дальнейшего изучения курса.

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

$$\lambda = \frac{1}{1 - \varepsilon}, \quad \varepsilon = 1 - \frac{1}{\lambda}. \quad (10)$$

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 (рис.1) нужно знать промежуточную толщину  $h_{пр}$ , при которой ширина  $b_0$  достигнет требуемой ширины. Из уравнения постоянства объема следует

$$h_0 \cdot b_0 \cdot l_0 = h_{пр} \cdot b_{пр} \cdot l_{пр}.$$

Расчет ведем без учета уширения, тогда

$$l_0 = l_{пр}, \quad h_{пр} = \frac{h_0 \cdot b_0}{b_{пр}}. \quad (11)$$

Если известна промежуточная толщина  $h_{пр}$ , то длина после прокатки до требуемой толщины  $h_k$  будет

$$l_k = l_0 \frac{h_{пр}}{h_k}. \quad (12)$$

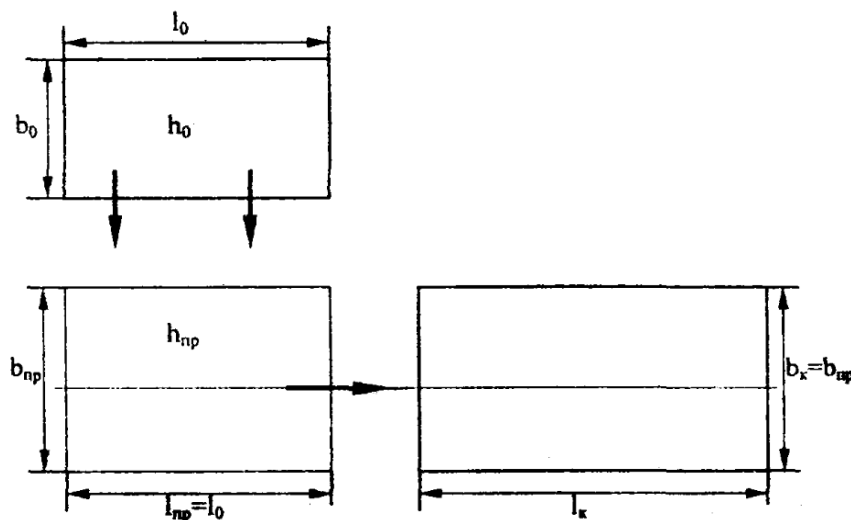


Рис. 1. Схема прокатки с выверсткой

## Методика проведения работы

### 1. Проверка закона постоянства объема

На образец из алюминия размером  $h_0 \times b_0 \times l_0$  наносят сетку (рис.2). 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 замеряют толщину и длину в тех же Точках. Результаты опытов заносят в табл. 1. Подсчитывают относительную погрешность закона постоянства объема по формуле

$$\Delta = \frac{h_0 \cdot b_0 \cdot l_0 - h_1 \cdot b_1 \cdot l_1}{h_0 \cdot b_0 \cdot l_0} \cdot 100\% . \quad (13)$$

Таблица 1

Замер	$h_0$ , мм	$b_0$ , мм	$l_0$ , мм	$h_1$ , мм	$b_1$ , мм	$l_1$ , мм
1						
2						
3						
Среднее						

### 2. Вычисление коэффициентов деформации

Из свинца или алюминия изготавливают образец размером  $h_0 \times b_0 \times l_0$  и прокатывают в пять проходов с обжатием за проход  $\Delta h = 1$  мм. После каждого прохода измеряют толщину  $h_i$ , ширину  $b_i$ , длину  $l_i$  и заносят в табл. 2.

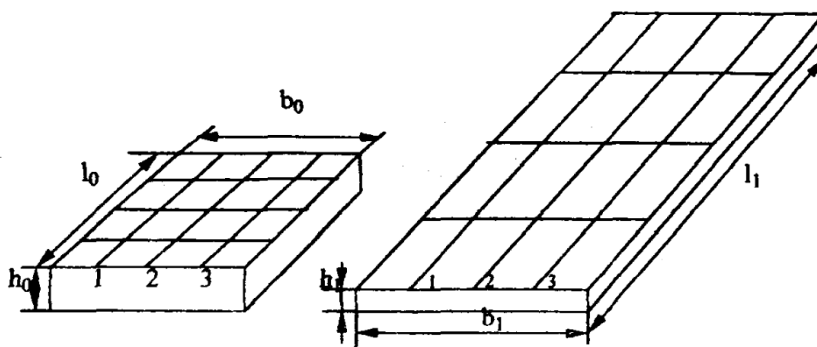


Рис.2. Образец для проверки закона постоянства объема

Затем определяют: а) площадь поперечного сечения  $F_0$ , мм<sup>2</sup>; б) абсолютное обжатие  $\Delta h_i$ , мм; вытяжку  $\lambda_i$ ; в) суммарную вытяжку  $\Lambda_i$ ; г) коэффициент обжатия  $\eta_i$ ; д) коэффициент уширения  $\beta_i$  - и строят графики зависимости  $\lambda_i$ ,  $\Lambda_i$  от проходов.



Таблица 2

№ прохода, $i$	$h_i$ , мм	$b_i$ , мм	$l_i$ , мм	$\Delta h_i$ , мм	$\eta$	$\beta$	$\varepsilon$ , %	$\Lambda$	Коэффициент вытяжки		
									по длине $\lambda_i=l_i/l_0$	по площади $\lambda_i=F_0/F_i$	по толщине $\lambda=h_0/h_1$
1											
2											
3											
4											
5											

### 3. Геометрические явления при прокатке

Из алюминиевого образца размером  $h_0 \times b_0 \times l_0$  требуется получить полосу толщиной  $h_k = 1$  мм и шириной  $B_k = 60$  мм.

По формуле (11) рассчитывают промежуточную толщину, при которой можно получить заданную ширину  $b_k = 60$  мм, по формуле (12) находят конечную длину полосы  $l_k$  при толщине ее  $h_k = 1,0$  мм. Все данные заносят в табл. 3.

Таблица 3

	$h_i$ , мм	$b_i$ , мм	$l_i$ , мм	$h_{np}$ , мм	$b_k$ , мм	$L_k$ , мм	$\Delta$ , %
Дано							
Получено расчетом							
Измерено фактически после прокатки							

### 4. Выводы по каждому разделу работы

## Лабораторная работа № 2

### УСЛОВИЕ ЗАХВАТА МЕТАЛЛА ВАЛКАМИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ

#### Общие сведения

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).

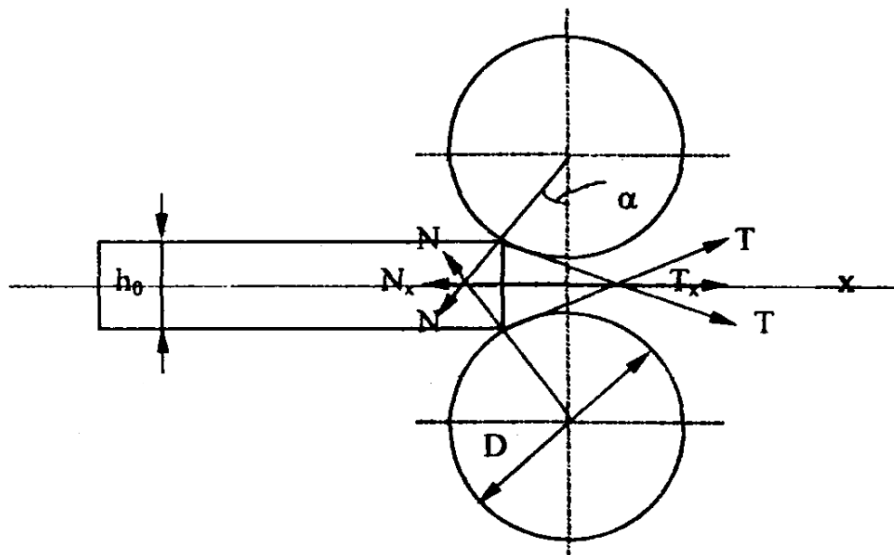


Рис.3. Равновесие сил при естественном захвате

Проектируя силы  $N$  и  $T$  на ось прокатки  $x$  и исходя из условия равновесия всех сил в зоне деформации, получим:

$$N_x = T_x. \quad (14)$$

Сила  $N_x = N \cdot \sin \alpha$  стремится вытолкнуть металл из валков, а сила  $T_x = T \cdot \cos \alpha$  - втянуть металл в валки. Очевидно, что захват металла валками произойдет, если

$$T \cdot \cos \alpha \geq N \cdot \sin \alpha,$$

а т.к.

$$T = N \cdot \mu,$$

то

$$\mu \cdot \cos\alpha \geq \sin\alpha$$

или

$$\operatorname{tg}\alpha \leq \mu \quad (15)$$

где  $\mu$  - коэффициент трения между металлом и валками.

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.

Между углом захвата  $\alpha$ , диаметром валков и обжатием существует зависимость

$$h_0 - h_1 = D(1 - \cos\alpha), \quad (16)$$

отсюда

$$\cos\alpha = 1 - \frac{\Delta h}{D}, \quad (17)$$

где  $D$  - диаметр валков.

В случае установившегося процесса (когда вся зона деформации заполнится металлом) при рассмотрении условий равновесия следует учитывать не полный угол захвата  $\alpha$  (рис. 4), а лишь ту его часть (угол  $\varphi$ ), под которой располагается равнодействующая элементарных реактивных сил. Так как соответствующий угол  $\varphi$  в первом приближении можно принять  $\varphi = \alpha/2$ , то условие равновесия характеризуется равенством  $\varphi = \beta$ , или  $\alpha = 2\beta$ . 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 вал-

ками, 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 (рис. 5).

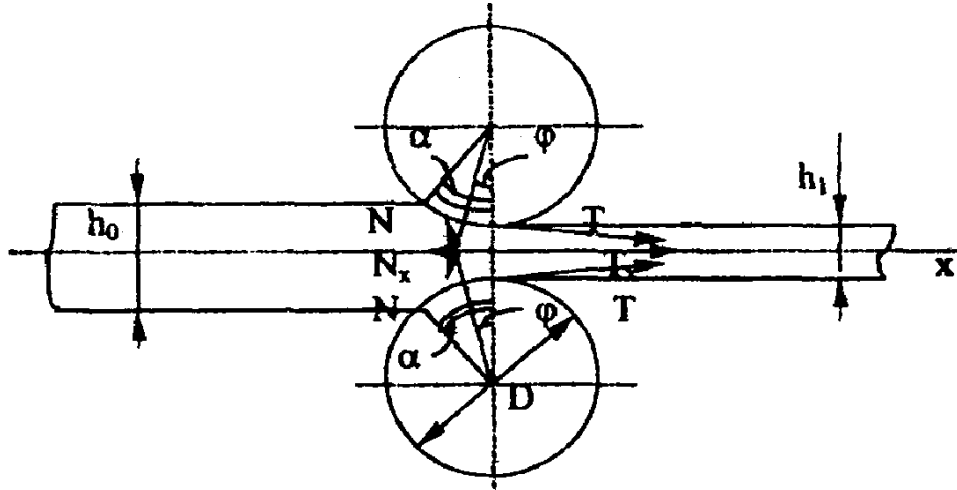


Рис. 4. Установившийся процесс прокатки

Между максимальным углом естественного захвата в начальный момент атак и максимальным углом при установившемся процессе  $\alpha'$  существует определенная зависимость:

$$\frac{\alpha'_{\max}}{\alpha_{\max}} = K. \quad (18)$$

Величина  $K$  больше единицы и характеризует увеличение обжатия после заполнения зоны деформации металлом. В технической литературе это явление называют «сверхобжатием».

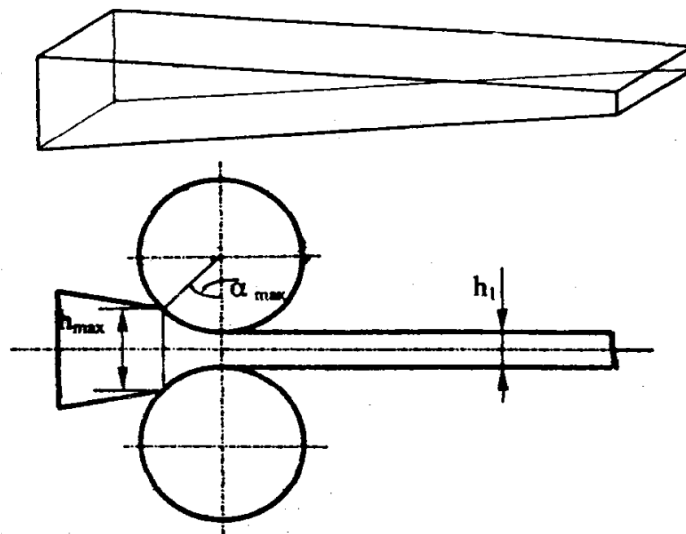


Рис. 5. Клин до и после прокатки

## Методика проведения работы

### 1. Определение максимального угла захвата и коэффициента трения в начале прокатки

Для опыта берут два свинцовых и один алюминиевый образец размером  $10 \times 40 \times 70$  мм (рис. 6). Одна из граней  $10 \times 40$  мм должна быть тщательно зашпательна под угольник. Свинцовый и алюминиевый образцы прокатывают на сухих, тщательно протертых ацетоном валках. Валки устанавливают так, чтобы зазор между ними был примерно равен 2 мм. Образец кладут на стол при помощи деревянного бруска, слегка прижимают его обработанной ( $10 \times 40$  мм) гранью к вращающимся валкам. Затем медленно поднимают верхний валок до тех пор, пока образец не захватится валками и прокатается.

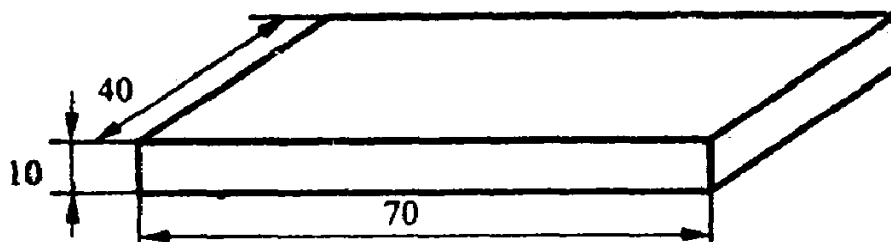


Рис. 6. Образец для определения максимального угла при естественном захвате

Валки смазывают маслом и, аналогично описанному, прокатывают второй свинцовый образец.

Измерив толщину образца (до и после прокатки) и диаметр валков, по формуле (17) определяют максимальный угол захвата в начальный момент  $\alpha_{\max}$ , а по формуле (15) - коэффициент трения  $\mu$ . Все данные заносят в табл. 4.

Таблица 4

Материал образца	Состояние поверхности валков	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$\cos \alpha$	$\alpha'_{\max}$	$\mu$
Свинец	Сухие						
Алюминий	Сухие						
Свинец	Смазанные						

### 2. Определение максимального угла захвата при установившемся процессе

Устанавливают зазор между валками приблизительно 1-2 мм. Изготовленный из свинца клин (рис.5) 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  $h_{\max}$  (рис. 5), по формуле (17) определяют максимальный угол захвата при установившемся процессе  $\alpha'_{\max}$  и сравнивают его с начальным углом захвата  $\alpha_{\max}$  по формуле (18).

Все данные заносят в табл. 5.

Таблица 5

Образец	$h_{\max}$ , мм	$h_1$ , мм	$\cos\alpha$	$\alpha'_{\max}$	$\alpha'_{\max} / \alpha_{\max} = K$
Клин					

## Лабораторная работа № 3

### УШИРЕНИЕ ПРИ ПРОКАТКЕ

#### Общие сведения

При прокатке наряду с уменьшением толщины заготовки (обжатием) и увеличением длины (вытяжкой), происходит увеличение ширины заготовки (уширение). Под уширением  $\Delta b$  понимают разность между шириной заготовки после прокатки  $b_1$  и до прокатки  $b_0$ , т.е.

$$\Delta b = b_1 - b_0. \quad (19)$$

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.

Для расчета уширения известно большое количество формул, из которых наиболее правильными считаются формулы, выведенные на основании отношения

$$\frac{\ln(b_1/b_0)}{\ln(h_1/h_0)}.$$

Одна из таких формул, полученная как следствие основных законов течения пластической среды, имеет вид

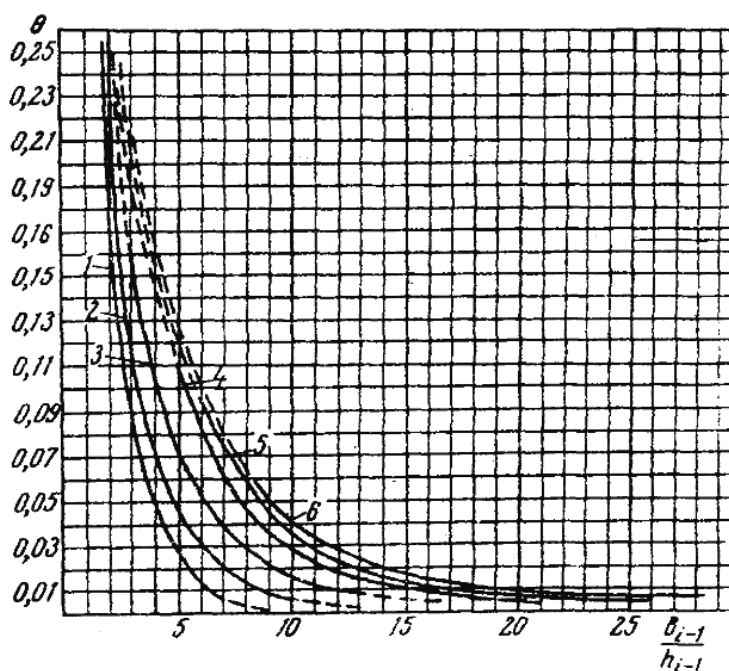
$$b_1 = b_0 \cdot \lambda^{\frac{\Theta}{1-\Theta}} \quad (20)$$

где  $\Theta$  - показатель уширения, который определяют по графику (рис.7).  
Функция  $\lambda^{\frac{\Theta}{1-\Theta}}$  представлена в виде номограммы (рис. 8).

Кроме того, уширение можно рассчитать по формуле Зибеля:

$$\Delta b = C \frac{\Delta h}{h_0} \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (21)$$

где  $C$  - коэффициент, учитывающий трение,  $C = 0,33$  для свинца.



- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| 1 - z = 0-1,0   | 4 - z = 2,1-2,5 |
| 2 - z = 1,1-1,5 | 5 - z = 2,6-3,0 |
| 3 - z = 1,6-2,0 | 6 - z = 3,1-3,5 |

Рис. 7. Графики для определения показателя уширения  $\Theta$

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.



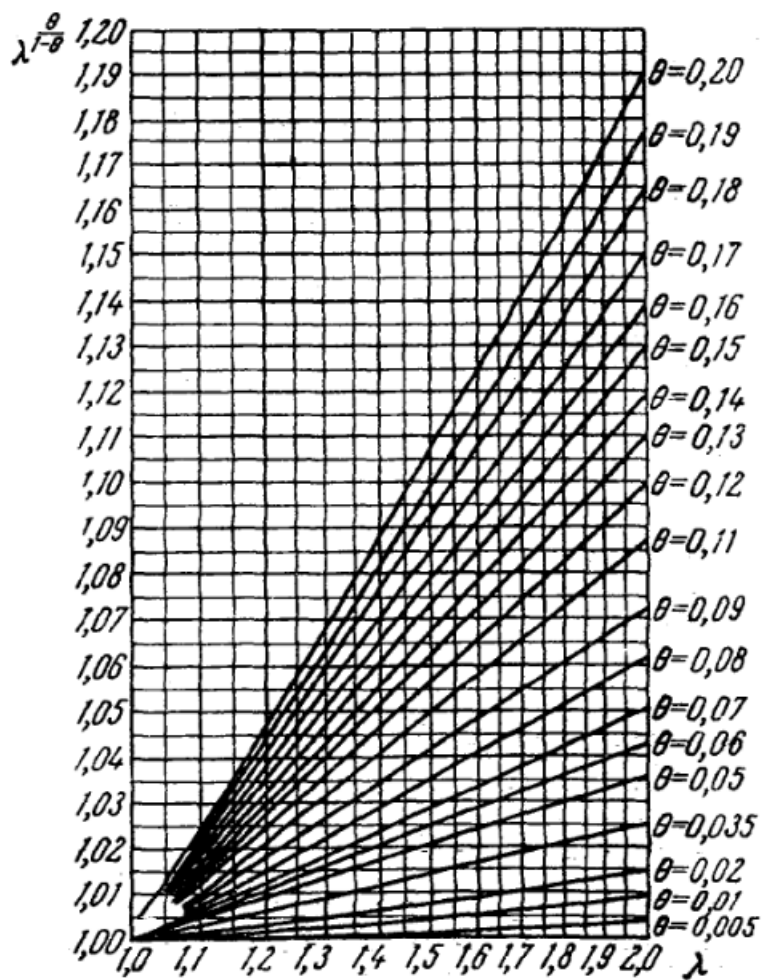


Рис. 8. Номограмма для определения функции  $\lambda^{1-\theta}$

### Методика проведения работы

#### 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 (рис.9) и измеряют в трех точках ширину, длину между крайними рисками ( $l_0 = 50$  мм) и толщину.

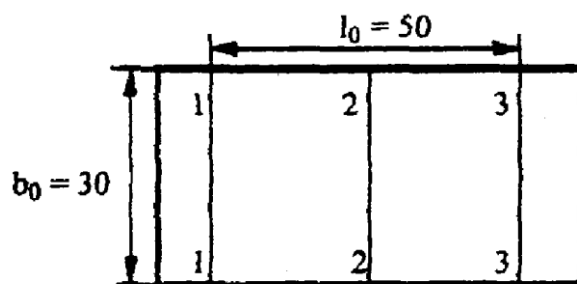


Рис. 9. Образец для определения уширения

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  $b_1 - \Delta h$  для рассчитанного и измеренного значения  $b_1$ .

Таблица 6

№ образца	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h_1$ , мм	$l_0$ , мм	$l_1$ , мм	$\lambda = l_1/l_0$	$b_0$ , мм	$b_1$ измеренная, мм	$b_1$ расчетная, мм	
									по формуле (20)	по формуле (21)

### 2. Влияние диаметра валков на уширение

Два алюминиевых образца размером  $5 \times 30 \times 60$  мм прокатывают с одинаковым обжатием  $\Delta h = 2$  мм: один на стане с диаметром валков  $D=160$  мм, другой на стане с  $D=320$  мм. Тщательно измеряют толщину и ширину образцов до и после прокатки. По формулам (19), (20) и (21) определяют экспериментальную и расчетную величина уширения. Все данные заносят в табл. 7.

Таблица 7

№ образца	$D_B$ , мм	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h_1$ , мм	$\epsilon$	$b_0$ , мм	$b_1$ измеренная, мм	$\Delta b$ , мм	$\lambda$	$b_1$ расчетная, мм	
										по формуле (20)	по формуле (21)

### 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  $\Delta h = 2$  мм. Тщательно измеряют толщину и ширину образцов до и после прокатки. Во избежание искажения результатов образцы следует задавать в валки строго перпендикулярно. По формулам (19), (20) и (21) определяют расчетную ширину образца. Все результаты измерений заносят в табл. 8 и на миллиметровой бумаге строят график зависимости уширения  $\Delta b$  от отношения  $b_0/h_0$ .

Таблица 8

$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$\lambda$	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$\Delta b$ , мм	$b_1$ расчетная, мм	
							по формуле (20)	по формуле (21)

Из алюминия или свинца изготавливают две одинаковые треугольные пластины толщиной  $h_0=5$  мм (рис. 10). Тщательно измеряют толщину и ширину пластин в каждой точке 1, 2, 3, 4, 5, 6. Затем пластины складывают и одновременно прокатывают с обжатием  $\Delta h=2$  мм. Тщательно измеряют толщину и ширину после прокатки в тех же точках. Исходя из закона постоянства объема и пренебрегая уширением, по формуле

$$l_1 = l_0 \cdot \lambda \quad (22)$$

находят теоретическую длину полосы и строят теоретический треугольник ABC. По замеренным данным строят действительный треугольник AFD.

Заштрихованная площадь характеризует уширения. Все данные заносят в табл. 9.

Таблица 9

Точка	$H_0$ , мм	$h_1$ , мм	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$\Delta b$ , мм	$\Delta h$ , мм	$b_1$ расчетная, мм	
							по формуле (20)	по формуле (20)

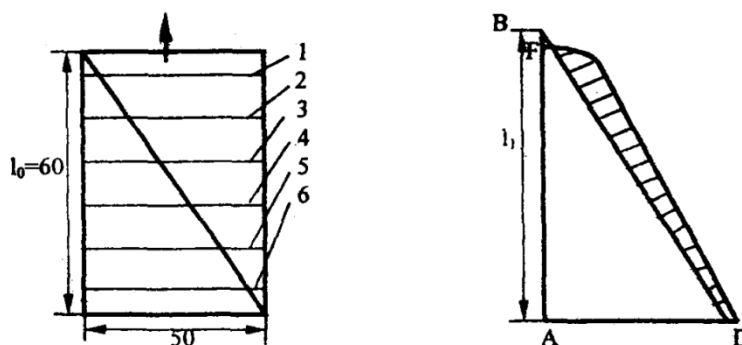


Рис. 10. Пластины для определения уширения в зависимости от ширины

#### 4. Влияние коэффициента трения на уширение

Два алюминиевых образца размером  $5 \times 30 \times 60$  мм прокатывают на стане с  $D_b = 160$  мм с одинаковым обжатием  $\Delta h=2$  мм: один на сухих (протертых ацетоном) валках, другой на смазанных машинным маслом. Тщательно измеряют толщину и ширину до и после прокатки. Проводят расчеты ширины по формулам (19) (20) и (21). Все данные заносят в табл. 10.

Таблица 10

Состояние валков	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$\lambda$	$b_0$ , мм	$b_1$ , мм	$\Delta b$ , мм	$b_1$ расчетная, мм	
								по формуле (20)	по формуле (20)
Со смазкой									
Без смазки									

## Лабораторная работа № 4

### ОПЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПРОКАТКЕ

#### Общие сведения

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 (рис. 11). Эти две зоны разделяются нейтральным сечением, положение которого характеризуется нейтральным углом  $\gamma$ .

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 -  $V$  (рис.11). В нейтральном сечении скорость металла и скорость валков одинаковы. Опережение выражается в процентах и может быть найдено по формуле

$$S = \frac{V_1 - V}{V} \cdot 100\% \quad (23)$$

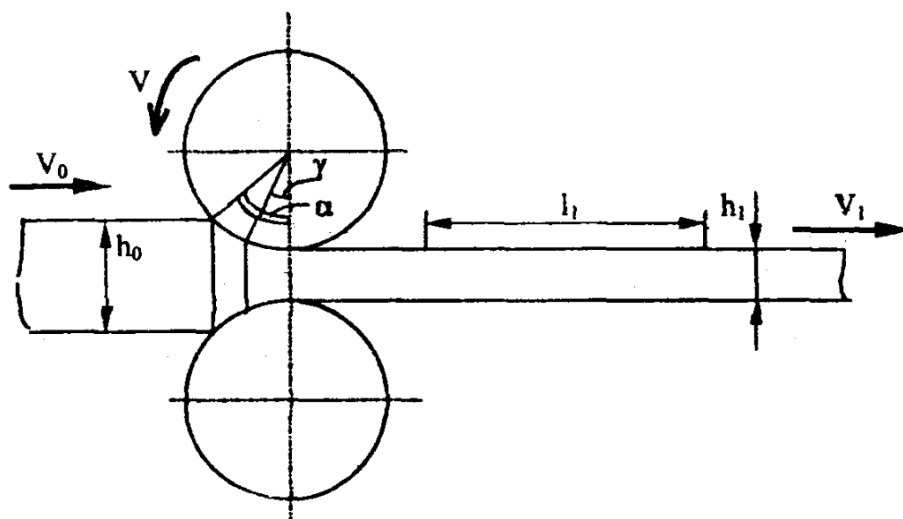


Рис.11. Определение опережения экспериментальным путем

Если известно положение нейтрального сечения (т.е. угол  $\gamma$ ), опережение может быть найдено по формуле Дрездена:

$$S = \frac{R}{h_1} \cdot \gamma^2, \quad (24)$$

где  $R$  - радиус валков, мм;  $h_1$  - толщина полосы после прокатки, мм;  $\gamma$  - нейтральный угол, рад.

Угол  $\gamma$  можно определить по формуле И.М. Павлова:

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left( 1 - \frac{\alpha}{2\beta} \right), \quad (25)$$

где  $\alpha$  - угол захвата, рад;  $\beta$  - угол трения, численно равный коэффициенту трения.

Нас часто интересует коэффициент опережения

$$\xi = 1 + S, \quad (26)$$

тогда входная скорость металла будет

$$V_0 = \frac{\xi}{\lambda} \cdot V, \quad (27)$$

где  $\frac{\xi}{\lambda}$  - отставание.

Выходная скорость

$$V_1 = \xi \cdot V, \quad (28)$$

где  $V$  - окружная скорость валков, равная

$$V = \frac{\pi D}{t}, \quad (29)$$

где  $t$  - время, необходимое для одного оборота валка;  $D$  - диаметр валка.

Опережение может быть найдено также опытным путем. На валок наносят керном метку при прокатке полосы, эта метка дает отпечаток (рис. 11). Так как расстояние между отпечатками на полосе больше длины окружности валка, то опережение будет

$$S = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%, \quad (30)$$

где  $l_1$  - расстояние между двумя метками на полосе;  $l_0$  - длина окружности валка.

На опережение влияют следующие факторы: коэффициент трения, толщина полосы, величина обжатия, диаметр валков и др.

### Методика проведения работы

#### 1. Влияние коэффициента трения и толщины полосы на опережение

Две алюминиевые полосы размером 3×40×500 мм прокатывают в пять проходов с постоянным обжатием  $\Delta h = 0,5-0,7$  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

$$V = \frac{\pi D}{t}, \quad (31)$$

По этим данным находят опережение по формулам (30) и (24) и сравнивают эти величины, а также находят входную и выходную скорость металла по формулам (27) и (28). Коэффициент трения при холодной прокатке алюминия со смазкой машинным маслом равен  $\mu = 0,08-0,09$ , без смазки -  $\mu = 0,2-0,25$ , а угол захвата  $\alpha$  определяют по формуле

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}, \quad (32)$$

Все данные заносят в табл. 11.

Таблица 11

Проход	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h_1$ , мм	Окружность валка $l_0$ , мм	Отпечаток на полосе $l_1$ , мм	$\alpha$ , рад	$\gamma$ , рад	$S$ опытное, %	$S$ расчетное, %	$V_0$ , м/с	$V_1$ , м/с
Прокатка в сухих валках											
1											
2											
3											
4											
5											
Прокатка в валках, смазанных машинным маслом											
1											
2											
3											
4											
5											

По данным табл. 11 строят график изменения опережения в зависимости от толщины полосы.

### 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.

По формулам (24), (26), (27), (28) и (30) находят опережение и скорость входа и выхода полосы из валков, коэффициент опережения.

Все данные заносят в табл. 12.

Таблица 12

$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h_1$ , мм	Длина окружности валка $l_0$ , мм	Расстояние между отпечатками на полосе $l_1$ , мм	$S$ опытное, %	$S$ расчетное, %	$\xi$	$V_0$ , м/с	$V_1$ , м/с

### 3. Влияние диаметра валков на опережение

Две алюминиевые полосы размером  $3,0 \times 40 \times 500$  мм прокатывают с одинаковым обжатием  $\Delta h_1 = 1,0$  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, по формулам (26), (24) и (30) рассчитывают опережение и его коэффициент.

Все данные заносят в табл. 13.

Таблица 13

$D_v$ , мм	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h_1$ , мм	Длина окружности валка $l_0$ , мм	Расстояние между отпечатками на полосе $l_1$ , мм	$S$ опытное, %	$S$ расчетное, %	$V_0$ , м/с	$V_1$ , м/с

## Лабораторная работа № 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ПРОКАТКЕ В ВАЛКАХ С ГЛАДКОЙ БОЧКОЙ

#### Общие сведения

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.

Сила при прокатке может быть определена по формуле:

$$P_n = \bar{p} \cdot F, \quad (33)$$

где  $\bar{p}$  - среднее давление прокатки;  $F$  - площадь контакта металла с валками.

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

1) коэффициент трения  $\mu$ , причем в качестве условия трения принимается либо закон Зибеля (горячая прокатка), либо закон Амонтона-Кулона (холодная прокатка);

2) геометрический фактор формы зоны деформации

$$z = \frac{l_\partial}{h} \quad (34)$$

где  $l_\partial$  - длина зоны деформации,  $\bar{h}$  - средняя толщина прокатываемой полосы

равная  $\bar{h} = \frac{h_0 + h_1}{2}$ .

$$\text{Для горячей прокатки: } l_\partial = \sqrt{R\Delta h}, \quad (35)$$

$$\text{при холодной прокатке: } l'_\partial = \sqrt{R\Delta h + m^2 \bar{p}^2 R^2 + m\bar{p}R}, \quad (36)$$

где  $R$  - радиус валков;  $\Delta h$  - абсолютное обжатие;  $m$  - параметр, учитывающий упругое сплющивание валков, с достаточной степенью точности можно принять равным  $m=1/9500$ ;  $\bar{p}$  - среднее давление прокатки без учета упругого сплющивания валков.



Для определения давления при холодной прокатке наибольшее распространение получили формулы А.И. Целикова (37) и формула Стоуна (39):

$$\bar{p} = \bar{K} \frac{2h_i}{\Delta h(\delta - 1)} \cdot \left( \frac{h_y}{h_1} \right) \left[ \left( \frac{h_y}{h_1} \right)^\delta - 1 \right], \quad (37)$$

где  $\bar{K}$  - среднее сопротивление деформации, равно

$$\bar{K} = 1,15 \cdot \bar{\sigma}_s$$

$$\bar{\sigma}_s = \frac{\sigma_{s0} + \sigma_{s1}}{2},$$

где  $\sigma_{s0}$ ,  $\sigma_{s1}$  - предел текучести металла до и после прокатки, который определяют по рис.14;  $\delta$  - параметр, учитывающий трение

$$\delta = \frac{2\mu l'_\partial}{\Delta h} \quad (38)$$

где  $\mu$  - коэффициент трения: при прокатке алюминия на сухих валках  $\mu=0,2-0,25$ ; на смазанных машинным маслом  $\mu=0,08-0,09$ ;  $l'_\partial$  - длина зоны деформации с учетом упругого сплющивания валков рассчитывается по формуле (36). Эта формула номографирована (рис.12).

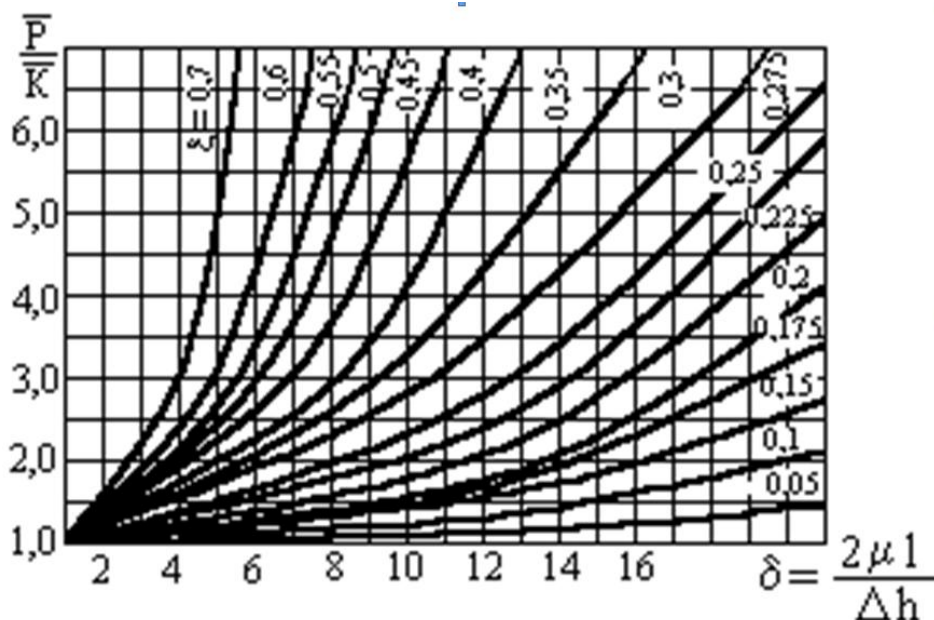


Рис.12. Зависимость среднего давления прокатки от величины деформации, коэффициента трения и размеров зоны деформации

## Формула Стоуна

$$\bar{p} = \bar{K} \frac{e^x - 1}{x}, \quad (39)$$

где  $e$  - основание натурального логарифма;  $\bar{K}$  - среднее сопротивление деформации.

$$x = \frac{2\mu l'_0}{h_0 + h_1} \quad (40)$$

Формула Стоуна также номографирована и табулирована [8].

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  $\delta$  и  $x$ , 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 (рис. 13).

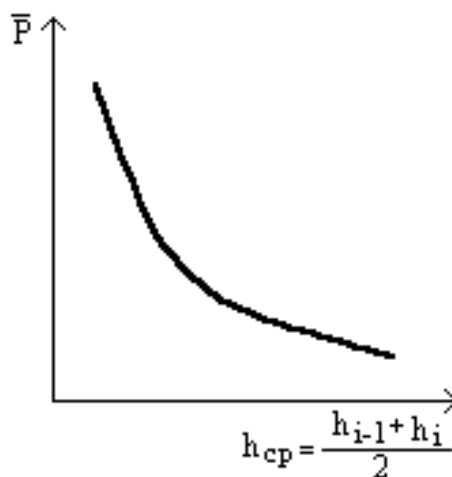


Рис.13. Зависимость давления прокатки от средней толщины прокатываемой полосы

## Методика проведения работы

### 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 мездоз и определяют суммарную силу по формуле

$$P_n = P_{n1} + P_{n2}, \quad (41)$$

где  $P_{n1}, P_{n2}$  - силы на каждом винту, МН.

Находят площадь контакта металла с валками по формуле

$$F = b \cdot l'_\sigma \quad (42)$$

где  $b$  - ширина полосы, мм;  $l'_\sigma$  - длина зоны деформации, определенная по формуле (36).

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

$$\bar{p}_{on} = \frac{P_n}{F}. \quad (43)$$

Определяют расчетное давление прокатки, используя номограмму (рис.12) и формулы (39), (43). Сопротивление деформации для алюминия устанавливают по графику (рис.14). Все данные заносят в табл.14.

По данным табл.1 строят графики  $\bar{p} = f(\Delta h)$ ;  $\bar{p} = f(\lambda)$ ;  $\bar{p} = f(h)$ .

Таблица 14

$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\lambda$	$\Delta h$ , мм	$b$ , мм	$\sigma_{s0}$ , МПа	$\sigma_{s1}$ , МПа	$\varepsilon$ , %	$K$ , МПа	$P_n$ , МН	$F$ , мм <sup>2</sup>	$\bar{p}$ опытное, МПа	$\bar{p}$ расчетное, МПа	
												По формуле (37)	По формуле (39)
Со смазкой													
Без смазки													

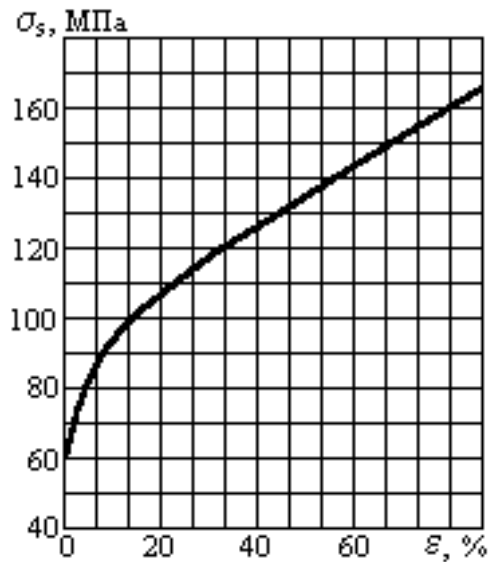


Рис.14. Зависимость предела текучести алюминия от величины относительной деформации

2. Влияние геометрического фактора формы зоны деформации на давление прокатки

Алюминиевый образец размером 4,0×50×150 мм прокатывают в пять проходов с одинаковым обжатием = 0,7 мм на сухих валках. После каждого прохода тщательно измеряют толщину полосы и силу прокатки на каждом нажимном винту. Определяют суммарную силу прокатки по формуле (41) и давление прокатки по формулам (37), (39), (43). По формуле (44) рассчитывают геометрический фактор формы зоны деформации

$$Z = \frac{l'_0}{h} = \frac{\sqrt{R\Delta h + m^2 \bar{p}^2 R^2} + m\bar{p}R}{h_0 \cdot h_1}, \quad (13/44)$$

Все данные заносятся в табл.15. По данным табл. 15 строят графики  $p_{оп}=f(z)$ ,  $p(37)=f(z)$ ,  $p(39)=f(z)$ .

Таблица 15

$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h_1$ , мм	$\varepsilon$ , %	$\lambda$	$\sigma_{s0}$ , МПа	$\sigma_{s1}$ , МПа	$K$ , МПа	$P_n$ , МН	$z$	Давление прокатки $p$ , МПа		
										Опытное по формуле (43)	По формуле (37)	По формуле (39)

## Лабораторная работа № 6

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПАДЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОКАТЫВАЕМОГО МЕТАЛЛА ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ

#### Общие сведения

Температура металла при горячей прокатке оказывает решающее влияние на сопротивление деформации, пластичность металла, его структуру и механические свойства. Следовательно, температура металла влияет на силу прокатки, а это в свою очередь влияет на величину обжатия. Поэтому, рассчитывая режим обжатия необходимо знать температуру металла в каждом проходе.

В процессе горячей прокатки температура металла изменяется вследствие теплоизлучения, конвективного теплообмена в окружающую среду, теплопроводностью (валкам, проводкам, роликам, рольгангов), а также в результате приобретения тепла в процессе пластической деформации.

При высоких температурах нагрева наибольшая потеря тепла происходит за счет теплоизлучения. Потери же тепла конвекцией и теплопроводностью деталям стана малы и считают, что они компенсируются повышением тепла за счет работы деформации.

Однако, при относительно низких температурах нагрева (алюминий, цинк, магний), это положение не верно, так как потери тепла теплоизлучением в этом случае уменьшаются, а теплопроводностью значительно увеличивается, значительно повышается температура за счет работы деформаций.

Расчет изменения температуры обычно ведут по тепловому балансу.

Потери тепла за счет теплоизлучения можно определить по формуле Стефана - Больцмана:

$$Q_m = \varepsilon \cdot S_i \left[ \left( \frac{T_{i-1}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{np}}{100} \right)^4 \right] \cdot \tau_i \quad (45)$$

где  $\varepsilon$  - постоянная теплоизлучения с учетом черноты поверхности полосы ( $\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{гр}^4$ );  $S_i$  - поверхность полосы, отдающая тепло теплоизлучением,  $\text{м}^2$ ;  $T_{i-1}$  - температура полосы перед началом рассматриваемого пропуска,  $^{\circ}\text{K}$ ;  $T_{np}$  - температура окружающего пространства,  $^{\circ}\text{K}$ ;  $\tau_i$  - время теплоизлучения, час.

Потерю тепла вследствие конвективного теплообмена можно определить по формуле:

$$Q_k = \alpha_y (T_{i-1} - T_{cp}) \cdot \tau_i \cdot S_i \quad (46)$$

где  $\alpha_y$  - усредненный коэффициент конвективной теплопередачи, ккал/м<sup>2</sup>·час·гр.;  $T_{cp}$  - температура окружающей среды, °K.

Потерю тепла вследствие теплопроводности в валки можно определить по формуле:

$$Q_s = \frac{2\beta}{3,6} f\left(\frac{v}{c\gamma} \cdot \frac{\beta^2}{v^2} \cdot \frac{\delta\tau}{3600}\right) (T_i - T_{cp}) \frac{l_i}{\omega R} \cdot \Delta S \cdot 10^{-9} \quad (47)$$

где  $\beta$  - коэффициент теплопередачи теплопроводностью, ккал/м<sup>2</sup>·час·гр.;  $f\left(\frac{v}{c\gamma} \cdot \frac{\beta^2}{v^2} \cdot \frac{\delta\tau}{3600}\right)$  - табулированная функция Иванцова;  $\omega_i$  - угловая скорость

валков, 1/сек;  $R$  - радиус валков, мм;  $\Delta S$  - площадь контакта металла с валками;  $T_{вл}$  - температура валков, °K;  $l_i$  - длина полосы после прохода.

Количество тепла, выделяющееся от работы пластической деформации можно определить по формуле:

$$Q_d = \frac{1,15\bar{K}_f \ln \lambda_i \cdot S_i \cdot h_i \cdot 10^{-5}}{4,27} \quad (48)$$

где  $1,15\bar{K}_f$  - среднее сопротивление деформации, кг/мм<sup>2</sup>;  $S_i \cdot h_i$  - объем прокатываемой заготовки, мм<sup>3</sup>;  $\lambda_i$  - коэффициент вытяжки.

Отвод тепла путем теплоизлучения, конвекции, теплопроводности и выделение тепла от работы деформации вызывают изменение теплосодержания заготовки равное

$$Q_{mc} = c\gamma(T_{i-1} - T_i) \cdot S_i \cdot h_i \cdot 10^{-9} \quad (49)$$

Составляя баланс тепла и приравнявая его к теплосодержанию полосы получим:

$$-Q_m - Q_k - Q_s + Q_d = Q_{mc} \quad (50)$$

Решая это уравнение относительно  $\Delta T_i = T_{i-1} - T_i$ , проведя некоторые преобразования и подставляя значение теплофизических свойств алюминия, получим следующую формулу для расчета падения температуры при прокатке

$$-\Delta T_i = F(T_{i-1}) \frac{2\tau}{h_i} + 56f(5,23\delta\tau)(T_{i-1} - T_p) \frac{\sqrt{R\Delta h}}{h_i \omega_i R} - 4,7\bar{K}_i \ln \lambda_i \quad (51)$$

где  $F(T_{i-1})$  - функция, которую определяют по графику (рис.15);  $f(5,23\delta\tau)$  - функция Иванцова определяется по табл. 16;  $\tau_i$  - время прохода, час;  $h_i$  -

толщина после прокатки, мм;  $\delta\tau = \frac{\sqrt{R\Delta h}}{\omega_i R}$  - время контакта металла с валками, час;  $T_p$  - средняя расчетная температура, °C ( $T_{cp}=40$  °C);  $T_{i-1}$  - температура металла перед прокаткой, °C;  $R$  - радиус валков, мм;  $\Delta h$  - абсолютное обжатие, мм;  $\omega$  - угловая скорость валков, 1/сек;  $\bar{K}_i$  - среднее сопротивление деформации кг/мм<sup>2</sup> (определяется по графику, рис.16);  $\lambda_i$  - коэффициент вытяжки.

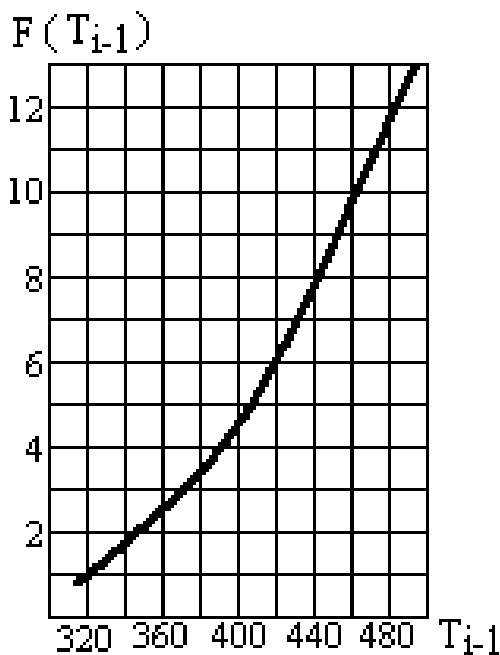


Рис. 15

Таблица 16

Значения функции Иванцова

5,23δτ	f(5,23δτ)	5,23δτ	f(5,23δτ)
0,0001	0,9925	0,60	0,620
0,0002	0,9895	0,70	0,602
0,0005	0,9834	0,80	0,584
0,0010	0,9767	0,90	0,569
0,0020	0,9673	1,00	0,556
0,0050	0,9492	1,20	0,532
0,0100	0,9295	1,40	0,514
0,0200	0,9027	1,60	0,495
0,0500	0,8538	1,80	0,480
0,1000	0,8035	2,00	0,466
0,1500	0,7690	2,50	0,437
0,2000	0,7440	3,00	0,414
0,3000	0,7000	4,00	0,378
0,4000	0,6680	5,00	0,285
0,5000	0,4300	16,00	0,228

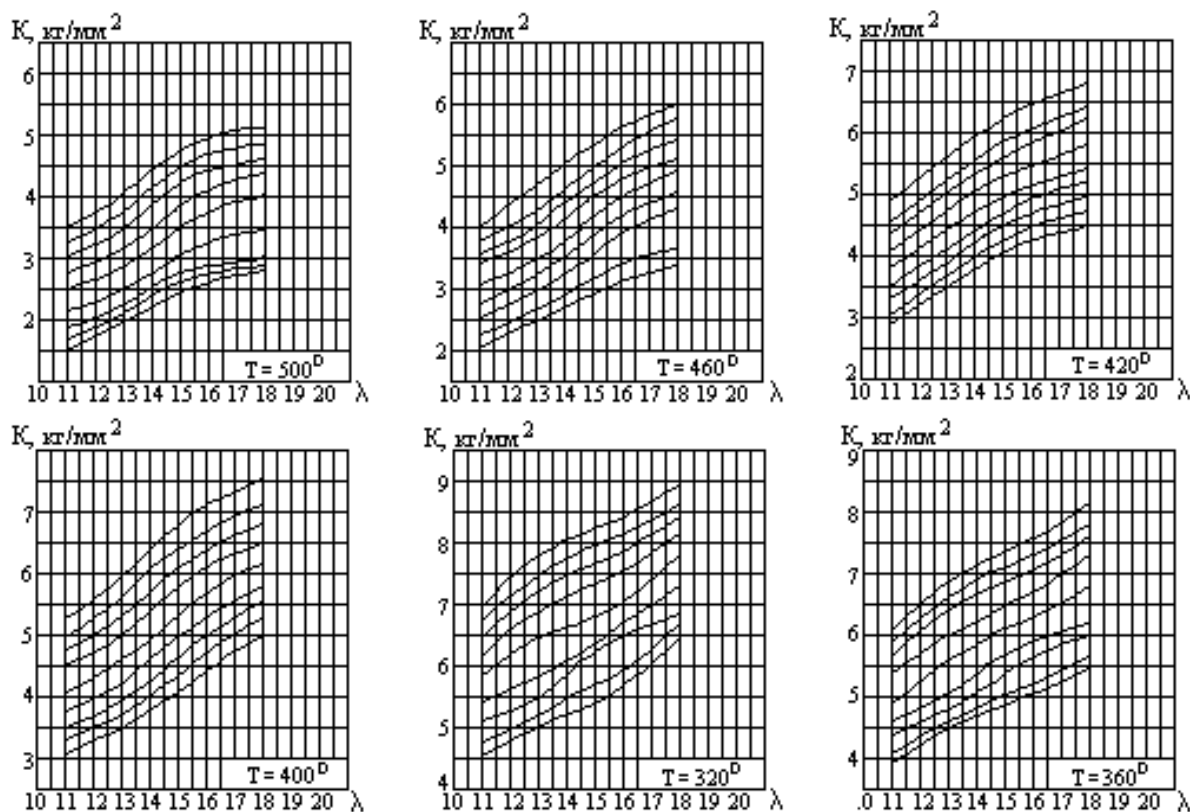


Рис.16

Зная  $\Delta T_i$ , определяют температуру металла после прохода

$$T_i = T_{i-1} - \Delta T_i \quad (52)$$

### Методика проведения работы

Алюминиевый образец размером  $h_0 \times b_0 \times l_0 = 15 \times 100 \times 100$  мм нагревают до температуры  $500^\circ\text{C}$  в печи и прокатывают в 5 проходов с обжатием за проход  $\Delta h = 2-3$  мм. Перед каждым проходом измеряют температуру металла контактной термопарой. После каждого прохода измеряют толщину полосы  $h_i$ , а также время между замерах температуры по секундомеру. По секундомеру измеряют число оборотов валков  $n$  по формуле:  $\omega = \frac{\pi n}{30}$  определяют угловую скорость. Замеряют диаметр валков. По формуле (51) определяют изменение температуры в процессе прокатки  $\Delta T$ , а по формуле (52) температуру после прокатки и сравнивают ее с замеренными. Все необходимые данные заносят в табл.17.

Таблица 17

№ прохода	$h_{i-1}$ , мм	$h_i$ , мм	$\Delta h_i$ , мм	$\lambda$	$\tau_i$ , час	$n$ , об/мин	$\omega$ , 1/сек	$\delta\tau$ , час	$K$ , кг/мм	$T_{i-1}$ , измер., $^\circ\text{C}$	$T_{i-1}$ расчет., $^\circ\text{C}$

По данным табл.17 строят графики зависимости  $T_{i-1}(\text{расч})-h_{i-1}$ ,  $T_{i-1}(\text{изм})-h_{i-1}$ .



## Лабораторная работа № 7

### НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОКАТКЕ

#### Общие сведения

Неравномерность деформации при прокатке заключается в том, что различные участки и объемы заготовки получают разные по величине обжатия, вытяжку и уширения.

Неравномерная деформация при прокатке - явление неизбежное, прежде всего из-за наличия сил трения между металлом и валками, влияния внешних зон. Кроме того, неравномерность деформации вызывают следующие факторы:

- форма полосы, перекося валков, неравномерность нагрева металла, а следовательно, неоднородность пластических, химических и механических свойств металла. Деформация может быть неравномерной по толщине, ширине и длине. Так как металл по толщине и ширине получает разное обжатие при неравномерной деформации, то могут развиваться следующие явления:

- в зоне большого обжатия вытяжка увеличивается и принудительно тянет за собой ту часть металла, где обжатие, а следовательно вытяжка, меньше, что приводит к появлению растягивающих напряжений в зоне с меньшей вытяжкой, в зоне с большей вытяжкой - сжимающих напряжений;

- в первом случае появляется растрескивание кромок; во втором - волнистости кромок.

Эти явления могут возникать в следующих случаях: при прокатке полос, имеющих утонение кромки; при прокатке полос разной толщины по ширине; при прокатке неравномерно прогретого металла или биметалла; при прокатке слитков, полос, имеющих неровную поверхность в результате зачистки и др.

Неравномерность деформации в большинстве случаев, при листовой прокатке, является причиной брака.

#### Методика проведения работы

1. Алюминиевые образцы изготавливают (рис.17) и прокатывают в несколько проходов до толщины 0,5 мм.

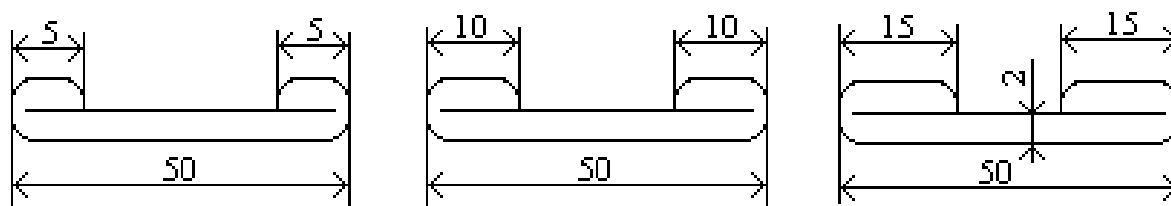


Рис.17. Образцы для прокатки

2. Алюминиевые образцы производят (рис.18) и прокатывают в несколько проходов до толщины 0,7 мм.

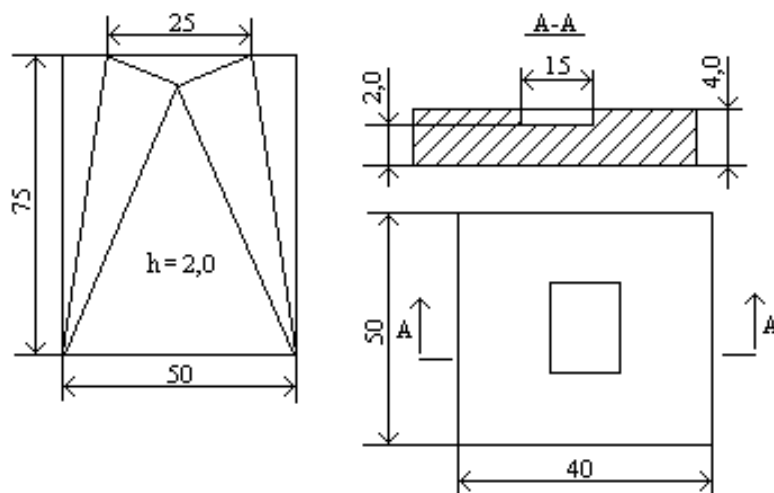


Рис.18. Образцы для прокатки

3. Образец со скошенной кромкой (рис.19) толщиной  $h_0=4$  мм прокатывают до толщины  $h_1=1,5-2,0$  мм.

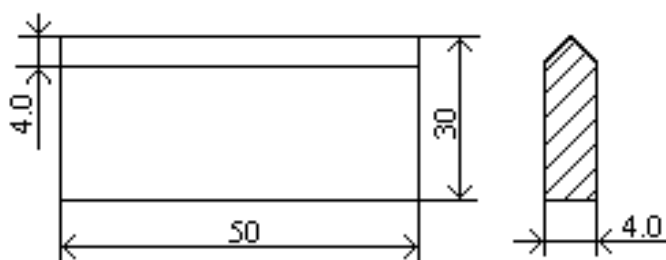


Рис.19. Образец со скошенной кромкой

4. Обезжиренный алюминиевый лист размером  $0,5 \times 75 \times 100$  мм прокатывают на сухих валках, предварительно капнув на него касторного или хлопкового масла, до толщины  $h=0,3$  мм. Замеряют толщину листа после прокатки в сухом и смазанном местах и дают объяснение.

5. Свинцовую полосу длиной  $l_0=100$  мм трапецидального поперечного сечения (рис.20) прокатывают в параллельных валках за один проход до толщины 2,5 мм.

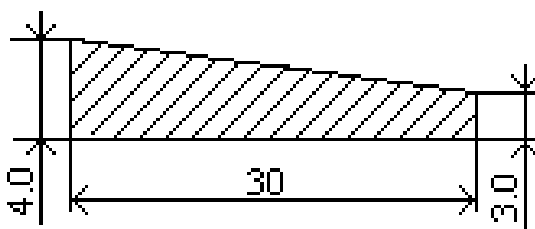


Рис.20. Трапецидальный образец

6. Тонкую обезжиренную алюминиевую полоску размером  $0,2 \times 20 \times 75$  мм заворачивают в свинцовую обезжиренную полосу размером  $1 \times 50 \times 140$  мм (рис. 21) и прокатывают с возможно большим обжатием в несколько

проходов. Затем разрезают свинцовую обкладку и извлекают алюминиевую полосу.

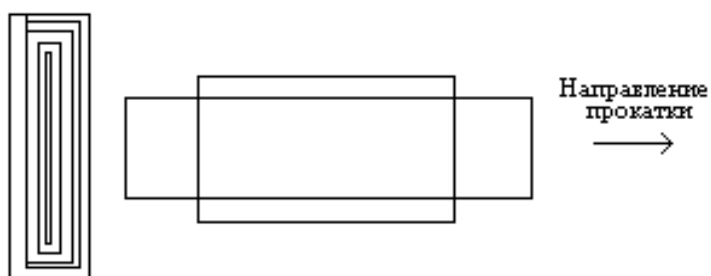


Рис.21. Образец с обкладкой: 1-алюминиевая пластинка; 2-свинцовая обкладка

7. Наложив свинцовую полосу размером  $2 \times 50 \times 75$  мм на такую же алюминиевую, прокатывают их с обжатием  $\Delta h = 1$  мм.

Во всех случаях зарисовывают образцы до и после прокатки и дают объяснения полученным результатам. Приводят пример неравномерной деформации в производственных условиях.

## Библиографический список

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: - Красноярск, 1997.

## Оглавление

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1 Уравнение постоянства объема и коэффициенты деформации при прокатке .....	5
Лабораторная работа № 2 Условие захвата металла валками и определение коэффициента трения .....	10
Лабораторная работа № 3 Уширение при прокатке .....	15
Лабораторная работа № 4 опережение при прокатке.....	20
Лабораторная работа № 5 Исследование силовых условий при прокатке в валках с гладкой бочкой .....	24
Лабораторная работа № 6 Исследование падения температуры прокатываемого металла при горячей прокатке ...	29
Лабораторная работа № 7 Неравномерность деформации при прокатке .....	33
Библиографический список .....	36

Учебное издание

Катрюк Виктор Петрович  
Рудницкий Эдвард Анатольевич

**Технология прокатного производства**

Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 150106 «Обработка металлов давлением»