

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (НИУ)

Факультет «Материаловедение и металлургические технологии»
Кафедра «Машины и технологии обработки материалов давлением»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, степень, звание

/В.Г. Шеркунов, д.т.н., проф./

« 11 » июня 2016 г.

Анализ методик расчета параметров формоизменения процесса

сортовой прокатки

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

ЮУрГУ–150400.2016.120831893.ВКР

(номер специальности, год, номер студенческого билета)

Руководитель, должность

Соседкова М. А. 10

« 6 » июня 2016 г.

Автор

студент группы МиМТ-484

Храмцов А. С. 1 1

« 7 » июня 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(национальный исследовательский университет)

Факультет «Материаловедение и металлургические технологии»
Кафедра «Машины и технологии обработки материалов давлением»
Направление 150400 «Металлургия»

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой МиТОМД

 Шеркунов В.Г.

« » _____ 2016 г

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу

Храмцову Алексею Сергеевичу

(фамилия, имя, отчество написать полностью)

Группа: ***МиМТ-484***

1. Тема работы: ***«Анализ методик расчета параметров
формоизменения процесса сортовой прокатки»***

утверждена приказом по университету от _____ 2016 г. № _____

2. Срок сдачи студентом законченной работы: ***1 июня 2016 г.***

3. Исходные данные к работе: ***периодическая и учебная литература.***

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих
разработке вопросов):

1. ***Литературный обзор методик расчета уширения при сортовой
прокатке.***

2. Сравнительный анализ методик расчета уширения на базе проведенного эксперимента.

3. Сравнительный анализ методик расчета уширения для различных систем калибров

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в листах формата А1):

1. Иллюстрационный материал по методикам расчета уширения - 1 л

2. Иллюстрационный материал по расчетам уширения для систем калибров - 2 л

3. Иллюстрационный материал по подбору методик расчета уширения – 1 л

Всего: 4 листа

6. Дата выдачи задания: 20 февраля 2016 г.

Руководитель _____ /Соседкова М.А./

Задание принял к исполнению _____ /Храмцов А.С../

АННОТАЦИЯ

Храмцов А.С. Анализ методик расчета параметров формоизменения процесса сортовой прокатки. – Челябинск: ЮУрГУ, МиМТ; 2016, 30с. 15 ил., библиографический список – 4 наименования, 4 – листа чертежей формата А1.

Цель выпускной квалификационной работы провести анализ методик расчета параметров формоизменения процесса сортовой прокатки и определить методику, наиболее близко отображающую уширение металла при прокатке.

Сравнить расчетные данные, посчитанные по различным формулам, с данными, полученными при проведении эксперимента на прокатном стане дуо 180 и результатами эксперимента «ВСМПО – АВИСМА», и определить для каждой системы калибров, какая формула наиболее точно показывает уширение металла.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 6 |
| 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР МЕТОДИК РАСЧЕТА УШИРЕНИЯ ПРИ СОРТОВОЙ ПРОКТКЕ | |
| 1.1 Уширение при прокатке..... | 7 |
| 1.2. Влияние основных факторов на уширение при прокатке..... | 9 |
| 1.3 Методики расчета уширения..... | 10 |
| 2 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА УШИРЕНИЯ НА БАЗЕ ПРОВЕДЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА..... | 15 |
| 3 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА УШИРЕНИЯ НА БАЗЕ ДААННЫХ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЭКСПЕРИМЕНТА | |
| 3.1 Расчет уширения для системы круг – плоский овал..... | 22 |
| 3.2 Расчет уширения для системы круг – овал однорадиусный..... | 24 |
| 3.3 Расчет уширения для системы ребровой овал – плоский овал..... | 26 |
| 3.4 Расчет уширения для системы плоский овал – ребровой овал..... | 29 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 32 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК..... | 33 |

ВВЕДЕНИЕ

Прокатка - процесс пластического деформирования тел на прокатном стане между вращающимися валками. При прокатке полоса обжимается по высоте и увеличивается по длине и ширине. Увеличение размеров полос по ширине называется уширением. Существует множество методик расчета уширения. Мы поставили задачу определить для каждой системы калибров методику, показывающую наиболее точные результаты.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР МЕТОДИК РАСЧЕТА УШИРЕНИЯ ПРИ СОРТОВОЙ ПРОКАТКЕ

1.1. Уширение при прокатке

В очаге деформации при продольной прокатке металл находится в объёмном напряжённо–деформированном состоянии. Деформация металла происходит в трех направлениях: по высоте (обжатие), ширине (уширение или утяжка) и длине (удлинение). Обжатие является величиной известной, так как высота металла не может быть больше или меньше высоты калибра в какой-либо точке контакта металла с валками. Две другие деформации точно предсказать невозможно из-за сложности механизма деформации тела с кристаллической структурой. Физически обоснованную, правильную количественную оценку процесса пластической деформации металла даёт только закон постоянства объёма [1].

Изменение поперечных размеров полосы называется уширением (рисунок 1).

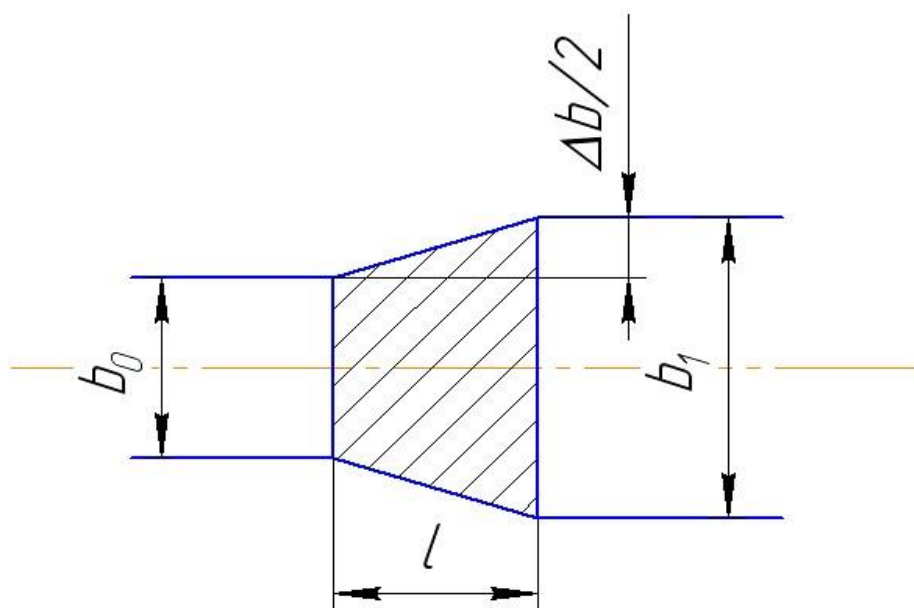


Рисунок 1 – Поперечные размеры полосы

Абсолютное уширение

$$\Delta b = b_1 - b_0.$$

где b_0 – ширина полосы до прохода;

b_1 – ширина полосы после прохода.

Истинное относительное уширение

$$e_b = \ln b_1 / b_0.$$

Условное относительное уширение

$$\theta = \frac{b_1 - b_0}{b_0} = \frac{\Delta b}{b_0}.$$

Коэффициент уширения

$$\beta = b_1 / b_0.$$

Логарифмическое уширение

$$\ln \beta = \ln b_1 / b_0.$$

Величину поперечной деформации также характеризуют отношением абсолютного уширения к абсолютному обжатию

$$a = \Delta b / \Delta h.$$

Эту величину называют показателем уширения [2].

Величина уширения при прокатке имеет большое значение. От правильного выбора уширения зависит точность получаемого профиля.

Различают уширение свободное, ограниченное (стесненное) и вынужденное. Свободное уширение наблюдается при прокатке в гладких валках, где поперечное течение металла сдерживается только силами трения. Свободное уширение характерно для прокатки листов и лент. Ограниченное или стесненное уширение наблюдается при прокатке в калибрах, когда течению металла в

поперечном направлении препятствуют не только силы трения. Примером прокатки с ограниченным уширением может служить прокатка в ящичном калибре. Вынужденное уширение также наблюдается при прокатке в калибрах и является результатом неравномерной деформации по ширине и высоте полосы. Примером вынужденного уширения является деформация квадратной полосы в овальном калибре [3].

1.2. Влияние основных факторов на уширение при прокатке

С увеличением абсолютного обжатия увеличивается величина смещенного по высоте объема металла и, следовательно, увеличивается вытяжка и уширение.

С увеличением диаметра валков уширение увеличивается. Объясняется это тем, что при постоянном значении абсолютного обжатия с увеличением диаметра валков увеличивается длина дуги контакта.

Увеличение числа проходов при одном и том же абсолютном обжатии приводит к уменьшению уширения.

На уширение полосы оказывает влияние ее ширина, пока она невелика. С увеличением ширины полосы сопротивление перемещению металла в поперечном направлении возрастает, что приводит к уменьшению уширения. При достижении достаточно большой ширины сопротивление поперечному течению становится настолько большим, что уширение металла прекращается.

Увеличение коэффициента трения на контактной поверхности приводит к увеличению сил трения, действующих как в продольном, так и в поперечном направлениях. При прокатке узких полос с увеличением коэффициента трения уширение возрастает. При прокатке более широких полос ширина очага деформации больше, чем длина дуги захвата, увеличение коэффициента трения

приводит к большему возрастанию сопротивления перемещению металла в поперечном направлении, чем в продольном. В этом случае увеличение коэффициента трения приводит к уменьшению уширения[4]. Коэффициент трения для горячей прокатки находится по формуле:

$$f = k_1 k_2 k_3 (1,05 - 0,0005t),$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий состояние поверхности и материал валков;

k_2 – коэффициент, учитывающий содержание углерода в стали;

k_3 – коэффициент, учитывающий скорость прокатки;

t – температура металла, °C .

1.3 Методики расчета уширения

Предложено много формул для расчета уширения. К числу наиболее ранних относится формула Жеза:

$$\Delta b = a \Delta h ,$$

где a – показатель уширения;

Δh – обжатие.

Жез представил наиболее простой вариант расчета уширения, которое прямо пропорционально величине абсолютного обжатия. Влияние всех других факторов скрыто в показателе a , поэтому величина a может изменяться в широких пределах, примерно от 0,1 до 1. Заранее выбрать величину a трудно. Формулу Жеза можно использовать лишь тогда, когда известно значение a для конкретных условий прокатки.

Показатель уширения можно принимать по графику, представленному на рисунке 2. Уширение для блюминга можно определить и по кривым, построенным по формуле А. Ф. Головина (рисунок 3). Чтобы по этим кривым определить уширение, необходимо знать некоторые размеры очага деформации.

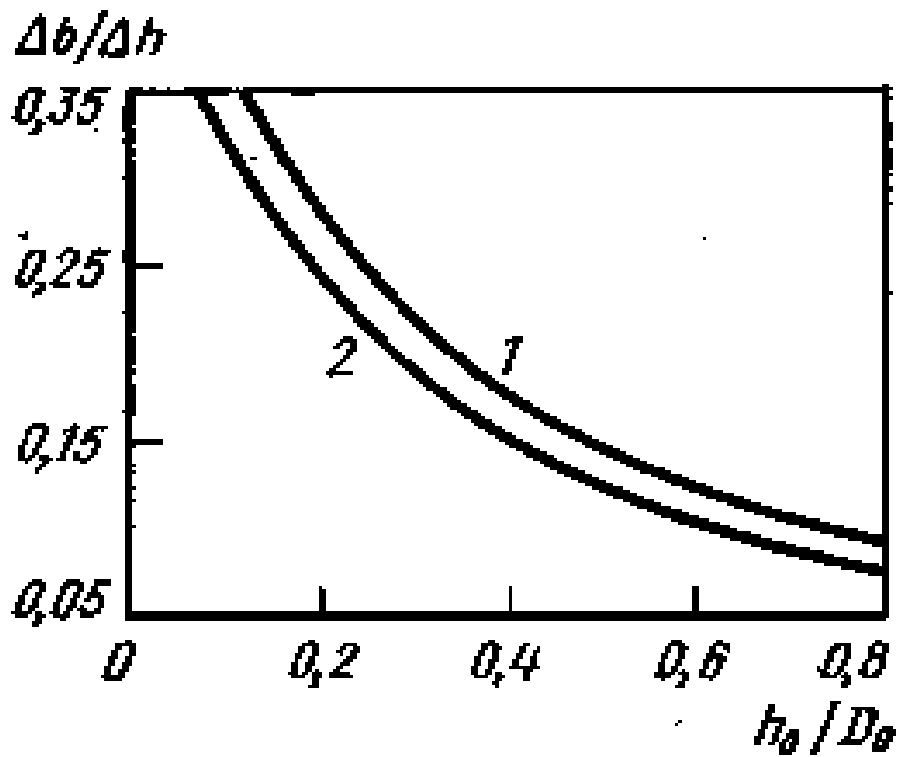


Рисунок 2 – Зависимость показателя уширения $\Delta b / \Delta h$ от отношения h_0 / D_0 при прокатке на блюминге:
 1 – гладкая бочка; 2 – прямоугольный ящичный калибр

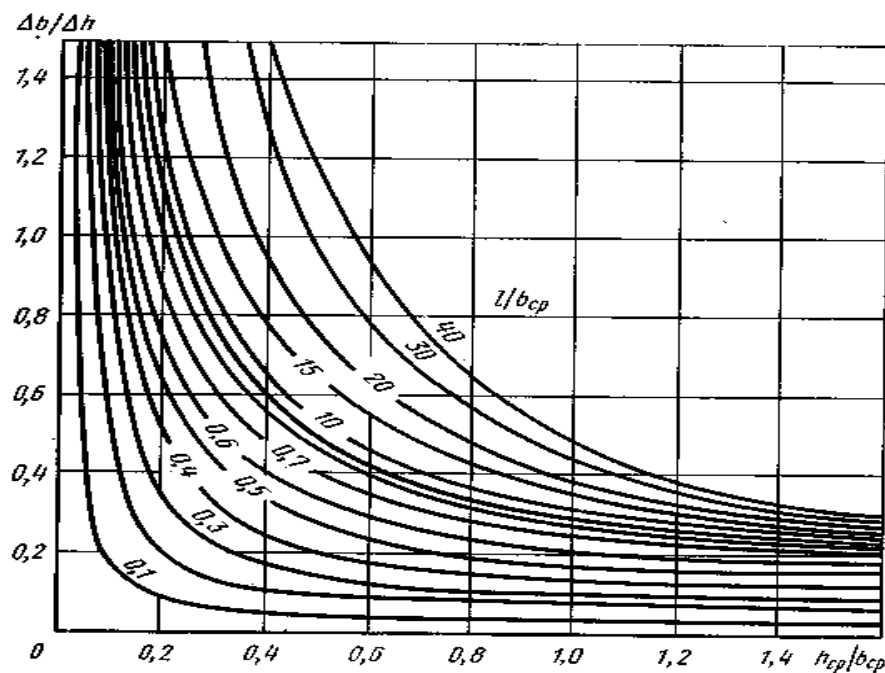


Рисунок 3 – Кривые для расчета уширения (А. Ф. Головин)

Длину очага деформации определяют:

$$l = \sqrt{R\Delta h},$$

где R – радиус валка.

Средняя высота:

,

где h_0 – начальная высота раската;

h – конечная высота раската.

Средняя ширина:

,

где b_0 – ширина раската до прохода.

При расчете уширения по методу А.Ф. Головина величиной уширения предварительно задаются. В случае большого расхождения между расчетной величиной уширения и предварительно принятой задаются другой величиной уширения.

Для практических расчетов уширения при горячей прокатке полос может быть рекомендована формула А. И. Гришкова:

$$\Delta b = 0,58C_b \left(\sqrt{R\Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right) \ln \frac{h_0}{h_1},$$

где C_b – коэффициент, учитывающий влияние ширины полосы;

R – радиус валка по дну калибра.

В. И. Зюзиным и А. М. Кривенцовым для расчета уширения фасонных профилей постоянного сечения в калиброванных валках (с учетом влияния ширины профиля и формы калибра) при горячей прокатке предложена следующая формула:

$$\Delta b = C_b K_{\Phi} \left(1 - \sqrt{1 - \varepsilon} \right) \left(1 - \frac{\Delta h^2}{4f^2 l} \right),$$

где ε – относительное обжатие;

l – длина дуги захвата;

K_{Φ} – коэффициент, учитывающий влияние формы калибра.

Δh – обжатие;

f – коэффициент трения;

Эта формула может быть также использована и для расчета уширения полос при прокатке на гладкой бочке при $K_{\text{об}} = 1$.

Часто применяется простая формула Зибеля:

$$\Delta b = k \Delta h / h_0 \sqrt{R \Delta h},$$

где k – коэффициент, находящийся в пределах 0,3 – 0,45

Формула Зибеля берет в расчет относительное обжатие и длину очага деформации, что повышает точность расчета. Существуют и более сложные формулы для расчета уширения.

Например, формула Чекмарева:

где Δh – обжатие;

– средняя ширина полосы;

h_0 – исходная высота заготовки;

h_1 – высота заготовки после прохода;

α – угол захвата;

Экелунд предложил свою формулу для расчета уширения:

$$\Delta b = b_1 - b_0,$$

где $b_1 = -A + \sqrt{A^2 + b_0^2 + 4ml(3h_0 - h_1)}$,

$$A = 2m(h_0 + h_1)^l / b_0;$$

$$m = 1,6fl - 1,2\Delta h / h_0 / h_1 ;$$

$$l = \sqrt{R \Delta h}.$$

Все вышеприведенные формулы уширения относятся к числу эмпирических, т.е. получены путем обработки экспериментальных данных.

Формула Бахтинова выведена аналитическим путем[2].

Формула Бахтинова:

$$\Delta b = 1,15 \left(\frac{\Delta h}{2h_0} \right) \left(\sqrt{R\Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right),$$

Как и в формуле Зибеля, здесь учитываются длина очага деформации и относительное обжатие металла. Кроме этого, в формуле присутствует коэффициент трения, что также положительно сказывается на точности расчетов.

Существует множество способов для расчета изменения поперечных размеров полосы. Все выше перечисленные методики зависят от разных факторов, таких как относительное обжатие, длина очага деформации, средняя ширина полосы, угол захвата, форма калибра и др. Наша задача сравнить эти методики, и выяснить какая из них более точно отражает реальное уширение металла.

2.СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА УШИРЕНИЯ НА БАЗЕ ПРОВЕДЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Для того чтобы проанализировать, сравнить и выбрать методики, наиболее близко отражающие уширение в калибрах, был проведен эксперимент на лабораторном непрерывном прокатном стане дуо 180 (рисунок 4).



Рисунок 4 – Прокатный стан дуо 180

Прокатали четыре свинцовые заготовки с квадратным поперечным сечением со стороной 15 мм с разным обжатием в системе квадрат – квадрат (рисунок 5).



Рисунок 5 – Квадратные заготовки

После прокатки с помощью штангенциркуля замеры уширения каждого образца (рисунок 6).

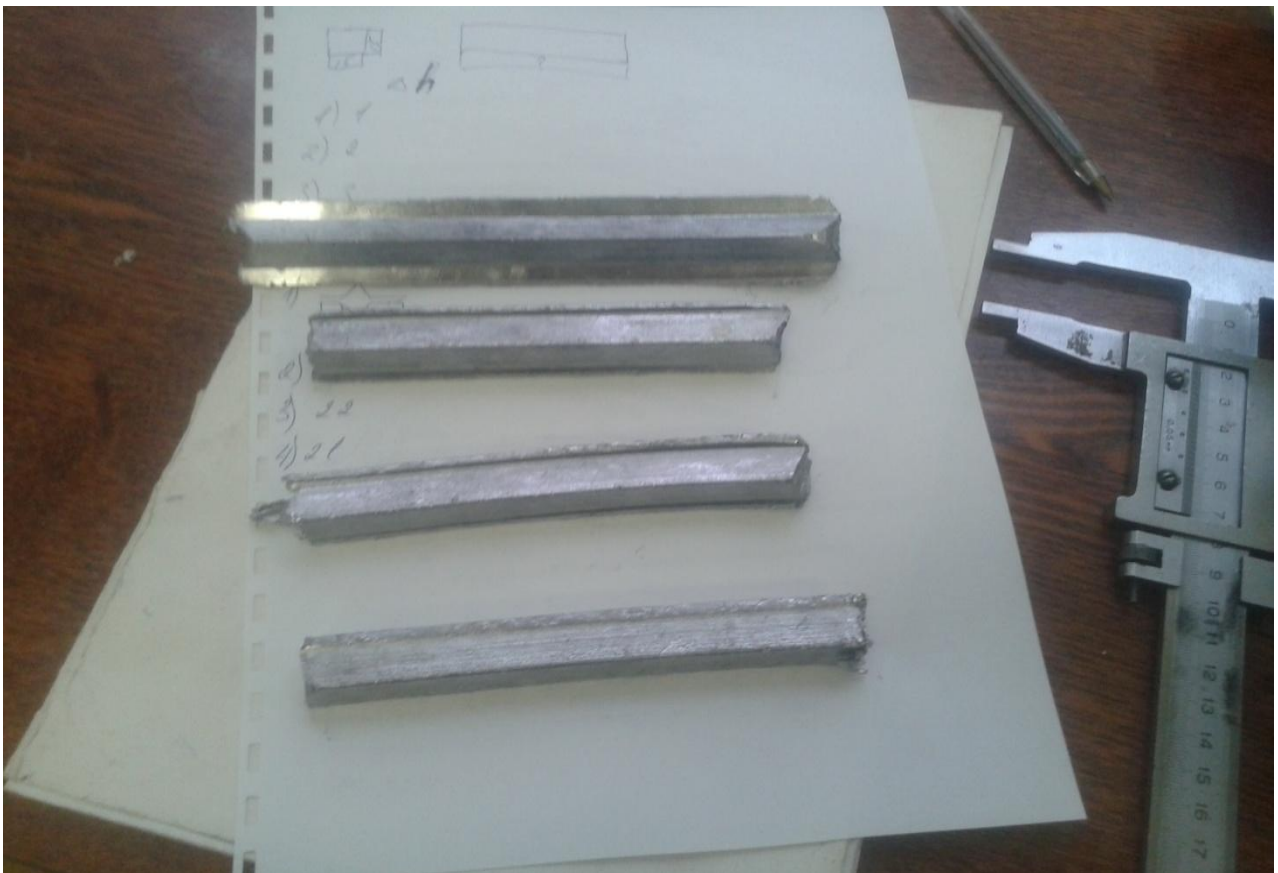


Рисунок 6 – Свинцовые образцы после прокатки

В таблице 1 представлены данные, полученные в результате эксперимента.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

| Обжатие, мм | Уширение, мм |
|-------------|--------------|
| 1,00 | 1,00 |
| 2,00 | 3,00 |
| 3,00 | 5,00 |
| 4,00 | 8,00 |

Проведем расчет уширения по различным методикам. Обжатие и начальную толщину заготовки для расчета по всем методикам будем брать такими же, как и в эксперименте. Для расчета уширения почти во всех формулах нам понадобится коэффициент трения между валками и заготовкой, для этого воспользуемся формулой, полученной на основе опытных данных С. Экелунда, И.М. Павлова, Н.Н. Гета:

$$f = k_1 k_2 k_3 (1,05 - 0,0005t),$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий состояние поверхности и материал валков;

k_2 – коэффициент, учитывающий содержание углерода в стали;

k_3 – коэффициент, учитывающий скорость прокатки;

t – температура металла, °C .

$$f = 1 \cdot 1 \cdot 1 (1,05 - 0,0005 \cdot 1200) = 0,45 .$$

Уширение по формуле Бахтинова:

$$\Delta b = 1,15 \left(\frac{\Delta h}{2h_0} \right) \left(\sqrt{R\Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right), \quad (1)$$

где Δh – обжатие, мм;

h_0 – исходная высота заготовки мм;

R – катающий радиус валков, мм;

f – коэффициент трения между прокатываемой полосой и валками.

$$\Delta b = 1,15 \left(\frac{4}{2 \cdot 15} \right) \left(\sqrt{180 \cdot 4} - \frac{4}{2 \cdot 0,45} \right) = 4,10.$$

Уширение по формуле Зибеля – Петрова:

$$\Delta b = k \Delta h / h_0 \sqrt{R \Delta h}, \quad (2)$$

где k – коэффициент, находящийся в пределах 0,3 – 0,45

Δh – обжатие, мм;

$$\Delta b = 0,45 \cdot 4 / 15 \cdot \sqrt{180 \cdot 4} = 3,22$$

Уширение по формуле Чекмарева:

где Δh – обжатие, мм;

– средняя ширина полосы;

h_0 – исходная высота заготовки;

h_1 – высота заготовки после прохода;

α – угол захвата;

$$\Delta b = \frac{2 \cdot 4 \cdot 26,83}{15 + 11 \left[1 + (1 + 0,45) \left(\frac{26,83}{180 \cdot 0,45} \right) \right]} = 5,21$$

Уширение по формуле Эжелунда:

$$\Delta b = b_1 - b_0, \quad (4)$$

$$b_1 = -A + \sqrt{A^2 + b_0^2 + 4ml(3h_0 - h_1)},$$

$$A = 2m(h_0 + h_1)^l / b_0;$$

$$m = \frac{1,6fl - 1,2\Delta h}{h_0/h_1};$$

$$l = \sqrt{180 \cdot 4} = 26,83;$$

$$m = \frac{1,6 \cdot 0,45 \cdot 26,83 - 1,2 \cdot 4}{15/11} = 10,65;$$

$$A = 2 \cdot 10,65 \cdot (15 + 11) \frac{26,83}{15} = 990,46;$$

$$b_1 = -990,46 + \sqrt{990,46^2 + 15^2 + 4 \cdot 10,65 \cdot 26,83 (3 \cdot 15 - 11)} = 19,54;$$

$$\Delta b = 19,54 - 15 = 4,54.$$

Аналогично рассчитываем уширения и для других обжатий. Все

полученные данные занесем в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчета уширения по различным методикам

| Обжатие, мм | Уширение, мм | | | |
|-------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------|
| | По методике Бахтинова | По методике Зибеля – Петрова | По методике Чекмарева | По методике Эжелунда |
| 1,0 | 0,51 | 0,40 | 0,59 | 0,99 |
| 2,0 | 1,45 | 1,14 | 1,71 | 2,09 |
| 3,0 | 2,66 | 2,09 | 3,26 | 3,27 |
| 4,0 | 4,10 | 3,22 | 5,21 | 4,53 |

По всем полученным результатам построим график зависимости уширения в калибре от обжатия (рисунок 7).

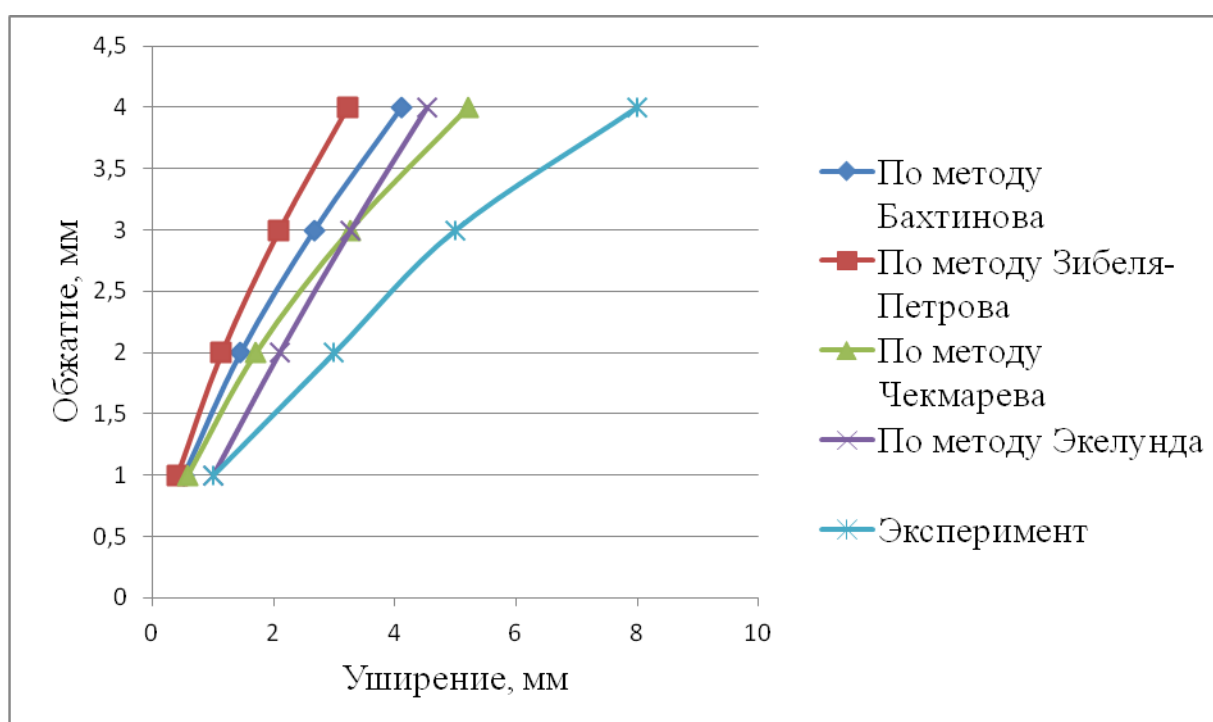


Рисунок 7 – Зависимость обжатия от уширения

Из графиков видно, что с увеличением обжатия растет уширение. Из всех методик, которыми мы пользовались, наиболее точное уширение в калибре показала формула Чекмарева. Она максимально точно показывает уширение, как при маленьком обжатии, так и при большем. Методика Эжелунда показала самое точное уширение при маленьком обжатии, но при его увеличении растет и погрешность в результатах. Метод Бахтинова и Зибеля–Петрова наиболее далек от экспериментальных данных при большом обжатии, но при малом они дают

примерно одинаковые результаты, что и метод Эжелунда. Таким образом, все методы дают приемлемые результаты при небольших обжатах, но с увеличением обжатия лучше всего пользоваться методом Чекмарева.

3. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА УШИРЕНИЯ НА БАЗЕ ДАННЫХ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В связи с тем, что проведение эксперимента на лабораторном стане ограничено, была поставлена задача, проверить правильность различных методик

расчета уширения путем сравнения результатов расчета с существующими экспериментальными данными, померенными на «ВСМПО – АВИСМА». Эксперимент проводился для титановых сплавов.

3.1. Расчет уширения для системы круг – плоский овал

Система круг – плоский овал представлена на рисунке 8

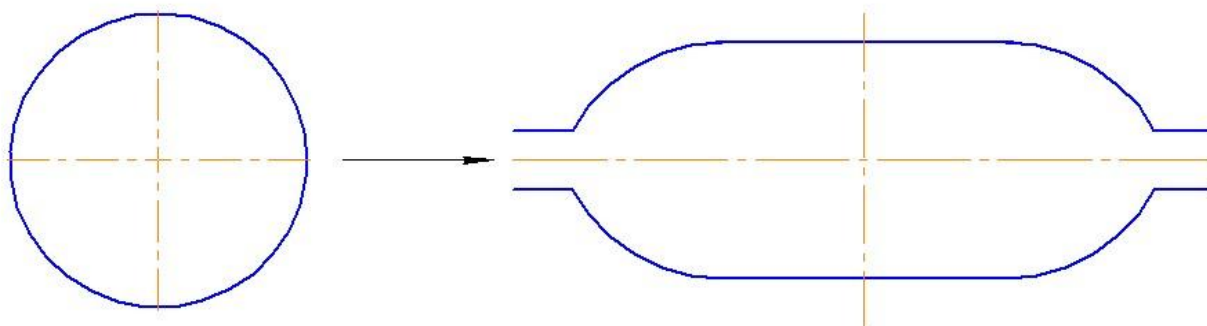


Рисунок 8 – Система круг – плоский овал

Рассчитаем уширение по формуле Бахтина (1) для исходных данных:

$$h_0 = b_0 = 65 \text{ мм};$$

$$h_1 = 53 \text{ мм};$$

$$s = 10 \text{ мм};$$

$$t = 950 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$f = 0,575$$

$$D_6 = 550 \text{ мм.}$$

Найдем обжатие.

$$\Delta h = h_0 - h_1 = 12 \text{ мм}$$

Определим радиус валка по дну калибра.

$$R = \frac{(D_6 - h_1 + s)}{2} = \frac{(550 - 53 + 10)}{2} = 253,5 \text{ мм.}$$

где D_6 – диаметр бочки валка;

s – зазор между валками.

$$\Delta b = 1,15 \left(\frac{12}{2} \cdot 65 \right) \left(\sqrt{253,5 \cdot 12 - \frac{12}{2} \cdot 0,575} \right) = 5,84 \text{ мм}$$

Для сравнения теоретических и экспериментальных данных рассчитаем показатель уширения по следующей формуле:

$$a = \Delta b / \Delta h.$$

Получаем $a_1 = 0,48$.

Рассчитаем уширение по формуле Зибеля – Петрова (2) для тех же исходных данных.

$$\Delta b = 0,45 \frac{12}{65} \sqrt{253,5 \cdot 12} = 5,85 \text{ мм}$$

Показатель уширения $a_2 = 0,49$.

Рассчитаем уширение по формуле Чекмарева (3) для тех же исходных данных.

$$\Delta b = \frac{2 \cdot 12 \cdot 55,15}{65 + 53 \left[1 + (1 + 0,575) \left(\frac{55,15}{253,5 \cdot 0,575} \right) \right]} = 5,27 \text{ мм}$$

Показатель уширения $a_3 = 0,43$.

По данным ВСМПО $a = 0,77$.

Результаты расчета для других исходных данных занесены в таблицу 3 и представлены на рисунке 9.

Таблица 3 – Расчетные и экспериментальные данные для системы круг – плоский овал

| Δh мм | Показатель уширения | | | Эксперимент |
|------------------|---------------------|-------|-------|-------------|
| | a_1 | a_2 | a_3 | |
| 12 | 0,49 | 0,49 | 0,43 | 0,77 |
| 22 | 0,57 | 0,57 | 0,51 | 0,77 |
| 23 | 0,49 | 0,50 | 0,39 | 0,77 |
| 33 | 0,70 | 0,71 | 0,69 | 0,77 |

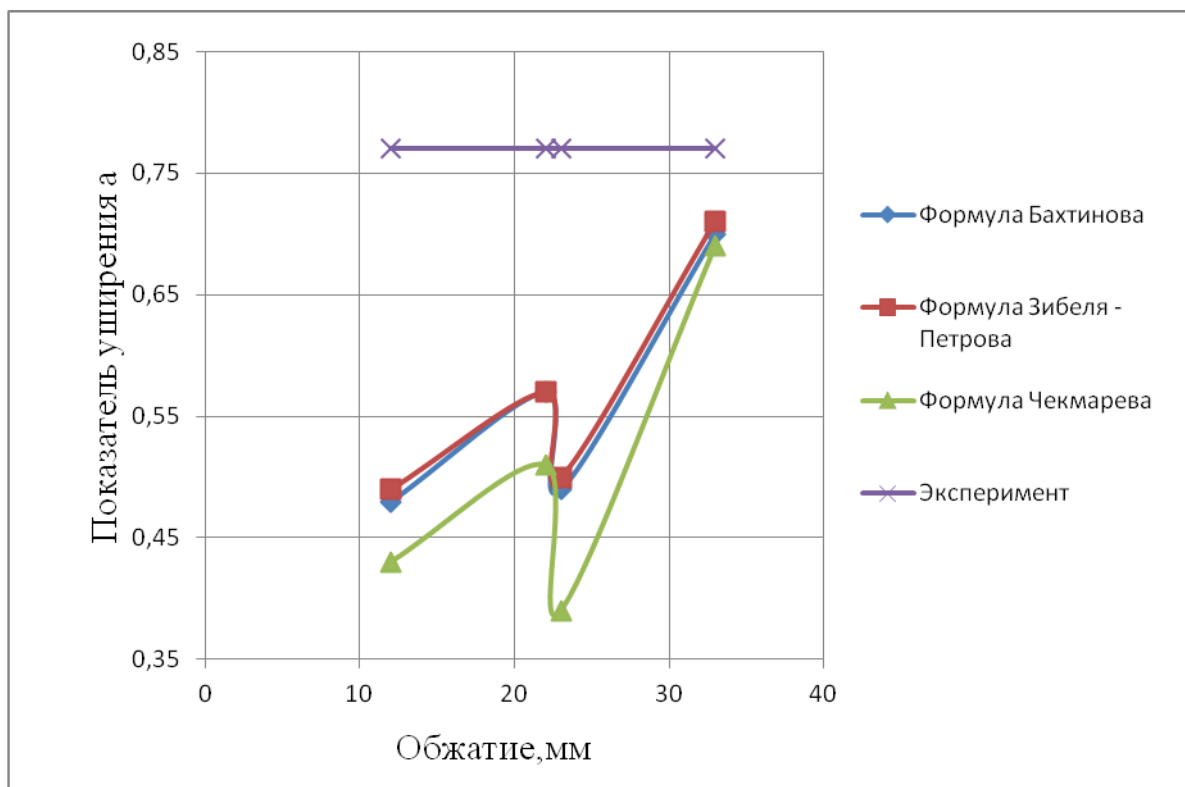


Рисунок 9 – Зависимость показателя уширения от величины обжатия в системе круг – плоский овал

3.2. Расчет уширения для системы круг – овал однорядусный

Система круг – овал однорядусный представлена на рисунке 10.

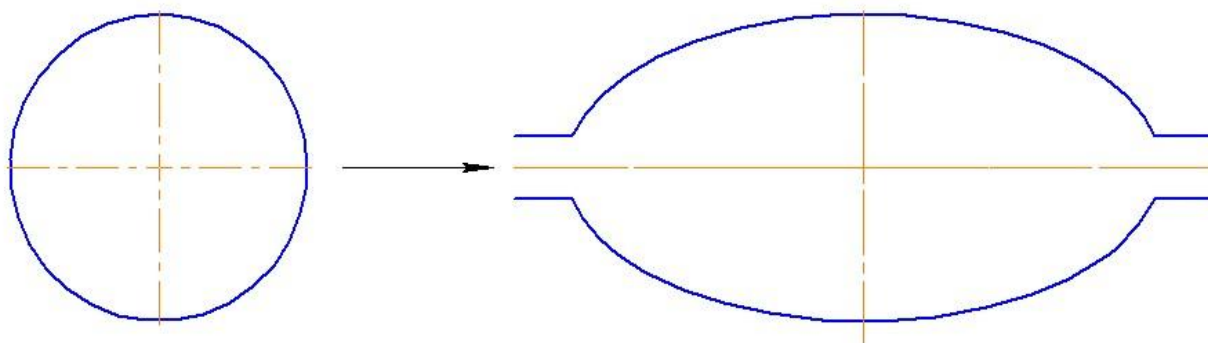


Рисунок 10 – Система круг – овал однорядусный

Рассчитаем уширение по формуле Бахтинова (1) для исходных данных:

$$h_0 = b_0 = 58 \text{ мм} ;$$

$$h_1 = 40 \text{ мм} ;$$

$$s = 5 \text{ мм} ;$$

$$t = 950 \text{ °C} ;$$

$$f = 0,575$$

$$D_6 = 550 \text{ мм.}$$

Из данных найдем обжатие и радиус вала по дну калибра.

$$\Delta h = h_0 - h_1 = 18 \text{ мм}$$

$$R = \frac{(D_6 - h_1 + s)}{2} = \frac{(550 - 40 + 5)}{2} = 257,5 \text{ мм.}$$

$$\Delta b = 1,15 \left(\frac{18}{2} \cdot 58 \right) \left(\sqrt{257,5 \cdot 12} - \frac{18}{2} \cdot 0,575 \right) = 12,13 \text{ мм}$$

Для сравнения теоретических и экспериментальных данных рассчитаем показатель уширения по следующей формуле:

$$a = \Delta b / \Delta h.$$

$$\text{Получаем } a_1 = 0,67.$$

Рассчитаем уширение по формуле Зибеля – Петрова (2) для тех же исходных данных.

$$\Delta b = 0,45 \frac{18}{58} \sqrt{257,5 \cdot 18} = 12,15 \text{ мм}$$

$$\text{Показатель уширения } a_2 = 0,68.$$

Рассчитаем уширение по формуле Чекмарева (3) для тех же исходных данных.

$$\Delta b = \frac{2 \cdot 18 \cdot 68,08}{58 + 40 \left[1 + (1 + 0,575) \left(\frac{68,08}{253,5 \cdot 0,575} \right) \right]} = 12,37 \text{ мм}$$

$$\text{Показатель уширения } a_3 = 0,69.$$

$$\text{По данным ВСМПО } a = 1.$$

Результаты расчета для других исходных данных занесены в таблицу 4 и представлены на рисунке 11.

Таблица 4 – Расчетные и экспериментальные данные для системы круг – однорадиусный овал

| Δh мм | Показатель уширения | | | Эксперимент |
|------------------|---------------------|-------|-------|-------------|
| | a_1 | a_2 | a_3 | |
| 18 | 0,67 | 0,68 | 0,69 | 1 |
| 15 | 0,83 | 0,83 | 0,96 | 1 |
| 13 | 0,73 | 0,74 | 0,81 | 1 |
| 16 | 0,77 | 0,77 | 0,85 | 1 |

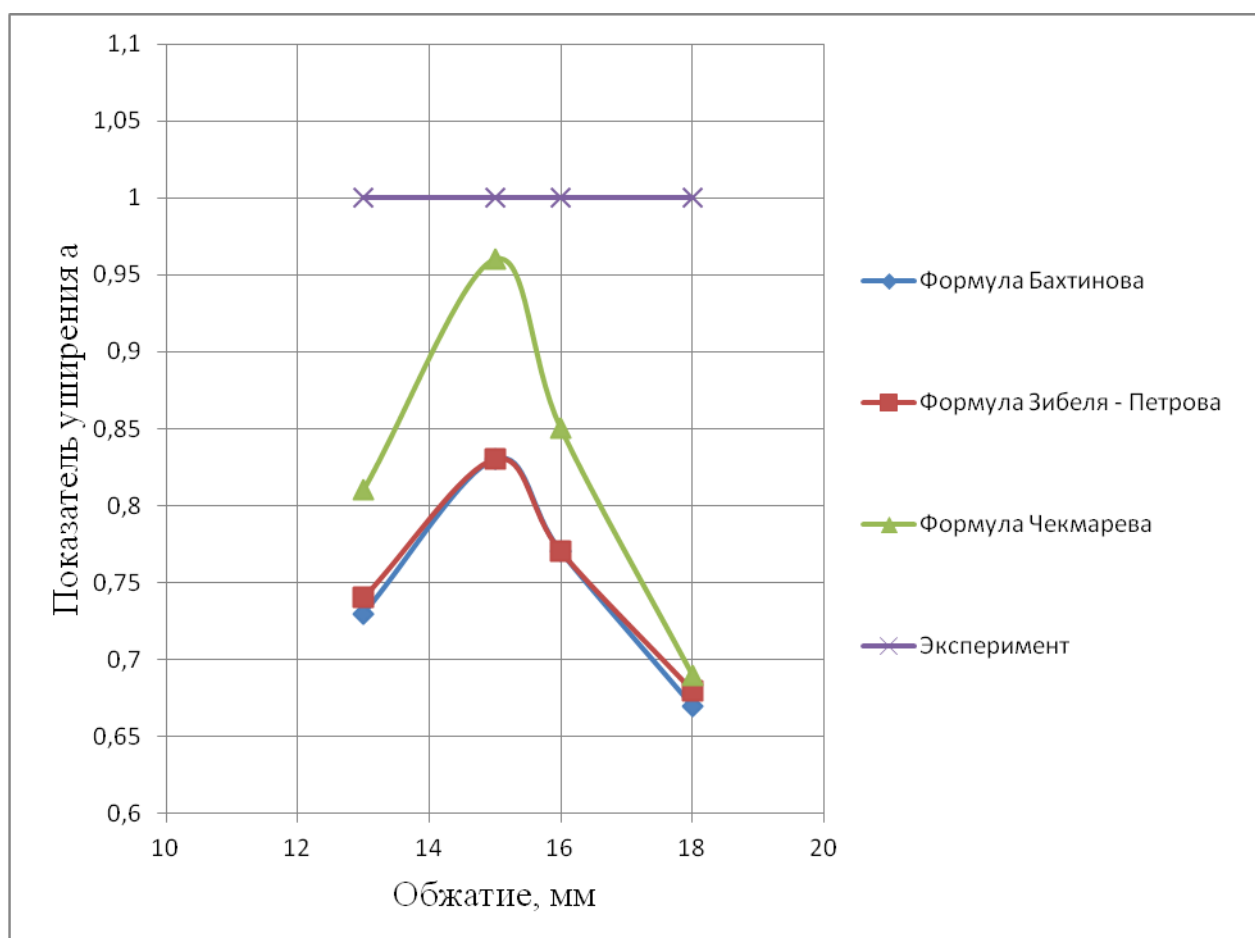


Рисунок 11 – Зависимость показателя уширения от величины обжатия в системе круг – однорадиусный овал

3.3. Расчет уширения для системы ребровой овал – плоский овал

Система ребровой овал – плоский овал и основные размеры представлены на рисунке 12.

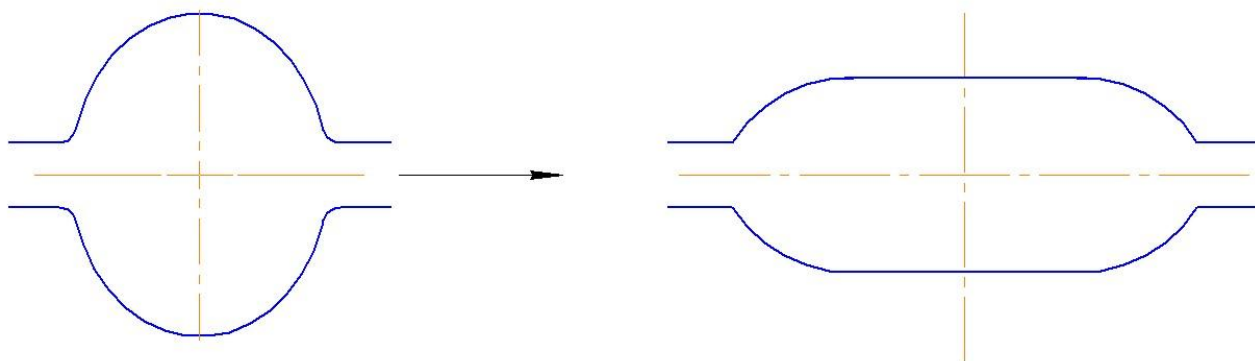


Рисунок 12 – Система ребровой овал – плоский овал

Рассчитаем уширение по формуле Бахтинова (1) для исходных данных:

$$h_0 = 68 \text{ мм};$$

$$h_1 = 42 \text{ мм};$$

$$s = 10 \text{ мм};$$

$$t = 950 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$f = 0,575$$

$$D_6 = 550 \text{ мм.}$$

Из данных найдем обжатие и радиус валка по дну калибра.

$$\Delta h = h_0 - h_1 = 26 \text{ мм}$$

$$R = \frac{D_6 - h_1 + s}{2} = \frac{550 - 42 + 10}{2} = 259 \text{ мм.}$$

$$\Delta b = 1,15 \left(\frac{26}{2} \cdot 42 \right) \left(\sqrt{259 \cdot 12} - \frac{26}{2} \cdot 0,575 \right) = 17,82 \text{ мм}$$

Для сравнения теоретических и экспериментальных данных рассчитаем показатель уширения по следующей формуле:

$$a = \Delta b / \Delta h.$$

Получаем $a_1 = 0,69$.

Рассчитаем уширение по формуле Зибеля – Петрова (2) для тех же исходных данных.

$$\Delta b = 0,45 \cdot 26 / 68 \sqrt{259 \cdot 26} = 12,15 \text{ мм}$$

Показатель уширения $a_2 = 0,68$.

Рассчитаем уширение по формуле Чекмарева (3) для тех же исходных данных.

$$\Delta b = \frac{2 \cdot 26 \cdot 68,41}{68 + 42 \left[1 + (1 + 0,575) \left(\frac{68,41}{259 \cdot 0,575} \right) \right]} = 17,69 \text{ мм}$$

Показатель уширения $a_3 = 0,68$.

По данным ВСМПО $a = 0,5$.

Результаты расчета для других исходных данных занесены в таблицу 5 и представлены на рисунке 13.

Таблица 5 – Расчетные и экспериментальные данные для системы ребровой овал – плоский овал

| Δh мм | Показатель уширения | | | Эксперимент |
|------------------|---------------------|-------|-------|-------------|
| | a_1 | a_2 | a_3 | |
| 26 | 0,69 | 0,68 | 0,68 | 0,5 |
| 31 | 0,60 | 0,61 | 0,54 | 0,5 |
| 38 | 0,53 | 0,54 | 0,44 | 0,5 |

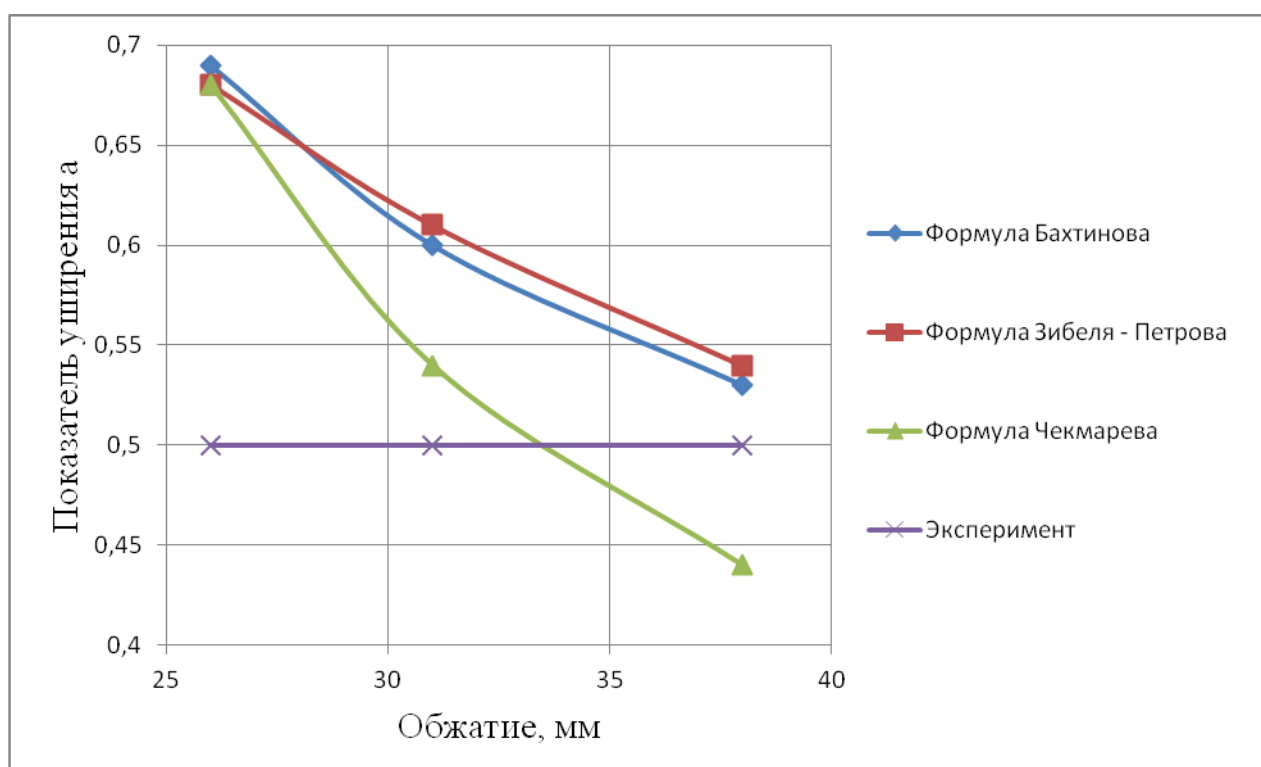


Рисунок 13 – Зависимость показателя уширения от величины обжатия в системе
ребровой овал – плоский овал

3.4. Расчет уширения для системы плоский овал – ребровой овал

Система плоский овал – ребровой овал представлена на рисунке 14.

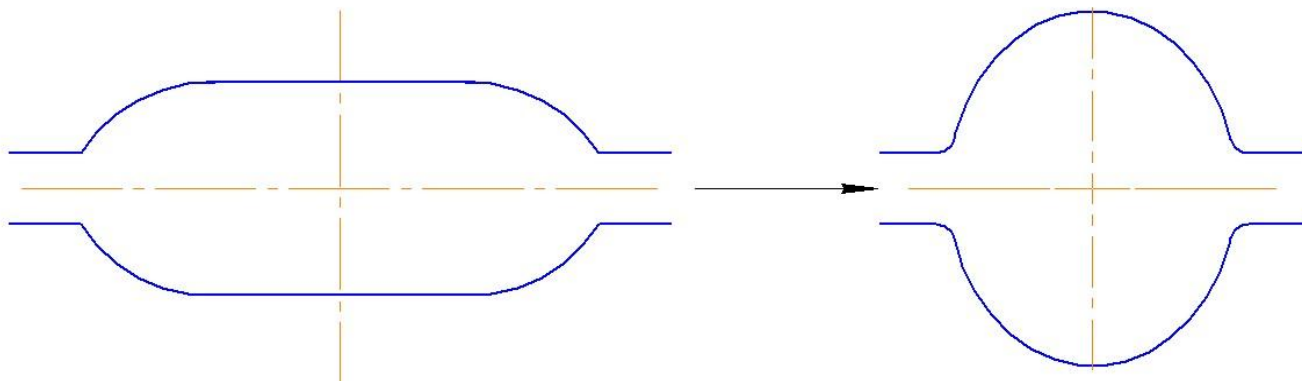


Рисунок 14 – Система плоский овал – ребровой овал

Рассчитаем уширение по формуле Бахтинова (1) для исходных данных:

$$h_0 = 112 \text{ мм};$$

$$h_1 = 83 \text{ мм};$$

$$s = 10 \text{ мм};$$

$$t = 950 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$f = 0,575$$

$$D_6 = 550 \text{ мм.}$$

Из данных найдем обжатие и радиус валка по дну калибра.

$$\Delta h = h_0 - h_1 = 29 \text{ мм}$$

$$R = \frac{D_6 - h_1 + s}{2} = \frac{550 - 83 + 10}{2} = 238,5 \text{ мм.}$$

$$\Delta b = 1,15 \left(\frac{29}{2} \cdot 112 \right) \left(\sqrt{238,5 \cdot 29 - \frac{29}{2} \cdot 0,575} \right) = 12,35 \text{ мм}$$

Для сравнения теоретических и экспериментальных данных рассчитаем показатель уширения по следующей формуле:

$$a = \frac{\Delta b}{\Delta h}.$$

Получаем $a_1 = 0,43$.

Рассчитаем уширение по формуле Зибеля – Петрова (2) для тех же исходных данных.

$$\Delta b = 0,45^{29} / 112 \sqrt{238,5 \cdot 29} = 12,38 \text{ мм}$$

Показатель уширения $a_2 = 0,43$.

Рассчитаем уширение по формуле Чекмарева (3) для тех же исходных данных.

$$\Delta b = \frac{2 \cdot 29 \cdot 83,17}{112 + 83 \left[1 + (1 + 0,575) \left(\frac{83,17}{238,5 \cdot 0,575} \right) \right]} = 8,65 \text{ мм}$$

Показатель уширения $a_3 = 0,30$.

По данным ВСМПО $a = 0,36$.

Результаты расчета для других исходных данных занесены в таблицу 6 и представлены на рисунке 15.

Таблица 6 – Расчетные и экспериментальные данные для системы плоский овал – ребровой овал

| Δh мм | Показатель уширения | | | Эксперимент |
|------------------|---------------------|-------|-------|-------------|
| | a_1 | a_2 | a_3 | |
| 29 | 0,43 | 0,43 | 0,30 | 0,36 |
| 30 | 0,32 | 0,32 | 0,18 | 0,36 |
| 31 | 0,52 | 0,52 | 0,43 | 0,36 |
| 33 | 0,38 | 0,38 | 0,23 | 0,36 |

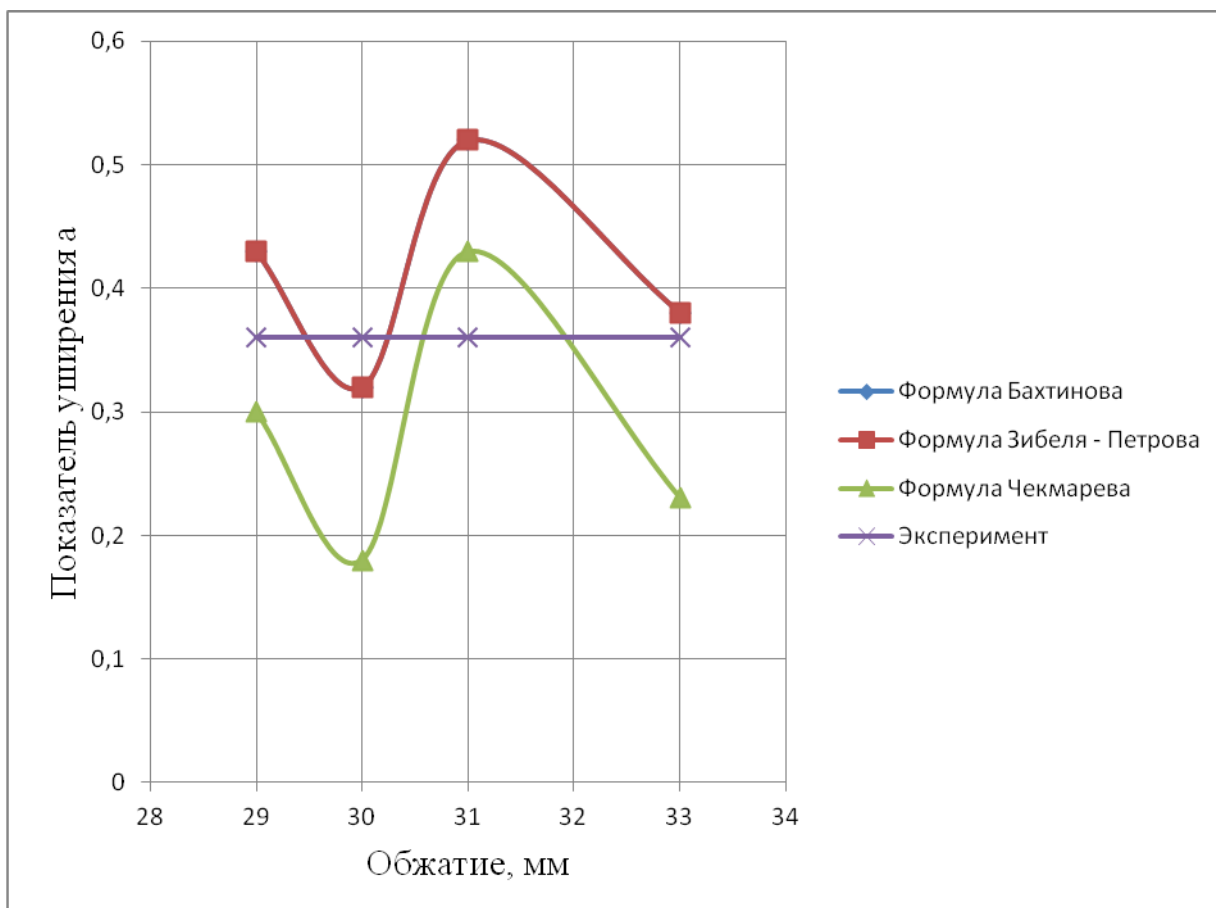


Рисунок 15 – Зависимость показателя уширения от величины обжатия в системе плоский овал – ребровой овал

В данной работе определялась возможность использования различных формул для определения уширения при прокатке в различных калибрах. Было проведено сопоставление теоретических и экспериментальных данных. В качестве экспериментальных использованы данные по сортовому прокату Верхнее–Салдинского металлургического производственного объединения. Теоретические – рассчитаны для тех же условий по формулам Бахтинова, Зибеля – Петрова и Чекмарева.

Результаты исследований показали следующее:

а) для системы круг – плоский овал лучше использовать формулу Бахтинова или Зибеля–Петрова, поскольку она дает результаты наиболее близкие к экспериментальным (погрешность порядка 5...25%);

б) для системы круг – овал однорADIUSный лучше всего использовать формулу Чекмарева, поскольку она дает результаты наиболее близкие к

экспериментальным (погрешность порядка 5...15%);

б) для систем ребровой овал – плоский овал и плоский овал – ребровой овал лучше использовать формулу Бахтинова (погрешность порядка 30%), но формула Чекмарева при определенных обжатиях дает более точный результат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были рассмотрены несколько вопросов. Во-первых, был проведен эксперимент на лабораторном прокатном стане дуо 180. Полученные данные мы сравнили с расчетными данными и из этого сделали следующие выводы:

- 1) с увеличением обжатия растет и уширение металла в калибрах.
- 2) все методы дают приемлемые результаты уширения при небольших обжатиях,

но с увеличением обжатия лучше всего пользоваться методом Чекмарева.

Были посчитаны уширения разными методиками для различных систем калибров, и результаты исследований сравнили с данными ВСМПО:

1) для системы круг – плоский овал лучше использовать формулу Бахтинова или Зибеля – Петрова, поскольку она дает результаты наиболее близкие к экспериментальным (погрешность порядка 5 – 25%);

2) для системы круг – овал однорадиусный лучше всего использовать формулу Чекмарева, поскольку она дает результаты наиболее близкие к экспериментальным (погрешность порядка 5 – 15%);

3) для систем ребровой овал – плоский овал и плоский овал – ребровой овал лучше использовать формулу Бахтинова (погрешность порядка 30%), но формула Чекмарева при определенных обжатиях дает более точный результат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы теории прокатки металлов. – http://metallischekiy-portal.ru/articles/chermet/xolodnaya_prokatka/osnovi_teorii_prokatki_metallov/4.

2. Теория прокатки: справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзини и др. – М.: «Металлургия», 1982. – 335с.

3. Чекмарев, А.П. Калибровка прокатных валков / А.П. Чекмарев, М.С.

Мутъев, Р.А. Машковцев. – М: Металлургия, 1971. – 512 с.

4. Грудев, А.П. Теория прокатки: учебник для вузов / А.П. Грудев. – М.: Металлургия, 1988. – 240 с.