

Министерство образования и науки Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

А.А. Наумов, М.А. Ожегов, Г.Н. Вострецов

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ
ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Методические указания
к лабораторным работам

Санкт-Петербург

2024

Наумов А.А. Теория и технология обработки металлов давлением: методические указания к лабораторным работам / А. А. Наумов, М.А. Ожегов, Г.Н. Вострецов – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2024. - 39 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА, ПРОКАТКА, МОМЕНТ, ДЕФОРМАЦИЯ, ТЕЧЕНИЕ, ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД, ВАЛКИ.

Лабораторные работы по курсу «Теория и технология обработки металлов давлением» написаны методически одинаково с работами по курсу «Теория обработки металлов давлением», что позволяет построить непрерывный практикум на протяжении ряда семестров и теснее связать эти два курса.

Каждая лабораторная работа построена по принципу небольшого исследования, которое выполняется каждым студентом или небольшой группой студентов самостоятельно. Большое внимание уделяется современным методам постановки и решения задач, обработки результатов с использованием математических методов и счетно-решающей техники. Расчетная часть работ по желанию преподавателя может быть индивидуальной.

Большая часть описанных работ проводится как со студентами, специализирующимися по обработке металлов давлением, так и со студентами других специальностей: экономистами, металловедомы, сварщиками, литейщиками. В связи с этим работы построены так, что допускается варьирование их объема и содержания.

Ил. 16, табл. 1.

Оглавление	
<i>Лабораторная работа №1</i>	4
<i>Лабораторная работа №2</i>	7
<i>Лабораторная работы №3</i>	9
<i>Лабораторная работа №4</i>	12
<i>Лабораторная работа №5</i>	15
<i>Лабораторная работа №6</i>	18
<i>Лабораторная работа №7</i>	21
<i>Лабораторная работа №8</i>	25
<i>Лабораторная работа №9</i>	29
<i>Лабораторная работа №10</i>	33
<i>Приложение</i>	35
<i>Список литературы</i>	39

Лабораторная работа №1

Давление металла на валки при прокатке

При прокатке со стороны валков к металлу приложена сила P , определяющая деформацию и напряжение в металле. Величину, равную отношению силы прокатки к площади контактной поверхности, называют средним давлением на валки $p_{\text{ср}}$.

С давлением связаны обжатие, уширение, опережение, трение и т.д. Давлением определяется момент, мощность и расход энергии при прокатке. Силу прокатки можно определить экспериментально или рассчитать по теоретическим формулам.

В работе необходимо определить расчетным и экспериментальным путями силу прокатки и давления на валки. Студенту задаются материал и размеры образца, температура прокатки, число проходов, абсолютное обжатие, предел текучести материала до прокатки, коэффициент трения и диаметр валков.

Порядок проведения работы следующий.

1. Рассчитывают силу прокатки:

$$P = p_{\text{ср}} \cdot F = p_{\text{ср}} \cdot b \cdot l$$

где $p_{\text{ср}}$ – среднее давление металла на валки; F – площадь контакта металла с валками.

Среднее давление при прокатке с уширением

$$p_{\text{ср}} = K \cdot n_{\sigma} \cdot n_{\beta} \cdot n_{\alpha}, \quad (1)$$

где K – сопротивление деформации при прокатке; n_{σ} – коэффициент, учитывающий влияние трения на поверхность контакта металла с валками и влияние трения переднего и заднего натяжения, если оно имеет место (коэффициент подпора); n_{β} – коэффициент, учитывающий влияние ширины полосы;

n_{α} – коэффициент, учитывающий влияние внешних зон.

Коэффициенты, входящие в формулу (1) определяются следующими соотношениями:

$$n_{\beta} = 1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{b}{h} \quad 0 \leq \frac{b}{h} \leq \frac{0,465}{\mu}$$
$$n_{\beta} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,155 \quad \frac{b}{h} > \frac{0,465}{\mu}$$

Коэффициент n_{σ} определяют в зависимости от соотношения l/h

$$n_{\sigma} = \frac{2h_1}{\Delta h \cdot (\delta - 1)} \cdot \left(\frac{h_H}{h_1} \right) \cdot \left[\left(\frac{h_H}{h_1} \right)^{\delta} - 1 \right] \quad \text{при } 2 \leq \frac{l}{h} \leq 4,$$

где

$$\frac{h_H}{h_1} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + \frac{\delta^2 + 1}{(1 + \varepsilon)^{\delta}}}}{\delta - 1} \right]^{\frac{1}{\delta}},$$

$$n_{\sigma} = 1 + \frac{2l}{\Delta h} \cdot \frac{h_1 + \frac{\Delta h}{2} - h_H}{\Delta h}, \quad \text{при } \frac{l}{h} > 4$$

где $h_H = \sqrt{h_1 \cdot h_0}$

$$n_{\sigma} = 1 + \frac{\sqrt{\Delta h \cdot R}}{3 + (h_0 + h_1)}, \quad \text{при } 1 \leq \frac{l}{\lambda} \leq 2$$

$$n_{\sigma} = 1 \quad \text{при } \frac{l}{h} < 1$$

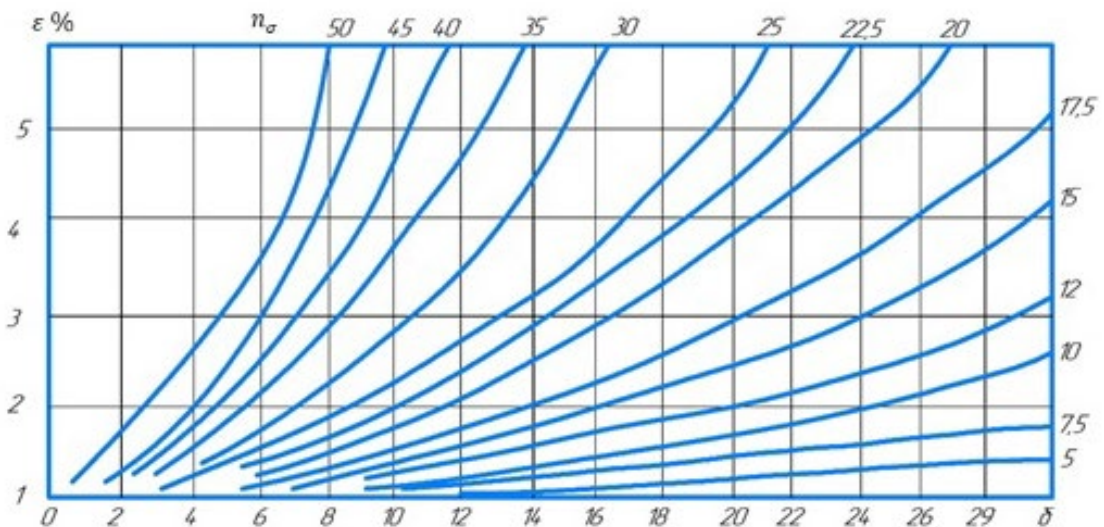


Рисунок 1 – Номограмма зависимости n_{σ} от δ .

Чтобы упростить пользование уравнениями, когда $2 \leq \frac{l}{h} \leq 4$ на рисунке 1 приведена номограмма зависимости n_{σ} от δ при разных относительных обжатиях ε , построенная по этим формулам.

Коэффициент n_3 также зависит от соотношения l/h

$$n_3 = 2 - \sqrt{l/h}; \quad 0 \leq b/h \leq 1;$$

$$n_3 = 1; \quad l/h \geq 1.$$

Сопротивление деформации при прокатке K зависит от температуры t , степени деформации $\varepsilon = \Delta h/h_0$ и скорости деформации $U = C_B \cdot \varepsilon/l$, где C_B – окружная скорость валков.

При холодной прокатке среднее сопротивление деформации за один проход вычисляется по формуле $K = 0,5(K_0 + K_1)$, где K_0 и K_1 – сопротивления деформации до и после прокатки. При прокатке других материалов можно использовать зависимости, приведённые в [4].

2. Прокатывают полосу с обжатиями, которые были приняты в расчете. До и после прокатки измеряют размеры полосы. Усилия прокатки регистрируют с помощью месдоз, устанавливаемых между нажимными винтами и подушками подшипников верхнего валка, и регистрирующего прибора National Instruments NI SCXI-1000 с программой записи и обработки данных. Чтобы перевести значения, снятые с датчиков, из напряжения в усилие, воспользуемся следующими формулами тарировки датчиков силы:

$$\text{Датчик 1: } y = 1368,8x + 2,3852$$

$$\text{Датчик 2: } y = -1488,9x + 1,0921$$

Где x это значение пика на графике, полученном из экспериментальных данных (берется в милливольтгах). Рассчитанное значение (в тоннах) переводится в килограммы и умножается на $9,8 \text{ м/с}^2$, чтобы получить силу прокатки в Ньютонах.

3. По результатам расчета и эксперимента строят диаграмму распределения усилия прокатки P по проходам, определенного по формулам и экспериментально.

4. Делают вывод о совпадении расчетных и экспериментальных данных и границах применения теоретических формул.

В работе применяются свинцовые или алюминиевые образцы размерами 2-10x20-40x100 мм.

Лабораторная работа №2

Момент прокатки

Момент прокатки является наряду с усилием прокатки одним из основных параметров, знание которого необходимо при проектировании и эксплуатации прокатных станов. Величина момента прокатки определяет степень нагрузки электродвигателя стана, а также контактные и внутренние напряжения в таких деталях и узлах главной линии, как шпиндели, муфты, редукторы и т.д.

Экспериментальные методы определения момента прокатки могут быть косвенные и прямые. К косвенным методам относятся методы измерения момента по измерению мощности и скорости вращения электродвигателя и по измерению усилия прокатки. Прямое измерение момента прокатки производят с помощью крутильных динамометров.

В работе необходимо определить расчетным путем момент прокатки и коэффициент ψ плеча равнодействующей силы прокатки P (Рисунок 2). Студенту задаются материал и размеры образца, температура прокатки, число проходов n , относительное обжатие по проходам, предел текучести материала до прокатки, коэффициент трения, диаметр валков (прокатный стан).

Порядок проведения работы следующий:

1. Рассчитывают момент прокатки по формуле, используя значение усилия в предыдущей работе:

$$M_{\text{пр}} = 2P\psi l,$$

где l - длина очага деформации.

Коэффициент плеча приложения равнодействующей:

$$\psi = \frac{1}{2 - \varepsilon} \cdot \left[1 - \varepsilon \cdot \left(\frac{e^m}{e^m - 1} - \frac{1}{m} \right) \right],$$

где $m = \mu \cdot \frac{l}{h_{\text{ср}}}$

Для $m < 0,5$ можно принять с достаточной точностью, $e^m = 1 + \frac{m^2}{2}$, тогда предыдущая формула упрощается и принимает вид:

$$\psi = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\varepsilon}{2}} \left(1 - \varepsilon \frac{1 + m}{2 + m} \right).$$

Силу прокатки рассчитывают по методике, изложенной в предыдущей работе.

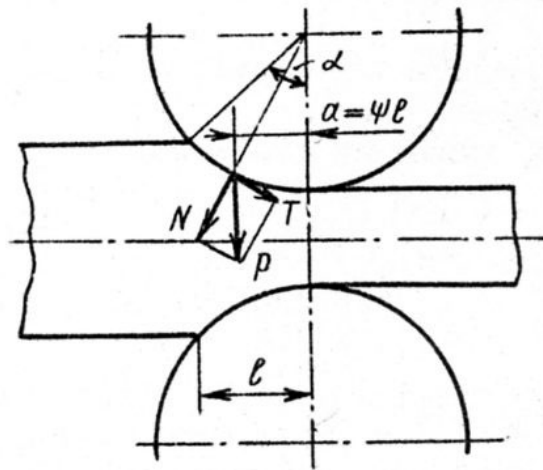


Рисунок 2 – Схема к определению момента прокатки.

2. По результатам расчетов строят: 1) диаграмму зависимостей момента и силы прокатки по проходам, определенные по формулам; 2) диаграмму зависимостей коэффициента плеча приложения равнодействующей для верхнего и нижнего валков по проходам.

В работе необходимо изучить деформацию металла и давление на валки при прокатке высокой полосы в условиях, имитирующих прокатку на блюминге.

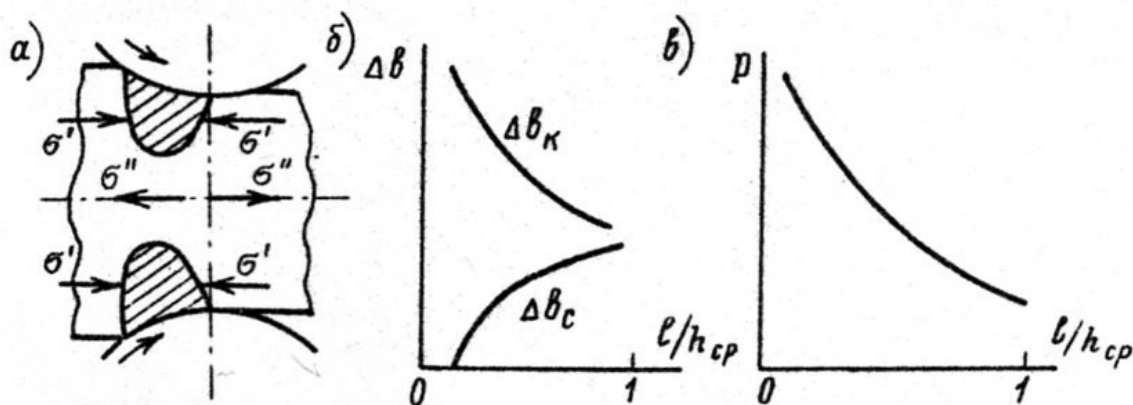


Рисунок 3 – Очаг деформации при прокатке высоких полос.

Высоким очагом деформации (или высокой полосой) называется такой, для которого отношение l/h_{cp} , где $l = \sqrt{0,5\Delta h D}$ - длина очага деформации; $h_{cp} = (h_0 + h_1)/2$ средняя высота очага (рисунок 3, а). При прокатке в таких условиях пластическая деформация не проникает на всю глубину сечения, сосредотачиваясь вблизи контактной площадки (заштрихованные зоны). Центральная зона очага деформации в этих условиях не должна была бы пластически деформироваться, однако под воздействием приконтактных зон она принудительно вытягивается. При этом уширение центральной зоны минимально, даже возможна ее утяжка. Наоборот, металл и приконтактных зон не так интенсивно устремляется в вытяжку, чем мог бы при отсутствии связи с центральной зоной: последняя уменьшает вытяжку приконтактных зон, поэтому большая доля металла из них устремляется на приращение ширины. Итак, чем выше очаг деформации (т.е. меньше l/h_{cp}), тем больше уширение приконтактных Δb_k и меньше уширение центральной Δb_c зоны (рисунок 3, б). В центральной зоне растягивающие дополнительные напряжения очень опасны, так как могут приводить к разрушению металла. В приконтактной зоне, наоборот, возникают дополнительные сжимающие напряжения σ' , которые создают дополнительный осевой подпор металла. Следовательно, по условию пластичности $p = \sigma = K$ при возрастании осевого напряжения σ на величину σ' возрастает

и давление металла на валки p . На рисунке 3 в показано, что с ростом высоты очага деформации этот эффект возрастает. Отношение давления p к давлению при $\sigma' = 0$ называется коэффициентом влияния внешних зон n_3 который можно определить по формуле: $n_3 = 2 - \sqrt{l/h_{cp}}$.

Расчет режимов обжатия на блюминге обычно осуществляют по предельному углу захвата α_{max} последующей проверкой полученного режима по допустимым моменту двигателя $[M_{max}]$, силе прокатки $[P]$ и перегреву двигателя $[M_{эКВ}]$. Наибольшее обжатие $\Delta h_{max} \leq D(1 - \cos \alpha_{max})$, где угол α_{max} определяется условиями трения $tg \alpha_{max} \leq \mu'$ и обычно находится в пределах от 22 до 36° (в первых проходах на валках с закругленной поверхностью до 30°). После каждого второго или четвертого пропуска осуществляется кантовка, для назначения которой должно удовлетворяться условие $b/h \leq 1,7 \dots 2,0$. Итак, зная размеры b_0, h_0 слитка до прокатки и размеры h_n, b_n готового блюма, рассчитывают суммарное обжатие:

$$\Delta h_{\Sigma} = 1,15 \cdot (h_0 - h_n) + 1,15 \cdot (b_0 - b_n),$$

затем минимальное количество пропусков $n \geq \Delta h_{\Sigma} / \Delta h_{max}$, причем всегда n - нечетное целое число. После этого назначают обжатие Δh_i в каждом i -м проходе, намечают схему кантовок и, используя одну из формул уширения, рассчитывают размеры полосы после каждого пропуска. Например, рекомендуется формула Б.П. Бахтинова:

$$\Delta b_i = \frac{1,15 \Delta h_i}{2h_{i-1}} \cdot (\sqrt{0,5 \Delta h_i D} - \Delta h_i / 2\mu),$$

где h_{i-1} - высота полосы до пропуска; μ - коэффициент трения по Эккелунду, который при прокатке свинцовых образцов на стальных валках равен $0,3$.

Порядок проведения работы следующий:

1. Получить от преподавателя свинцовые слитки, имитирующие в масштабе $1:10$ промышленные слитки, применяемые на блюминге. Измерить ширину, высоту и длину слитков. Размеры занести в таблицу. Измерить диаметр валка стана и убедиться в том, что он соответствует валкам блюминга в масштабе $1:10$.

2. Рассчитать режим обжатия слитка по предельным углам захвата α . Число пропусков n или конечные размеры полосы h_n и b_n задаются преподавателем.

3. Наметить кантовки слитка, исходя из условий устойчивости полосы, т.е. по отношению $b/h < 1,5$. Кантовка должна быть только после четного пропуска. Схему обжатий рассчитывают на упражнениях. На лабораторной работе необходимо реализовать полученный режим прокатки.

4. Рассчитать фактор l/h_{cp} в каждом пропуске, убедиться в том, что по крайней мере в первых пропусках очаг деформации является высоким. Рассчитать во всех пропусках коэффициент влияния внешних зон n_3 . Определить давление металла на валки $p = n_3 K$, где предел текучести при прокатке принять равным $K = 20 \text{ н/мм}^2$.

Полная сила прокатки $P = p \cdot b \cdot l$ момент прокатки $M_{пр} = 2Pa$, где коэффициент плеча:

$$a = l \cdot (0,25 + 0,002t^0) \cdot (D/2h_0)^{-0.2}.$$

Здесь t^0 - температура прокатки, которую необходимо принять равной (1000...1100) °С, так как холодная прокатка свинца соответствует горячей прокатке стали при указанных температурах.

5. После каждого пропуска фиксировать уширение слитка в приконтактной и центральной зонах.

6. Построить графики:

а) уширения приконтактной области Δb_k и центральных слоев Δb_c по пропускам, а также в зависимости от фактора l/h_{cp} ;

б) давления на валки p в зависимости от фактора l/h_{cp} ;

в) обжатия по пропускам;

г) силы P и момента $M_{пр}$ по пропускам.

7. Составить схему режима обжатия по пропускам.

Для проведения работы требуется один свинцовый слиток 30-50x30-50x150, валки диаметром 70мм.

Лабораторная работа №4

Исследование течения металла при неравномерной деформации

В работе необходимо исследовать течение металла при неравномерной деформации и установить закономерности утяжки, вытяжки и уширения в зависимости от основных факторов прокатки.

На рисунке 3 показана прокатка прямоугольной полосы размерами h_0 и b_0 с неравномерным обжатием. Средняя часть полосы b_{02} и h_0 не обжимаются непосредственно валками, однако деформируется, растягиваясь в длину под действием соседних обжимаемых частей размерами h_0, b_{01} и h_0, b_{03} . При этом высота средней зоны уменьшается до h_{12} и величина утяжки оценивается отношением $\nu = h_0/h_{12}$. В свою очередь, обжимаемые части при отсутствии необжимаемых деформировались бы, как обычно, на гладкой бочке и имели бы вытяжку λ' , однако при наличии необжимаемой части они вынуждены уменьшить до значения λ , при этом металл интенсивно течет в ширину, обеспечивая вынужденное уширение всей полосы в целом. Размер $(b_{11} + b_{13})$ будет больше, чем при отсутствии необжимаемой части. При таком деформировании возможно перетекание металла из одной части полосы в другую, например, из обжимаемых в необжимаемую, ослабляя эффект вынужденного уширения и утяжки.

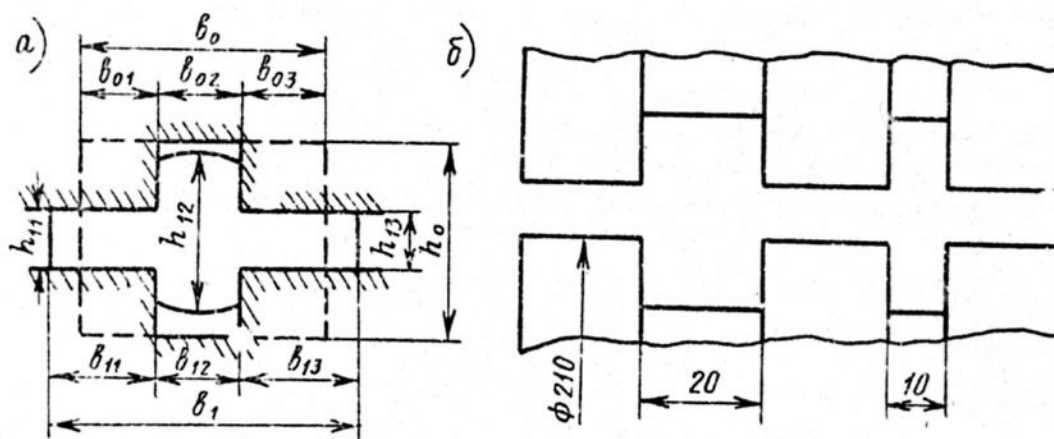


Рисунок 4 – Схема калибровки стана.

Порядок проведения работы следующий:

1. Нарисовать калибровку валков стана (рисунок 3, б).
2. Получить свинцовые образцы (4...6 штук), измерить их ширину и высоту и занести в таблицу. Прокатать их в калибрах так, чтобы обжатию подвергались только кромки полосы шириной b_{01} и b_{03} . По указанию преподавателя возможны следующие разновидности прокатки:

а) ширина и высота исходных образцов одинакова, но изменяется их обжатие их в каждом калибре;

б) ширина образцов, прокатываемых с разными обжатиями в первом калибре, одинакова, но они прокатываются с развита обжатиями; для второго калибра условия прокатки те же, и выбранные образцы имеют то же отношение b_0/b_k , что и для первого калибра;

в) все образцы имеют одинаковую исходную и конечную толщину, однако исходная ширина их различна, таким образом, изменяется отношение b_0/b_k для каждого образца;

г) образцы произвольных размеров прокатываются в обоих калибрах по произвольному режиму.

В каждом случае образец после прокатки будет состоять из трех частей шириной соответственно b_{11}, b_{12}, b_{13} и высотой h_1, h_2, h_3 . Измерить образцы после прокатки и размеры занести в таблицу.

3. Обработать результаты:

3.1. Вычислить объемы деформируемых и недеформируемых участков до и после прокатки по участкам:

$$Q_{01} = h_0 \cdot b_{01}; Q_{02} = h_0 \cdot b_{02}; Q_{03} = h_0 \cdot b_{03}; \\ Q_{11} = h_1 \cdot b_{11}; Q_{12} = h_{12} \cdot b_{12}; Q_{13} = h_3 \cdot b_{12}.$$

3.2. Определить вытяжки обжимаемых и необжимаемых на участке от дельно:

$$\lambda_1 = Q_{01}/Q_{11}; \lambda_2 = Q_{02}/Q_{12}; \lambda_3 = Q_{03}/Q_{13};$$

3.3. Вычислить суммарную вытяжку:

$$\lambda = Q_0/Q_1 = (Q_{01} + Q_{02} + Q_{03})/(Q_{11} + Q_{12} + Q_{13}).$$

3.4. Проверить формулы, связывающие общую вытяжку и вытяжки по участкам:

$$а) \lambda = \sqrt[n]{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n};$$

$$б) \lg \lambda = (\sum_{i=1}^n Q_i \lg \lambda_i)/Q;$$

$$в) \lambda = (\sum_{i=1}^n Q_i \lambda_i)/Q,$$

где λ_i -вытяжки по участкам $i=1,2,3, n=3$;

$$Q_i = 0,5(Q_{0i} + Q_{1i}); Q = 0,5(Q_0 + Q_1)$$

Сделать выводы о точности указанных формул.

3.5. Вычислить утяжку профиля по среднему участку:

$$Q_{02}/Q_{12} = m\sqrt{\lambda}$$

и найти величину m . Верно ли отношение: $m = (1,0 \dots 1,1)$?

3.6. Проверить, имеется ли перетекание металла из обжимаемых участков 1 и 3 в необжимаемые. Если перетекание отсутствует, то выполняются равенства:

$$(Q_{03} + Q_{01})/Q_0 = (Q_{11} + Q_{13})/Q_1 \text{ и } Q_{02}/Q_0 = Q_{12}/Q_1.$$

Сделать выводы о перетекании.

3.7. Вычислить уширение и вытяжку λ' обжимаемых участков в том случае, если бы отсутствовали необжимаемые участки:

$$\lambda' = (Q_{01} + Q_{03})/(b_{01} + b_{03} + \Delta b) \cdot h_3,$$

a и b вычислить по формуле уширения соответственной полосы при прокатке на гладкой бочке, где коэффициент трения $\mu = 0,3$ и обжатие $\Delta h = h_0 - h_1$.

3.8. Проверить, справедлива ли формула:

$$\lg \lambda = \lg \lambda' (1 - Q_{02}/Q_0),$$

показывающая пропорциональное уменьшение суммарной вытяжки по мере увеличения объема необжимаемой зоны.

Построить график зависимости $\lg \lambda = f(Q_{02}/Q_0)$ по экспериментальным данным, учитывая, что при $Q_{02} = 0 \cdot \lg \lambda = \lg \lambda'$, причем λ' вычислена в п.3.7.

Для проведения работы необходимо иметь четыре-шесть свинцовых образцов, размеры которых заданы из условий, указанных в начале описания работы.

Лабораторная работа №5

Деформация металла в ромбических калибрах

В работе необходимо изучить деформации квадратной полосы в ромбических калибрах в зависимости от основных геометрических параметров калибра (см. Рисунок 5).

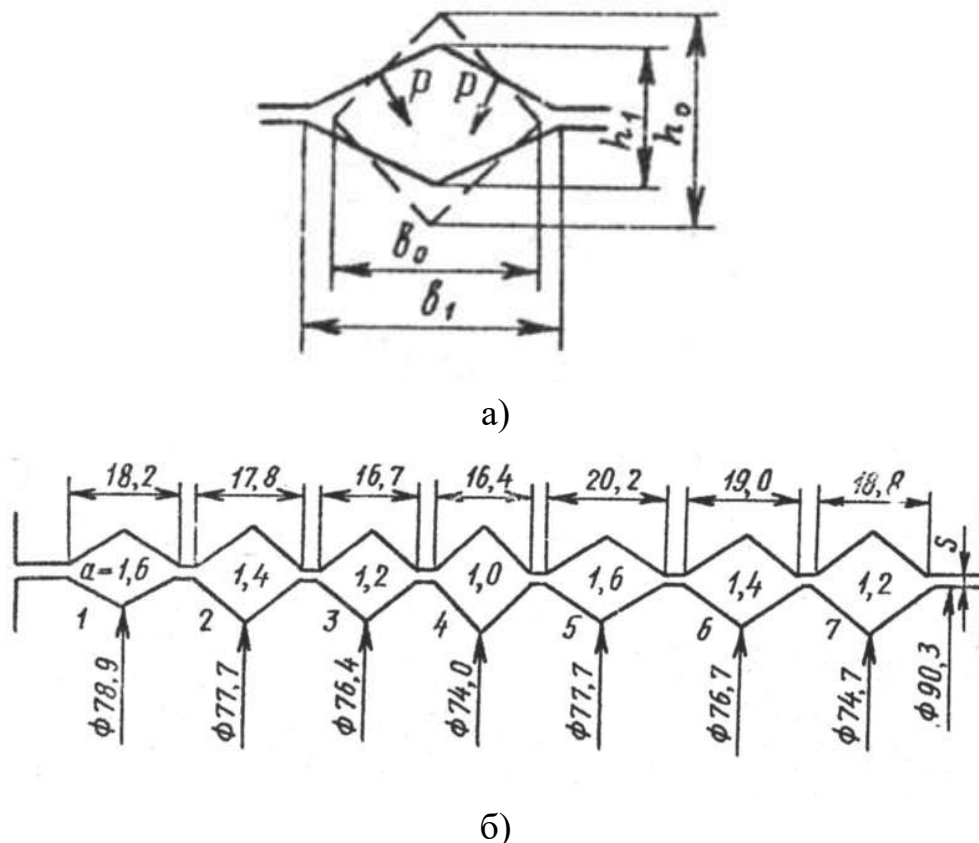


Рисунок 5 – Схема прокатки в ромбических калибрах.

Деформация квадратной полосы в ромбических калибрах отличается от деформации металла на гладкой бочке тем, что боковые стенки калибра отдают дополнительный подпор поперечному течению металла (рисунок 5, а), уменьшая уширение и увеличивая вытяжку металла. Уширение в ромбическом калибре тем меньше, чем меньше угол при вершине калибра, т.е. чем меньше отношение осей ромба $b_1/h_1 = a$. Можно сравнивать деформацию квадратной полосы в ромбе с деформацией прямоугольной соответственной полосы на гладкой бочке, размеры которой определяются по формулам: до прокатки:

$$h_{0c} = b_{0c} = \sqrt{0,5h_0b_0},$$

после прокатки:

$$h_{1c} = 0,7 \cdot h_1; \quad b_{1c} = 0,7 \cdot b_1$$

(по определению соответственной полосы:

$$h_{1c} \cdot b_{1c} = 0,5 \cdot b_1 \cdot h_1 \text{ и } h_{1c}/b_{1c} = h_1/b_1)$$

Уширение соответственной полосы на гладкой бочке равно:

$$\Delta b_c = \Delta h_c \left[\frac{1,15}{2h_{0c}} \cdot (\sqrt{0,5\Delta h_{1c}D_c} - \Delta h_{1c}/2\mu) \right],$$

где μ - коэффициент трения, равный 0,3 при прокатке свинцовых и $\mu=0,5$ при прокатке стальных образцов. Здесь

$$\Delta h_c = h_{0c} - h_{1c}; D_c = D_0 - h_{1c}.$$

Начальный диаметр валков D_0 равен расстоянию между осями валков:

$$D_0 = 0,5(D_b + D_H + S),$$

где S - зазор между валками.

При прокатке ромбической полосы в ромбическом калибре уширение:

$$\Delta b = k_i \Delta b_c,$$

где k_i - коэффициент, учитывающий различив в деформации обоих полюс, значение которого всегда меньше 1.

Работу следует проводить в следующем порядке:

1. В отчете привести точную калибровку прокатных валков при зазоре $S = 1$ мм с указанием всех размеров (рисунок 5,б). На прокатном стане установить зазор 1 мм.

2. Получить восемь свинцовых образцов размерами 13,5x13,5, затем в калибре 4 довести их размеры до точного квадрата. Размеры полученных квадратных образцов занести в таблицу.

3. Исследовать влияние обжатия $\Delta h/h_0$ на уширение Δb и коэффициент k_i при постоянном отношении осей a . Для этого шесть образцов прокатать соответственно в калибрах 3 и 7, 2 и 6, 1 и 5, измерить и занести в таблицу их размеры после деформации. Вычислить $\Delta b = b_1 - b_0$ и построить до трех точек три графика $\Delta b_c = f(\Delta h_c/h_{0c})$ соответственно при $a=1,2; 1,4$ и $1,6$ (на каждом графике третья точка- начало координат). Для каждого из шести случаев прокатки рассчитать соответственные полосы и вычислить их уширение. Построить три графика $\Delta b_c = f(\Delta h_c/h_{0c})$ также при $a=1,2; 1,4$ и $1,6$ (используя нулевую точку). Аналогично вычислить коэффициент k_i и построить соответственно три кривых $k_i = f(\Delta h_c/h_{0c})$ при $a=const$.

4. Исследовать влияние величины a (при постоянном $\Delta h/h_0$) на уширение Δb и коэффициент k_i . Для этого два образца прокатать в калибрах 2 и 5 и конечные размеры занести в таблицу. Построить по трем точкам график

$\Delta b_c = f(a)$ при $\Delta h/h_0 = const$. Аналогично предыдущему вычислить деформацию соответственной полосы и построить зависимости $\Delta b_c=f(a)$ и $k_i=f(a)$. Во всех случаях попользовать нулевую точку (начало координат).

5. Проверить справедливость формулы для расчета уширения в ромбическом калибре:

$$\Delta b = n l_c / h_{csp},$$

$$\text{где } l_c = \sqrt{0,5D_c \Delta h_c}; \quad h_{csp} = 0,5(h_{0c} + h_{1c}),$$

n - некоторый постоянный коэффициент.

Используя восемь проведенных опытов, вычислять среднее значение коэффициента n и статистическими методами определить дисперсию, среднеквадратичное отклонение, абсолютную относительную ошибку. Если относительная ошибка превышает 10%, то формула не верна.

Методика статистической обработки результатов опыта приведена в приложении.

Работу проводят на прокатном стане 90, на котором установлен валки с семью ромбическими калибрами (рисунок 5, б). Используют восемь свинцовых образцов 13,5x13,5x(50...60).

Лабораторная работа №6
Деформация металла в овальных калибрах

В работе необходимо изучить закономерности деформации квадратных образцов в овальных калибрах в зависимости от геометрических параметров калибров.

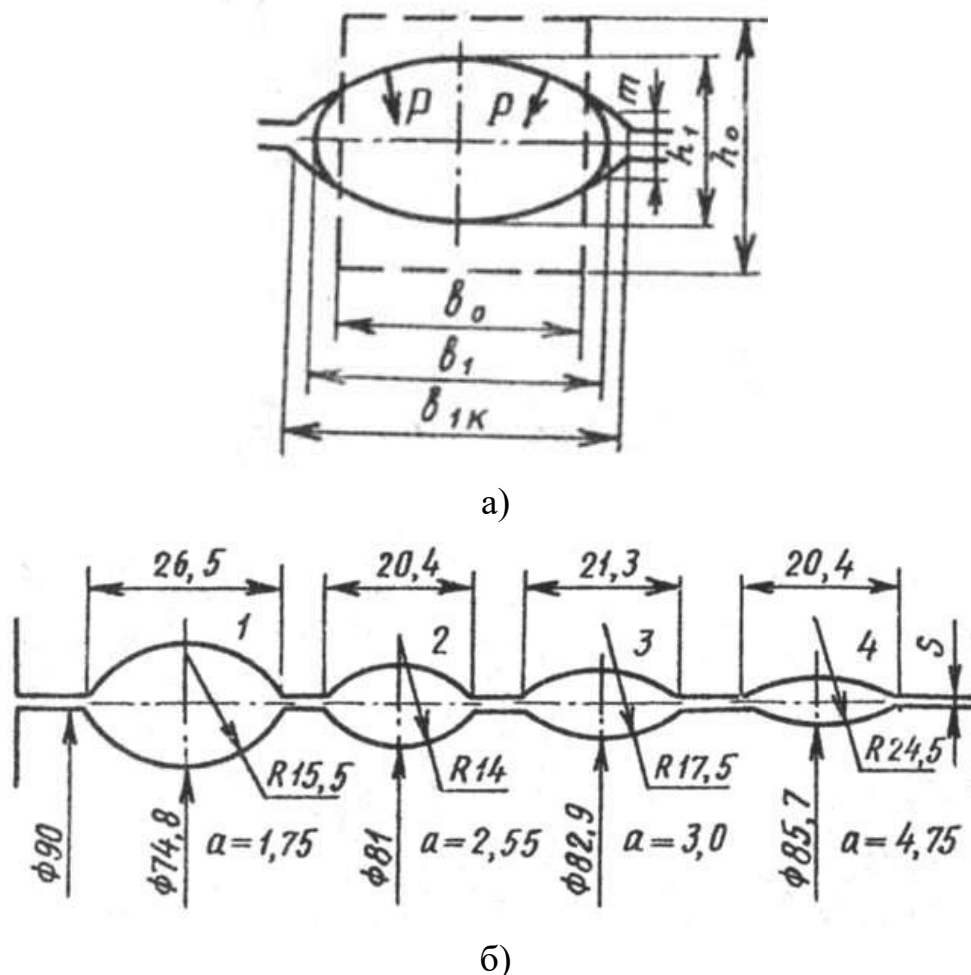


Рисунок 6 – Схема прокатки в овальных калибрах.

По известным соотношениям, вытекающим из определения соответственной полосы:

$$b_{c1} h_{c1} = 0,7 b_1 h_1,$$

$$b_{c1} / h_{c1} = b_1 / h_1,$$

можно найти размеры прямоугольной полосы b_{c1} и h_{c1} , соответственной овальной полосе с размерами b_1 и h_1 (рисунок 6, а). Уширение и вытяжка при прокатке квадратной полосы ($b_0 = h_0$) в овальном калибре до размеров b_1 и h_1 будут иными, чем при прокатке соответственной полосы на гладкой бочке до размеров b_{c1} и h_{c1} . При прокатке в овальном калибре начальный момент

заполнения очага деформации характеризуется резкой неравномерностью высотной деформации: крайние по ширине участки полосы обжимаются, но, взаимодействуя с необжимаемым средним участком, не могут течь в направлении длины и вынужденно уширяются, средний же необжимаемый участок утягивается по высоте за счет принудительной его вытяжки крайними участками. По мере заполнения очага деформации относительное обжатие крайних и среднего участков выравнивается, хотя неравномерность сохраняется до самого выхода металла из валков. Эффект вынужденного уширения и утяжки оказывает существенную роль в общей картине деформации полосы в овальном калибре, уменьшая общую вытяжку и увеличивая общее уширение. Чем больше обжатие $\Delta h = h_0 - h_1$, и радиус R овального калибра, тем меньше этот эффект. С другой стороны, уширение сдерживается наклонными стенками овального калибра, так как наклонные силы P создают дополнительный подпор течению металла в поперечном направлении. Этот эффект тем значительнее, чем меньше радиус R калибра и чем больше отношение b_0/b_{1k} , характеризующее степень заполнения овального калибра.

Итак, уширение в калибре и на гладкой бочке связаны равенством $\Delta b = k_i \Delta b_c$, где k_i может быть больше и меньше 1. Коэффициент k_i определяется обжатием, радиусом валков и степенью заполнения калибра:

$$k_i = f(\Delta h_c/h_0, R/b_{1k}, b_0/b_{1k}).$$

Порядок проведения работы следующий:

1. Нарисовать в отчете точную калибровку валков с указанием размеров (рисунок 6, б) при зазоре между валками 1 мм.
2. Получить 7 образцов из свинца, примерные размеры которых указаны ниже, измерить их и исходные размеры h_0 и b_0 занести в таблицу.
3. Три образца размерами 16x16 прокатать соответственно в калибрах 2, 3 и 4. Установив зазор между валками 2,0; 4,0 и 6,7 мм, после прокатки получить одинаковые значения относительных обжатий $\Delta h_c/h_0$ для всех образцов. В указанных калибрах примерно одинаковы и значения b_0/b_{1k} поэтому, измерив размеры b_1 и h_1 образцов после прокатки и вычислив уширение Δb , можно построить зависимость:

$$\Delta b/\Delta h = f(R/b_{1k}).$$

Уширение соответственной полосы вычисляется по формулам:

$$\Delta b_c = \Delta h_c \left[\frac{1,15}{2h_{0c}} (\sqrt{0,5\Delta h_c D_c} - \Delta h_c/2\mu) \right]$$

$$A = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_{12} X_1 X_2.$$

Построить также график $k_i = f(R/b_{1k})$. Все измеренные и вычисленные параметры занести в таблицу.

4. Два образца размерами 16x16 прокатать в калибре 3 соответственно при зазоре между валками 7,0 и 2,0мм. Используя одну точку предыдущего опил, построить зависимости $\Delta b/\Delta h = f(\Delta h_c/\Delta h_0)$ и $k_i = f(\Delta h_c/h_0)$ при постоянных значениях R/b_{1k} и b_0/b_{1k} .

5. Сформулировать выводы, отражающие влияние основных геометрических параметров очага деформации на уширение в овальных калибрах.

6. Прокатать в калибрах образец размерами 11.5x11,5 при зазоре 1мм и образец 19x19 при зазоре 6мм. Используя одну точку первого опыта, получить зависимость $\Delta b/\Delta h = f(b_0/b_{1k})$ и $k_i = f(b_0/b_{1k})$ при постоянных значениях $\Delta h_c/h_0$ и R/b_{1k} .

7. Проверить справедливость формулы для расчета уширения в овальном калибре $\Delta b = n \cdot l_c/h_{ссп}$, где l_c и $h_{ссп}$ и n рассчитываются и оцениваются статистически аналогично изложенному в предыдущей работе №5.

8. Построить зависимость степени заполнения $\varphi = F_{ов}/F_{кал}$ калибра от отношения осей $a = b_1/h_1$ из опытов, проведенных при $\Delta h_c/h_0 = const$, т.е. в п. 3 и 5. Площадь калибра $F_{кал} = 0,67b_{1k}h_1 + 0,33b_{1k}\delta$, где δ - зазор; площадь овальной полосы $F_{ов} = 0,67b_1h_1 + 0,33b_1m$, где m - притупление овала (см. рисунок 6,а).

В работе используются пять образцов 16x16; один- 11,5x11,5; один- 19x19. Длина всех образцов (50... 60) мм.

Лабораторная работа №7
Прокатка уголка в закрытых калибрах

1. Задача: рассчитать калибровку валков и параметры деформации металла при прокатке в закрытых угловых калибрах.

2. Содержание работы. В курсе отмечается, что существует несколько схем калибровки валков для прокатки уголка. На рисунке 7 показана полосовая схема, в которой уголок формируется из прямоугольной (квадратной) заготовки, как некоторая изогнутая полоса. Методика расчета деформации в этом случае почти полностью совпадает с полосовой. Необходимо сначала наметить количество пропусков n и размеры заготовки h_0 и b_0 . В нашем случае $n = 4$ и $h_0 = b_0 = 14$ мм. Размеры конечного уголка обычно заданы. У нас $h_{04} = 2,2$; $b'_{cp4} = 14,2$; $F_4 = 53$ мм².

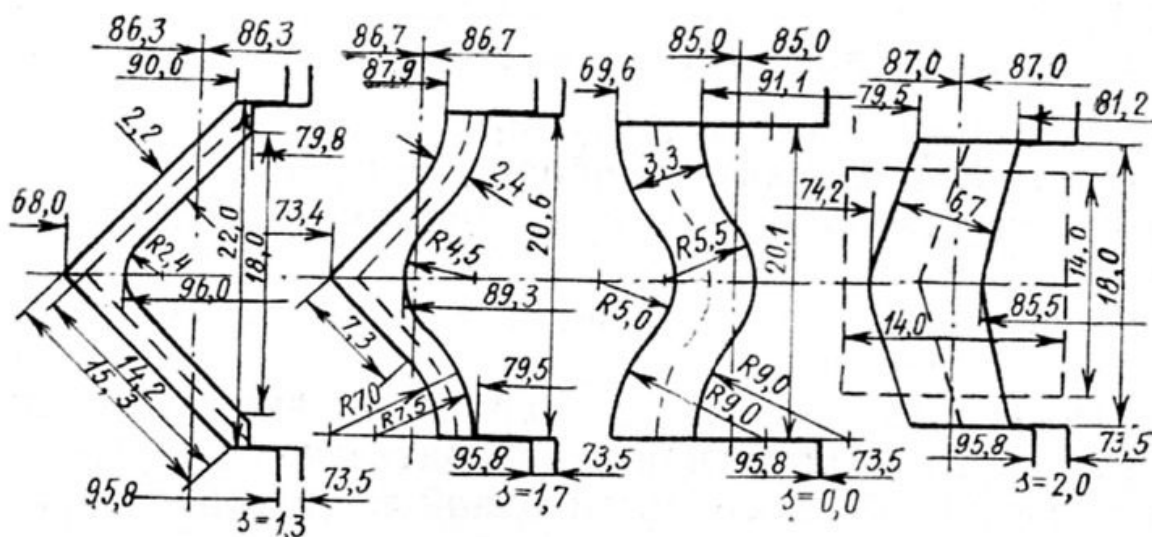


Рисунок 7 – Калибровка валков для прокатки уголка.

Суммарная вытяжка за n пропусков $\lambda_{\Sigma} = F_0/F_n = 14 \times 14 / 53 = 3,7$. Средняя вытяжка за 1 пропуск $\lambda_{cp} = \sqrt[n]{\lambda_{\Sigma}}$ не должна превышать некоторое значение, зависящее от стана и условий прокатки. У нас $\lambda_{cp} = \sqrt[4]{3,7} = 1,37$. Высотную деформацию уголка по пропускам необходимо задать, уменьшая ее по ходу прокатки. Суммарный коэффициент высотной деформации $(1/\eta)_{\Sigma} = h_0/h_n$. Частные коэффициенты $(1/\eta)_i = h_{i-1}/h_i$ высоты по пропускам $h_i = h_{i-1} - \Delta h_i$ и обжатия $\Delta h_i = h_{i-1} - h_i$. В нашем случае $(1/\eta)_i = 2,09; 2,03; 1,38$ и $1,09$; и $1,09$; $h_i = 6,7; 3,3; 2,4$ и $2,2$ мм и $\Delta h_i =$

7,3; 3,4; 0,9; 0,2 мм. Необходимо проверять полученные обжатия по максимальному углу захвата: $\Delta h_i \leq D(1 - \cos \alpha)$. При сортовой прокатке $\alpha = 20 \dots 24^\circ$.

Чтобы рассчитать уширение уголка по пропускам, необходимо привести его к некоторой полосе (соответственной или приведенной). Например, приведенная полоса может иметь размеры $h_{\text{пi}} = h_i$ и $b_{\text{пi}} = 2'b_{\text{срi}}$ (ширина выбрана по средней линии уголка, обозначенной на рисунке 7 штриховыми линиями).

Уширение приведенной полосы вычисляется по формуле:

$$\Delta b_i = \frac{1,15\Delta h_i}{2h_{\text{пi}}} \left(\sqrt{0,5D\Delta h_i} - \frac{2h_i}{2\mu} \right)$$

Уширение полоч уголка по средней линии $2\Delta b'_{\text{срi}}$, с одной стороны, должно быть меньше, чем на гладкой бочке, так как наклонные боковые стенки калибра сдерживают поперечную деформацию, но, с другой стороны, оно может быть больше, потому что при изгибе и обжатии полоч уголка их длина возрастает даже при полном отсутствии уширения. Второй фактор может быть легко учтен по чертежу валков. Например, из рисунка 8, а, следует, что только за счет изгиба полоса будет иметь ширину средней линии $2\Delta b'_{\text{срi}}$. Влиянием боковых стенок в первом приближении можно пренебречь, тогда ширина средней линии после прокатки вычисляется по формуле: $2b_{\text{срi}} = 2b''_{\text{срi}} + \Delta b_i$.

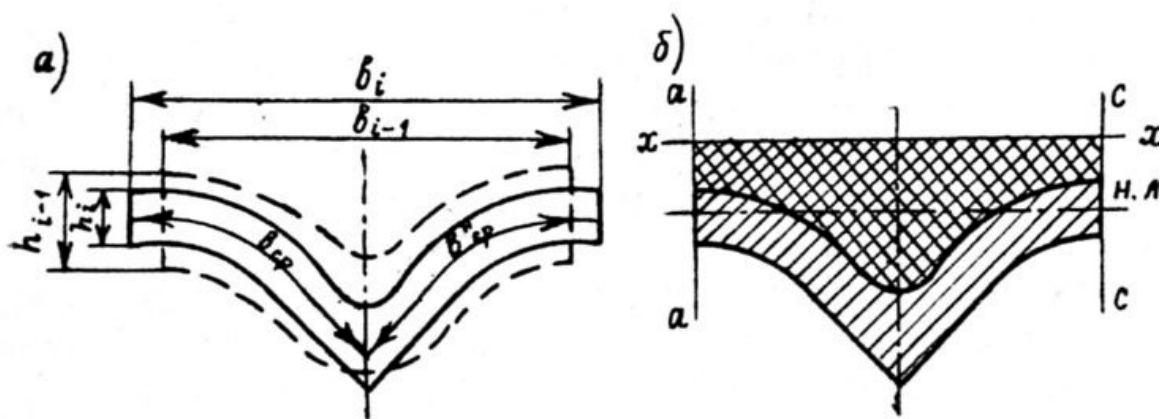


Рисунок 8 – Размеры уголка до и после прокатки (а); определение нейтральной линии калибра (б).

3. Порядок проведения работы:

3.1. Точно вычертить калибровку валков стана (см. рисунок 7, развернуть чертеж на 90° против часовой стрелки).

3.2. Получить свинцовый образец размерами 14x14, измерить его точные размеры h_0 и b_0 , нанести две поперечные риски на образце и измерить расстояние между ними l_0 . Все размеры занести в таблицу.

3.3. Установить соответственно зазоры между валками $\delta=2,0; 0; 1,7$ и $1,3$ мм. Прокатать образец до конечного уголка в 4 пропуска.

3.4. После каждого пропуска отрезать темплеты и по ним измерить: расстояние между рисками l_i , высоту полки h_i ширину уголка b_i , ширину средней линии полосы без учета уширения $2b_{cpi}''$ и с его учетом $2b_{cpi}$. Вычислить обжатие Δh_i высотные коэффициенты $(1/\eta)_i$, уширение средней линии $\Delta b_{cp} = 2b_{cpi} - 2b_{cpi}''$, уширение профиля $\Delta b_i = b_i - b_{i-1}$, вытяжку $\lambda_i = F_{i-1}/F_i$, где F_i вычисляется по чертежу темплета, увеличенного в 10 раз. Значение b_{cp}'' и b_{cpi} , определяются по чертежу темплета. Проверить условия захвата полосы в каждом пропуске.

3.5. В каждом пропуске рассчитать размеры приведенной полосы и вычислить ее обжатие и уширение (привести отдельную таблицу расчетов для этой полосы). Сравнить уширение приведенной полосы Δb_{pi} и фактическое уширение Δb_{cp} . Сделать выводы о причинах их несовпадения (или совпадения). Вычислить коэффициент стеснения калибра $k_i = \Delta b_{cp} / \Delta b_{pi}$.

Сделать выводы о наличии и величине стесняющего действия калибров.

3.6. Вычислить и нанести на чертеже в одном из калибров среднюю линию валков (с. л.), т. е. горизонталь, проходящую по середине между осями валков и соответствующую среднему диаметру валков:
$$D_{cp} = D_B/2 + D_H/2 + s.$$

3.7 Вычислить одним из методов нейтральную линию калибра (н.л.), относительно которой моменты сил трения, действующих на верхний и нижний валки, равны. Например:

- провести вне калибра горизонтальную xx и две вертикальные линии aa и cc , ограничивающие калибр по ширине (рисунок 8,б);

- определить площади F_B и F_H соответственно между контуром верхнего валка и указанными линиями (правая штриховка) и контуром нижнего валка и указанными линиями (левая штриховка);

- вычислить координату н.л. по формуле: $y_c = 0,5 (F_B + F_H) / b_k$; нанести н. л. калибра на чертеж.

3.8. Сделать выводы о совпадении н.л. и с.л., о верхнем или нижнем давлении.

3.9. Вычертить графики изменения по пропускам: вытяжки $\lambda_i = f(i)$; высотной деформации $(1 - \eta)_i = f(i)$ и коэффициента стеснения $k_i = f(i)$.

4. Образец свинцовый 14x14x100 (один), площади по проходам (для контроля): 196-125-88-66-53.

Лабораторная работа №8

Прокатка фасонного профиля в открытых калибрах

1. Задача: проанализировать две калибровки валков одного и того же профиля «собачка», выполненных в 3 и 4 пропуска.

2. Содержание работы. При калибровке валков несимметричного фасонного профиля большое значение имеют схема построения и конфигурация калибров. Открытые калибры проще в изготовлении, позволяют исправить ошибки в расчетах путем изменения зазоров между валками, особенно при наличии ребровых пропусков, не имеют глубоких врезов в валки, что обеспечивает их высокую прочность. Однако точность изготовления профиля в таких калибрах ниже, чем в закрытых. Прокатка несимметричного профиля должна проходить при равномерной его деформации по ширине, особенно в последних пропусках, при надежном его захвате, при отсутствии скручивающих моментов. Эти эффекты оцениваются графоаналитическим методом. На рисунке 9 показаны конфигурации: жирной линией - калибра, тонкой линией - профиля полосы до прокатки, штриховыми линиями - положение валков в момент захвата.

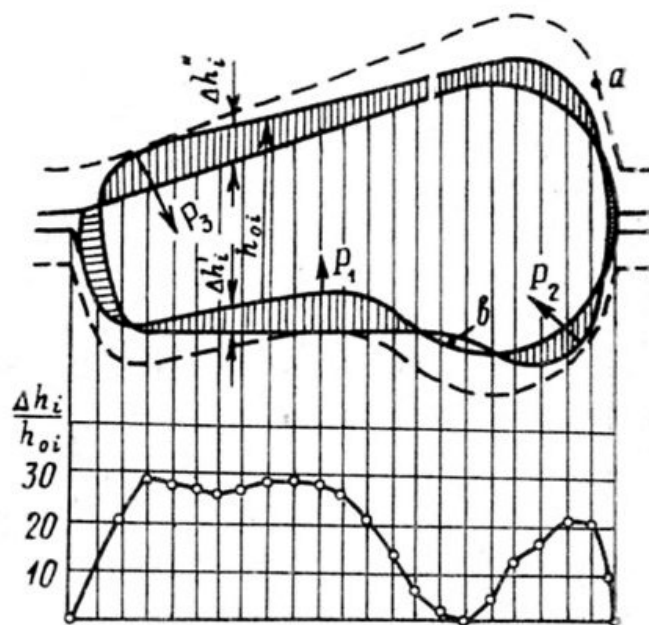


Рисунок 9 – Графоаналитический метод оценки деформации в калибре.

Как видно, захват полосы осуществляется только тремя точками, в которых возникают силы P_1 , P_2 и P_3 . Такой захват недостаточно надежен, полоса может менять свое положение в калибре, силы P_2 и P_3 создают момент, который поворачивает полосу против часовой стрелки до касания металла в точке

a , но это в свою очередь увеличивает область b , в которой металл не прорабатывается валками даже при полностью сведенных валках; области b вообще нежелательны, так как в них происходит дополнительная утяжка металла. Таким образом, анализ захвата показал, что конфигурации исходной полосы и калибра неудачны.

Далее анализируют распределение деформации по ширине полосы. Для этого разбивают ширину калибра n вертикальными сечениями и для каждой i -й части определяют высотную деформацию:

$$\Delta h_i/h_{0i} = (\Delta h'_i + \Delta h''_i)/h_{0i},$$

где h'_i и h''_i - абсолютные деформации со стороны нижнего и верхнего валка. График $\Delta h_i/h_{0i}$ показывает, что обжатие распределено неравномерно по ширине: левая часть профиля обжимается больше, чем правая, следовательно, при выходе из валков полоса должна изгибаться вправо; за счет взаимодействия левой и правой части первая будет испытывать подпор и вынужденное уширение, а вторая - растяжение и утяжку; особенно сильная утяжка ожидается в области b , где обжатие минимально. Указанная неравномерность деформации допускается в первых калибрах, когда полоса достаточно массивна и имеет высокую температуру, но недопустима в последних проходах.

Проведенный графоаналитический анализ может дать повод для изменения конфигурации калибра или поступающей в него полосы.

На рисунках 10 и 11 приведены две калибровки валков для прокатки одного и того же профиля. Графоаналитическим методом можно оценить достоинства и недостатки каждой, из них.

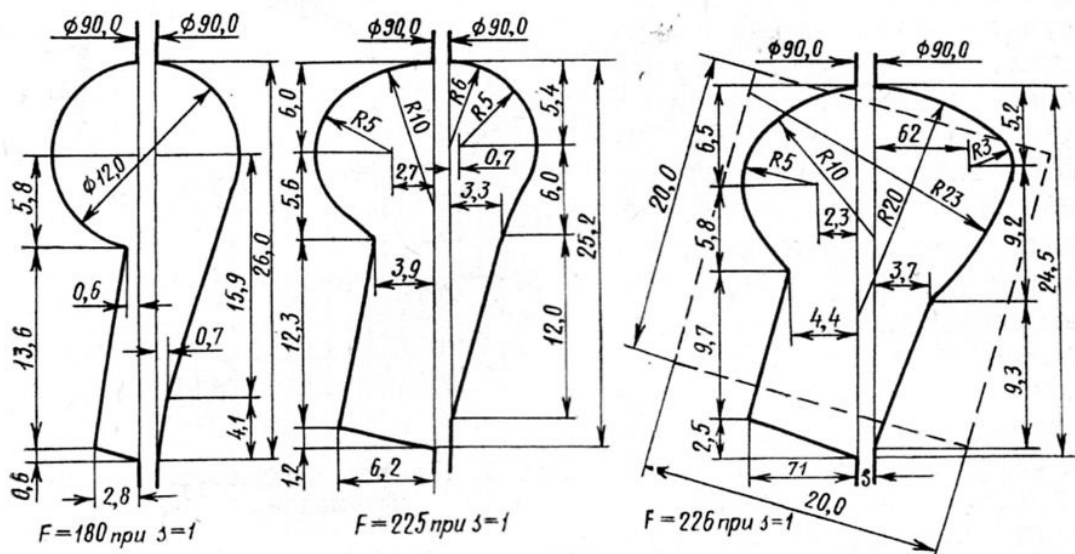


Рисунок 10 – Калибровка валков для прокатки фасонного профиля «собачка» в три пропуса.

3. Порядок проведения работы:

3.1. Вычертить точную калибровку валков по обоим вариантам и приложить чертеж к отчету. Масштаб 5:1.

3.2. Получить два свинцовых образца с размерами 19x25 и 20x20 длиной 100мм, нанести на них риски на расстоянии примерно 80мм. Точные размеры занести в таблицу опытных данных.

3.3. Прокатать образцы в валках, устанавливая в них зазоры, которые требуются по чертежу. Зазор устанавливается с помощью мерных прокладок, подготовленных к лабораторной работе.

3.4. После каждого пропуска измерить расстояние между рисками, затем отрезать темплет (после этого нанести новую риску, если она окажется отрезанной).

3.5. В увеличенном масштабе 5:1 вычертить темплеты и наложить чертежи на калибровку валков так, как показано на рисунке 7.

3.5. Провести графоаналитический анализ деформации в одном или нескольких калибрах (по указанию преподавателя); сделать выводы о достоинствах и недостатках проанализированного калибра, показать пути улучшения условий деформации в калибре.

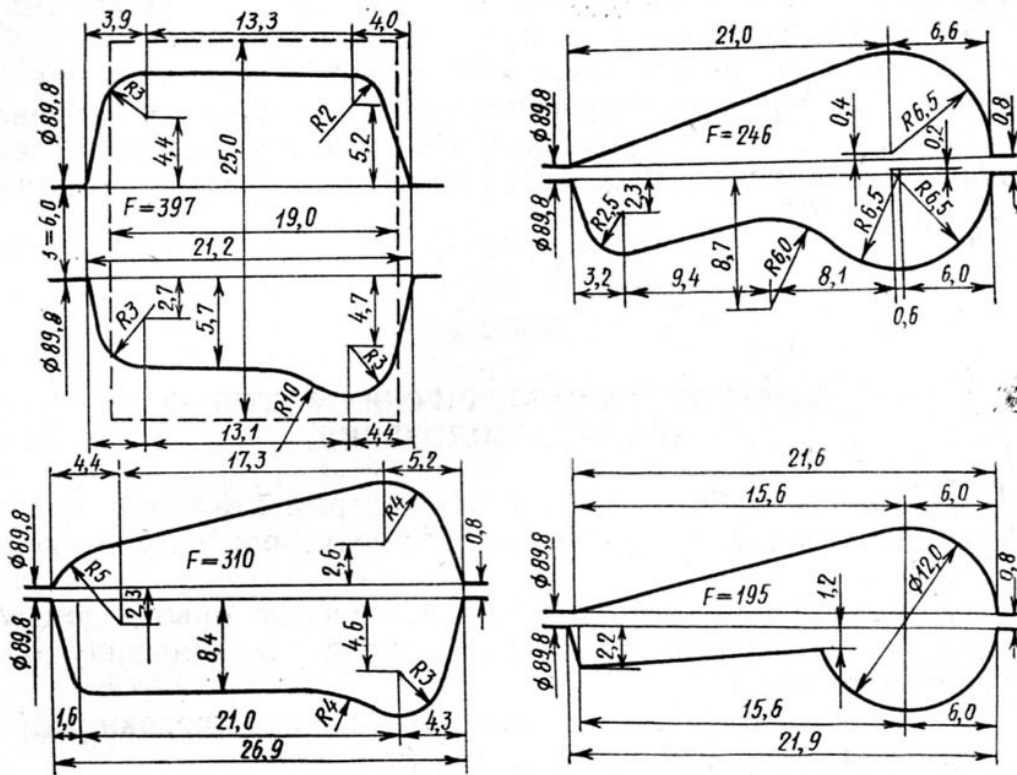


Рисунок 11 – Калибровка валков для прокатки профиля «собачка» в четыре пропуска.

3.6. Отмечая условия прокатки в каждом пропуске, сделать выводы о достоинствах и недостатках обеих схем прокатки: какая из схем лучше по условиям захвата, удобствам задачи полосы в калибр, условиям изгиба и скручивания полосы, точности заполнения калибров и проработки деталей профиля, качеству поверхности полосы. В отчете подробно описать поведение полосы после каждого пропуска.

3.7. Рассчитать по расстоянию между рисками вытяжку полос после каждого пропуска. Построить графики распределения вытяжек по пропускам по обоим калибровкам.

3.8. Наложить чертежи полос до и после какого-нибудь пропуска (по указанию преподавателя). Вычислить:

а) смещенную площадь F_h по высоте (заштрихованная вертикальной штриховкой на рисунке 9);

б) смещенную площадь F_b по ширине полосы (горизонтальная штриховка на рисунке 9);

в) средний показатель уширения $(\Delta b/\Delta h)_{cp} = F_b/F_h$;

г) сравнить левую и правую смещенные площади по ширине $F_{bл}$ и $F_{bп}$; если они неодинаковы, то сделать выводы о причинах этого явления; сделать выводы о наличии вынужденного уширения и утяжки.

4. Образцы и прокатные валки. Установить на стане 90 (в одну и другую клеть фасонные валки для прокатки профиля «собачка» (в 3 и 4 пропуска). Подготовить из свинца один образец размерами 19x25x100 и один образец размерами 20x20x100.

Лабораторная работа №9

Технология прокатки толстого листа

1. Задача: рассчитать режим обжатия сляба на толстолистовом стане и изучить форму листа и выход годного при различных схемах прокатки.

2. Содержание работы. При производстве толстого листа одним из основных критериев качества технологии является выход годного. После раскатки сляба или слитка в лист осуществляются его разметка и раскрой на отдельные карточки в соответствии с требованиями заказчика. По оптимальной технологии количество обрезки должно быть минимальным. Расходный коэффициент металла, равный отношению веса исходного слитка (сляба) к весу вырезанных готовых листов, зависит как от размеров исходного слитка, так и от режима его прокатки.

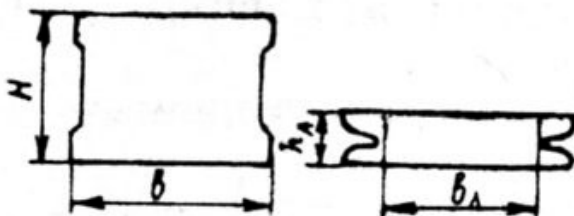


Рисунок 12 – Форма поперечного сечения листа после прокатки сляба с малыми обжатиями.

При малых обжатиях полоса приобретает двойную бочкообразность (рисунок 12), которая в конечном счете приводит к образованию боковых складок и повышенной обрезки металла по ширине. Прокатка с малыми обжатиями характерна для старых станов.

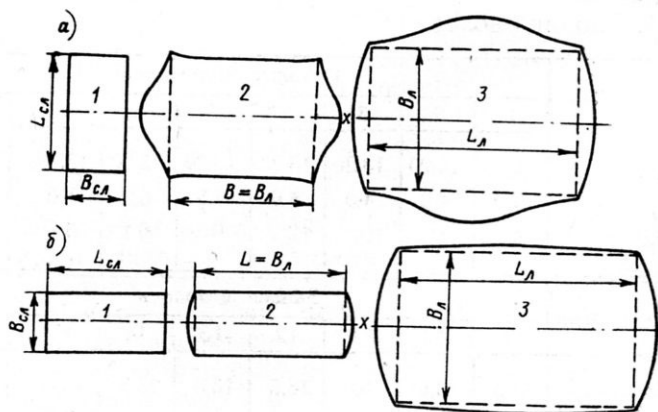


Рисунок 13 – Продольная (а) и поперечная (б) схемы прокатки листа: 1- исходный сляб; 2- сляб после разбивки ширины; 3- готовый лист.

Большое влияние на выход годного оказывает схема прокатки. В связи с тем, что концы листа приобретают веерообразную форму, различаются величины обреза при продольной и поперечной схемах прокатки. На рисунке 13 представлена продольная схема, при которой направления длины слитка (сляба) и листа совпадают. При такой схеме сначала сляб прокатывают в поперечном направлении до получения заданной ширины B , равной ширине готового листа $B_{дл}$, после чего раскат кантуют на 90° и до готовой толщины прокатывают в продольном направлении. Как видно, из-за веера, полученного в первых проходах при разбивке ширины, боковые кромки готового листа имеют кривизну, которая тем больше, чем больше разность $B - B_{сл}$ и меньше деформация за один пропуск.

В меньшей мере этот эффект проявляется при поперечной схеме прокатки. В этом случае в первых проходах длину сляба наращивают до требуемой ширины B , затем лист кантуют на 90° и прокатывают до готовых размеров (рисунок 14). Следовательно, при поперечной схеме длина сляба становится шириной готового листа. Боковые кромки менее искривлены из-за меньшего веера при прокатке в первых проходах. Несмотря на указанные достоинства схема поперечной прокатки применяется реже, чем продольной.

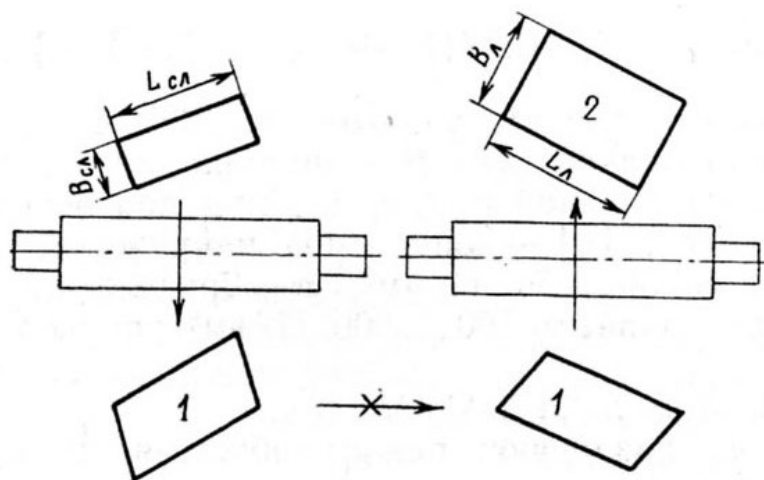


Рисунок 14 – Прокатка листа «на угол»: 1- после первого пропуска; 2- после второго.

На станах трио Лаута применяется прокатка на угол. На рисунке 14 приведена форма листов после нечетного (1) и четного (2) пропусков. Как видно, за два пропуска лист наращивает одновременно и ширину, и длину, а эффект вееро-образования практически отсутствует. При этом также не возникает резких нагрузок на привод стана при захвате листа.

3. Порядок проведения работы:

а) Расчетная часть.

Студент, получив три свинцовых образца, размеры которых в 10 раз меньше промышленных слябов, должен рассчитать режим обжатия промышленного сляба по трем описанным выше схемам (на упражнениях). При этом, как указывалось, в каждой схеме лист прокатывается сначала с исходной толщины $H_{сл}$. До некоторой промежуточной толщины H , которая обеспечивает раскат требуемой ширины B .

При расчете величины H в продольной и поперечной схемах необходимо предварительно задать количество n_y проходов, обеспечивающих получение размера B . Если бы не было уширения полосы, то суммарное обжатие за n_y пропусков было бы:

$$\Sigma \Delta h' = H_{сл} - H,$$

где $H = B_{сл} H_{сл} / B$ для продольной схемы и $H = L_{сл} H_{сл} / B$ для поперечной схемы. При наличии уширения $\Sigma \Delta h < \Sigma \Delta h'$.

Максимальное обжатие за каждый пропуск Δh_{max} определяется либо углом захвата: $\Delta h_{max} = D(1 - \cos \alpha_{max})$, либо давлением металла на валки; на двухвалковом стане:

$$\Delta h_{max} = 3,2D^5 [\sigma] / \{ [L + (l_{ш} - 0,5B)]_p B_1 \}^2.$$

Здесь α_{max} можно принять равным $20 \dots 20^\circ$; L и $L_{ш}$ длины бочки и шейки валков, мм; т.е. B_1 – ширина листа, мм, т.е. $B_1 = L_{сл}$ при продольной и $B_1 = B_{сл}$ при поперечной схемах (плюс уширение); $[\sigma]$ – допустимое напряжение на изгиб; принять равны $50 \dots 70 \text{ Н/мм}^2$; p – среднее давление на валки, принять равным $100 \dots 200 \text{ Н/мм}^2$ по указанию преподавателя.

Таким образом, $n_y \geq \Sigma \Delta h / \Delta h_{max}$.

Наметив n_y , назначают режим обжатия по пропускам, причем в каждом пропуске рассчитывают истинное уширение:

$$\Delta b / \Delta h = (1 + \Delta h / h_0)(\mu l / h_0 - \Delta h / h_0),$$

где $l = \sqrt{0,5\Delta h D}$ и μ – коэффициент трения по Эжелунду: $\mu = k_1 k_2 k_3 (1,05 - 0,0005t^\circ)$, где k_1 , k_2 и k_3 – коэффициенты, соответственно учитывающие материал валков и проката и скорость прокатки; t° – температура, $^\circ\text{C}$. В нашем случае можно положить $\mu = 0,5$.

С учетом уширения Δb определяют ширину B и длину L , раската в каждом пропуске. После n_y пропусков должен получиться заданный размер B .

Иначе необходима корректировка режима обжатия. После достижения размера B лист кантуется на 90° и прокатывается до готовых размеров за n_k пропусков. Методика расчета этих пропусков такова же.

После расчета режима обжатия в каждом пропуске необходима проверка двигателя по максимальному моменту и за весь режим прокатки – проверка условий перегрева двигателя. Однако такие расчеты не предусмотрены в данной лабораторной работе.

При прокатке по схеме «на угол» обычно раскат задают в валки так, чтобы диагональ его была параллельна оси валка (см. рисунок 14). Приблизительно можно задать значение высотного обжатия за два пропуска – (нечетный и четный) $\eta = H_0/H_2$ и распределить его по пропускам так, чтобы после четного пропуска получить лист прямоугольной формы (в первом пропуске несколько больше, чем во втором.)

Формулы для расчета размеров листа после прокатки «на угол» сложны, поэтому мы их не будем вычислять, но измерим в процессе исполнения работы.

Все заданные расчетные работы студент должен выполнить и оформить в виде расчетной схемы обжатий сляба. Преподаватель проверяет расчеты и на основании этого решает вопрос о допуске студента ко второй (практической) части работы.

б) Практическая часть.

На лабораторной работе студент должен прокатать полученные слябы по расчетным режимам до конечных размеров, т. е. до заданных ширины и высоты. При этом длина может быть любой (желательно максимальной). После каждого пропуска необходимо измерять толщину и ширину раската. После полной прокатки необходимо разметить раскат чертилкой в соответствии с заданием, вычислить расходный коэффициент металла как отношение полного объема образца к объему металла, ограниченного разметкой. В отчете необходимо начертить все три раската с их разметкой. Сделать выводы о достоинствах каждой схемы. Привести в отчете расчетные и фактические режимы обжатий, т. е. расчетные и фактические размеры после каждого пропуска, а также вычисленные расходные коэффициенты.

4. Образцы. Для выполнения работы необходимы три свинцовых образца размерами $20 \times 40 \times 80$.

Лабораторная работа №10
Продольная периодическая прокатка

1. Задача: изучить характер деформации полосы при продольной периодической прокатке, сравнить контуры валка и полосы после прокатки при различных технологических параметрах инструмента.

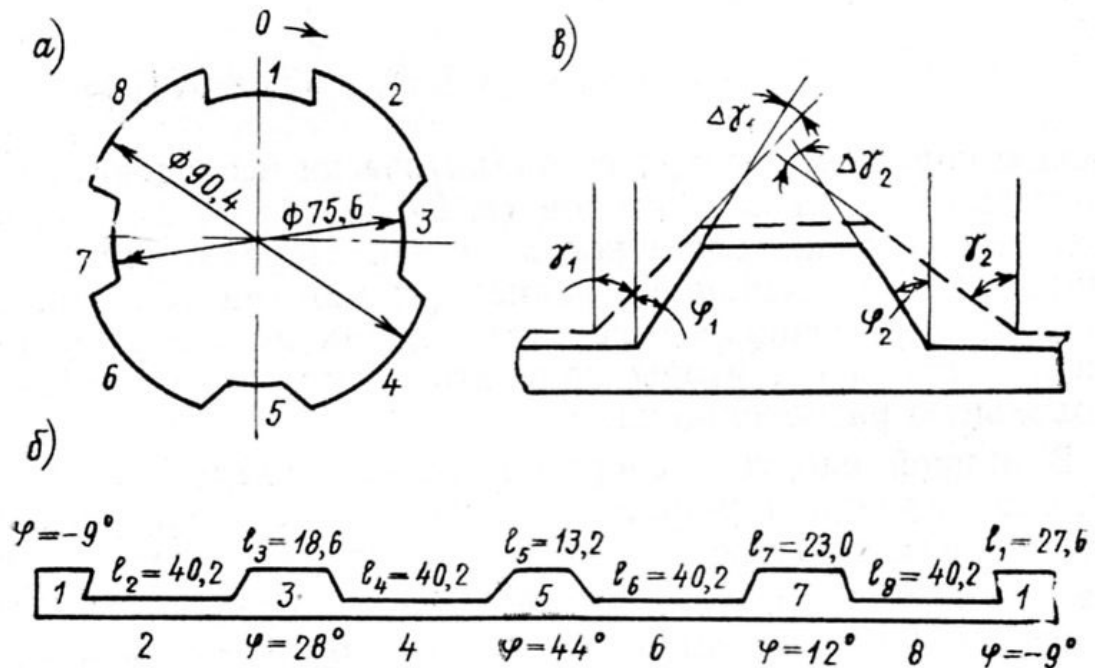


Рисунок 15 – Валки (а) и их развертка (б) для периодической прокатки (1- 8-участки валка); контуры полосы (штриховая линия) и валков (сплошные линии) на одном участке (в).

2. Порядок проведения работы:

2.1. Нарисовать точные чертежи валков и их развертку (рисунок 15, а и б). Описать в отчете особенности конструкции каждого участка валков.

2.2. Подготовить свинцовые образцы высотой 15...20 мм, шириной 15...20 мм и длиной не менее 150...200 мм. Количество образцов задается преподавателем. Произвести измерение размеров образцов с помощью микрометра и занести их в таблицу.

2.3. Задать максимальные углы захвата при начальном $\alpha_{н max}$ и установившемся $\alpha_{у max}$ режимах прокатки, причем $tg\alpha_{н max} \leq \mu$ и $\alpha_{у max} \approx 2\alpha_{н max}$. Принять коэффициент трения свинца на стальных валках равным $\mu = 0,3$, если поверхность валка и образца перед прокаткой обильно натерты мелом.

Вычислить максимальные обжатия:

$$\Delta h_n = D(1 - \cos \alpha_{n \max}) \text{ и } \Delta h_y = D(1 - \cos \alpha_{y \max}).$$

Назначить обжатия по выступу валка из условия $\Delta h_{\max} < \Delta h_y$ и обжатия по впадине валка из условия $(1,5 \dots 1,0) \leq \Delta h_{\min} \leq \Delta h_n$. При этом получаются обжатия максимальные порядка 9мм, а минимальные около 1,5мм.

2.4. Установить расстояние между валками в соответствии с расчетами и произвести прокатку полосы.

2.5. Рассчитать значение опережения на каждом стационарном участке профиля, соответствующего выступу валка, по длине этого участка на валках L_B и полосе L_H : $s = 100(L_H - L_B)/L_B$.

2.6. Построить зависимость опережения s на участках, соответствующих выступам валка, в зависимости от угла наклона φ граней этих же участков на валках (углы указаны на рисунке 15,в): $s = f(\varphi)$.

2.7. Вычертить в масштабе 5:1 контуры опережения и отставания какого-нибудь участка прокатанной полосы (сплошные линии на рисунке 15,в). Наложить на них контуры развертки валков в том же масштабе (штриховые линии на рисунок 15,в).

Сравнить конфигурацию валков и полосы. Измерить углы γ_1 и γ_2 контуров опережения и отставания на каждом участке полосы. Найти разность углов наклона полосы и валков: $\Delta\gamma_1 = \gamma_1 - \varphi_1$ и $\Delta\gamma_2 = \gamma_2 - \varphi_2$.

2.8. Построить зависимости разности углов от угла на валках: $\Delta\gamma_1 = f(\varphi)$ и $\Delta\gamma_2 = f(\varphi)$.

2.9. Сделать выводы об оптимальных углах наклона граней валков, обеспечивающих минимальное опережение и достаточную проработку переходных контуров (минимум $\Delta\gamma_1$ и $\Delta\gamma_2$).

Приложение

Методический указания по обработке результатов наблюдения

Все лабораторные работы по курсу «Технология обработки давлением» построены по единому принципу: в каждой из них на основе проведенного эксперимента требуется либо построить зависимость некоторого параметра от ряда технологических факторов, либо найти в ней недостающий коэффициент. Методы обработки результатов наблюдения являются общими для многих работ, поэтому целесообразно изложить их отдельно. Здесь приведены только справочные материалы для нормального закона распределения случайных величин, встречающегося в практике лабораторных измерений.

1. Пусть требуется оценить или найти значение некоторого коэффициента α , имея N его размеров $a_1, \dots, a_i, \dots, a_N$. По правилам статистической обработки результатов наблюдений необходимо найти:

а) среднее значение:

$$\bar{a} = \sum_{i=1}^N (a_i / N), \quad (1)$$

б) выборочную дисперсию наблюдения:

$$\sigma^2 = [\sum_{i=1}^N (a_i - \bar{a})^2] / (N - 1), \quad (2)$$

в) среднеквадратичную погрешность результатов наблюдений:

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma^2} / N, \quad (3)$$

г) доверительный интервал разброса величины a с вероятностью

$$\Delta a = t_\alpha \sigma_a,$$

где t_α – коэффициент Стьюдента, определяемый по таблице (Вероятность α задает преподаватель или сам студент).

Таблица 1 – Значение коэффициента Стьюдента t_α

N \ α	Значение коэффициента Стьюдента t_α		
	при α		
	90	95	98
2	6,31	12,71	31,82
3	2,92	4,30	6,96
4	2,35	3,18	4,54
5	2,13	2,87	3,75
6	2,02	2,57	3,36
7	2,94	2,45	3,14
8	1,90	2,36	3,00
9	1,86	2,31	2,90

д) дать оценку a с вероятностью α %:

$$a = \bar{a} \pm \Delta a, \quad (4)$$

е) относительную погрешность измерения, равную

$$\varepsilon = \pm(\Delta a/a) \cdot 100\%.$$

2. Пусть требуется найти зависимость параметра y от ряда технологических факторов X_1, X_2, \dots, X_n , имея для этого N наблюдений, причем $N > (n + 1)$. Случай, когда $N \leq (n + 1)$ обсуждать не будем. Искомая зависимость имеет вид:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + \dots + b_{n-1,n}X_{n-1}X_n + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + \dots + b_{nn}X_n^2 + \dots \quad (5)$$

Как видно, зависимость содержит свободный член b_0 , линейные члены (до b_nX_n), парные произведения (до $b_{n-1,n}X_{n-1}X_n$), квадратичные члены (до $b_{nn}X_n^2$) и т.д. Любую зависимость (5) можно представить в форме линейного уравнения, обозначив $X_1X_2 = X_{n+1}, X_1X_3 = X_{n+2}, \dots$,

$$X_n^2 = X_k; y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k. \quad (6)$$

Нахождение $(k + 1)$ неизвестные величины $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ из N опытов при $N > k + 1$ осуществляется методом наименьших квадратов.

Суть его состоит в том, чтобы усредненную кривую провести между наблюдаемыми точками y_i с наименьшим суммарным квадратным отклонением от них (рисунок 16).

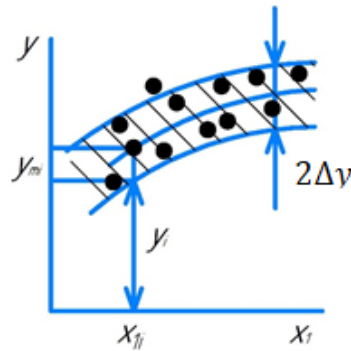


Рисунок 16 – Кривые суммарных отклонений

Искомое уравнение удовлетворяет условию: $J = \sum_{i=1}^N (y_i - y)^2 \rightarrow \min$. Минимум функционала J обеспечивается в том случае, когда его производные по неизвестным $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ равны нулю:

$$\frac{\delta J}{\delta b_0} = 0, \frac{\delta J}{\delta b_1} = 0, \dots, \frac{\delta J}{\delta b_k} = 0.$$

Получим систему $k + 1$ уравнений с $k + 1$ неизвестными. Не приводя промежуточных выкладок, запишем полученную систему уравнений в конечном виде:

$$Nb_0 + b_1 \sum_{i=1}^N x_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^N x_{2i} + \dots + b_k \sum_{i=1}^N x_{ki} = \sum_{i=1}^N y_i,$$

$$b_0 \sum_{i=1}^N x_{1i} + b_1 \sum_{i=1}^N x_{1i}x_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^N x_{2i}x_{1i} + \dots + b_k \sum_{i=1}^N x_{ki}x_{1i} = \sum_{i=1}^N y_i x_{1i},$$

$$b_0 \sum_{i=1}^N x_{2i} + b_1 \sum_{i=1}^N x_{1i}x_{2i} + b_2 \sum_{i=1}^N x_{2i}x_{2i} + \dots + b_k \sum_{i=1}^N x_{ki}x_{2i} = \sum_{i=1}^N y_i x_{2i},$$

.....

$$b_0 \sum_{i=1}^N x_{ki} + b_1 \sum_{i=1}^N x_{1i} x_{ki} + b_2 \sum_{i=1}^N x_{2i} x_{ki} + \dots + b_k \sum_{i=1}^N x_{ki} x_{ki} = \sum_{i=1}^N y_i x_{ki}.$$

Здесь $\sum_{i=1}^N x_{1i}$ – сумма всех N опытных значений переменного x_1 , то есть

$$\sum_{i=1}^N x_{1i} = x_{11} + x_{12} + x_{13} + \dots + x_{1N}.$$

Аналогично

$$\sum_{i=1}^N x_{1i} x_{2i} = (x_1 x_2)_1 + (x_1 x_2)_2 + \dots + (x_1 x_2)_N$$

и так далее.

Решив систему уравнений, получаем требуемые коэффициенты

$$b_0, b_1, b_2, \dots, b_n.$$

Необходимо оценить точность полученного уравнения статистическими методами, а именно найти:

а) среднеквадратичную погрешность

$$\sigma_y = \sqrt{[\sum_{i=1}^N (y_i - y)^2] / (N - 1)N}, \quad (7)$$

где y_i – измеренное значение, а y – рассчитанное по уравнению (7) при том же значении факторов

б) доверительный интервал и оценку y с вероятностью α %:

$$\Delta y = tg \alpha \sigma_y; \quad (8)$$

$$y = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_k x_k \pm \Delta y.$$

На рисунке 16 заштрихована доверительная область применения y с вероятностью α %.

Список литературы

- 1) Губкин С.И. Пластическая деформация металлов. Т.1-3-М.; Металлургиздат, 1966.
- 2) Ковынев М.В., Миллер В.В. Производство листового металла. – М.: Металлургия, 1976.
- 3) Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. – М.: Металлургия, 1971.
- 4) Перлин И.Л., Райтбарг Л.Х. Теория прессования металлов. – М.: Металлургия, 1975.
- 5) Смирнов В.С. Теория обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1973.
- 6) Третьяков А.В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением (справочник). – М.: Металлургия, 1973.
- 7) Целиков А.И. Основы теории прокатки. – М.: Металлургия, 1965.