

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
ПРОКАТНО-ПРЕССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Электронные методические указания
к практическим занятиям

Самара 2013

УДК 621. 771 (075)

Т 384

Автор-составитель: **Чертков Геннадий Вячеславович**

Технологические процессы прокатно-прессового производства [Электронный ресурс]: электрон. метод. указания к практич. занятиям / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. Г. В. Чертков. – Электрон. текстовые и граф. дан. (0,63 Мбайт). - Самара, 2013.

В методических указаниях к практическим занятиям студентам даны варианты образцовых заданий, предназначенных для освоения дисциплины «Технологические процессы прокатно-прессового производства». При этом каждое задание сопровождается эталонными ответами. Выполнение каждого задания предполагает предварительное знакомство студентов с вопросами материаловедения и с основами теории прокатки. Настоящие методические указания являются основой для проектирования технологического процесса прокатки листов из легких сплавов при выполнении курсового и дипломного проектирования по технологии листопрокатного производства.

Указания предназначены для студентов инженерно-технологического факультета, обучающихся по направлению подготовки 150400.62 «Металлургия», изучающих дисциплину «Технологические процессы прокатно-прессового производства» в 6 семестре.

Подготовлено на кафедре обработки металлов давлением.

© Самарский государственный

аэрокосмический университет, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

1	Контрольное задание № 1	4
2	Контрольное задание № 2	14
3	Контрольное задание № 3	25
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	33

1 Контрольное задание № 1

Спроектируйте рациональный режим обжати́й холодной прокатки листов 1,2*1500*4000 мм из материала Д16АТ

1. Расшифруйте марку материала. Назовите толщину лакирующего слоя.
2. Обоснуйте технологическую схему получения заданной полосы.
3. Какие прокатные станы используются для холодной прокатки? Выберите прокатный стан.
4. Каким технологическим приемом снимают упрочнение при холодной прокатке? Как контролируют упрочнение при прокатке?
5. Каким способом получают заготовку для холодной прокатки? Выберите заготовку под прокатку.
6. Опишите геометрические характеристики очага деформаций.
7. Как уменьшить сплющивание валков? Опишите схему расчета.
8. Условие захвата металла валками. Как определить возможность начала прокатки?
9. Опишите методику назначения режимов обжати́й по проходам прокатки.
10. Рассчитайте обжати́я по проходам. Укажите необходимые отжи́ги между проходами.

Эталонный ответ к контрольному заданию № 1

1. Маркой Д16АТ обозначают листовой материал, изготовленный из сплава Д16, имеющий лакировочный слой нормальной толщины из чистого алюминия и прошедший на конечной стадии упрочняющую термообработку: закалку + естественное старение.

Сплав Д16 (системы Al-Cu-Mg) является деформируемым сплавом повышенной прочности. Для повышения коррозионной стойкости листы из сплава Д16 плакируют. Толщина нормальной плакировки (обозначается буквой А) составляет 2-4 %. При 3% в данном случае толщина плакирующего слоя $\delta = 0,03 \cdot 1,2 \text{ мм} = 0,036 \text{ мм}$. В горячем состоянии сплав имеет невысокую пластичность. Разовое обжатие не превышает 40-50%ж. При холодной прокатке пластичность высока. Суммарное обжатие между отжигами составляет 80 %. При холодной деформации увеличение предела текучести у сплава Д16 происходит особенно интенсивно при деформации до 30-35 %. При дальнейшем деформировании интенсивность упрочнения снижается. **(Оценка ответа - 8 баллов).**

2. Листы и полосы из алюминиевых сплавов толщиной менее 2,5-3,0 мм получают холодной прокаткой. Холодная прокатка позволяет получать листы с высоким качеством поверхности и с минимальной разнотолщинностью.

Технология холодной прокатки может быть реализована по различным схемам:

- прокатка полосы в рулон с последующей окончательной термообработкой либо без нее;
- прокатка полосы в рулон с последующей резкой на листы и завершающей термообработкой и отделкой листов;
- прокатка полосы в рулон с последующей термообработкой, резкой на листы и завершающими отделочными операциями.

При использовании для холодной прокатки нереверсивных или непрерывных станов горячекатаные рулоны-заготовки обрабатывают на линиях укрупнения рулонов (ЛУР). Технология производства заданных листов будет осуществляться по следующей схеме:

1. Обработка на линии укрупнения рулонов.
2. Холодная прокатка.
3. Закалка на линии непрерывной термообработки (ЛНТО).
4. Правка и резка в лист.

5. Старение (естественное).
6. Контроль.
7. Упаковка.
8. Сдача на склад.
9. Утилизация отходов.

(Оценка ответа - 8 баллов)

3. Холодная прокатка алюминиевых сплавов осуществляется:

- на реверсивных одноклетьевых станах;
- на непрерывных станах;
- на одноклетьевых нереверсивных станах.

На реверсивных одноклетьевых станах катают рулоны массой до 4 т с невысокой скоростью – до 4 м/сек. Станы применяют при большой номенклатуре холодного проката. Непрерывные станы имеют до 5 клеток кварто и катают рулоны массой до 15-18 т со скоростью 20-30 м/сек. Применяются там, где существует узкая специализация по типоразмерам продукции. Одноклетьевые нереверсивные станы рассчитаны на прокату рулонов массой до 15 т со скоростью до 25 м/сек. Рулоны хранятся на складе между прокатками, что удлиняет цикл получения конечной продукции. Выгодны при малой номенклатуре и большой производственной программе. В данном случае для получения холоднокатанной полосы целесообразно использовать одноклетьевой нереверсивный стан «Кварто1700»[3]. Длина бочки вала 1700 мм позволяет получить листовой прокат шириной до 1600 мм, что соответствует заданной ширине листа с учетом припуска на обрезку кромок. Стан оснащен двумя напольными моталками.

Таблица 1.1 – Технические характеристики стана «Кварто1700»

Габариты валков			Толщина проката		P_{gon} m
$D_{раб}$ мм	$D_{оп}$ мм	Z мм	начальн.	конечн.	
500	1250	1700	6-12	0,5-3,0	3000

(Оценка ответа - 8 баллов)

4. При холодной пластической деформации рекристаллизации и возврат полностью отсутствуют. Поэтому, при холодной прокатке наблюдается упрочнение металла, то есть с увеличением степени деформации повышаются прочностные характеристики и снижаются пластические свойства сплава.

В соответствии с диаграммой упрочнения, представленной на рисунке 1.1, максимально допустимая суммарная степень деформации для сплава Д16, до которой металл деформируется без разрушения, составляет 80 %.

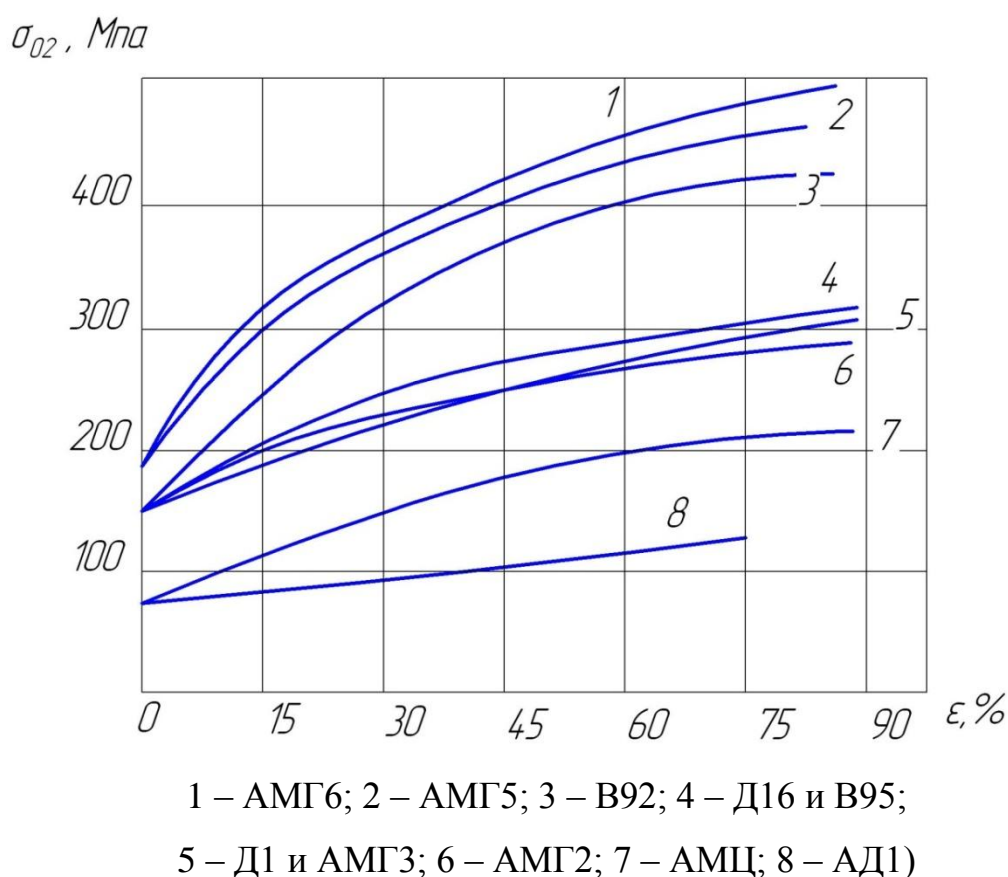


Рисунок 1.1 – Зависимость предела текучести $\sigma_{0,2}$ от степени деформации ϵ при $t=20^{\circ}\text{C}$ для сплавов

Для восстановления пластических свойств металла с целью дальнейшей его деформации необходимо снять наклеп путем кристаллизационного отжига. Поэтому, холодная практика практически всегда сопровождается

промежуточными отжигами между проходами. Необходимо проведения промежуточного отжига определяют по величине суммарного обжатия:

$$\varepsilon = \frac{\sum \Delta h_i}{H_0}$$

При достижении ε_{Σ} величины максимально допустимого значения в данном случае 80%ж, необходимо произвести отжиг полосы, а затем продолжать прокатку. **(Оценка ответа -10 баллов).**

5. Заготовкой для холодной прокатки служат горячекатаные полосы толщиной 2,5-12 мм и шириной, соответствующей ширине катаемой полосы. Заготовку в виде полосы, свёрнутой в рулон, получают методом горячей прокатки из слитка. Наиболее производительной является горячая прокатка на полунепрерывном стане, позволяющая получать рулон с температурой, достаточной для осуществления отжига металла. За счет большой массы рулона, последний долго сохраняет приобретенную температуру и металл приобретает свойства отожженного материала. В результате отпадает необходимость проведения специальной операции отжига рулона.

Холодную прокатку заданной полосы на выбранном стане целесообразно производить с толщины 6,0 мм [3]. Ширина заготовки должна учитывать запас на обрезку кромки после холодной прокатки.

Выбираем горячекатанную полосу: 6,0 * 1600 * L мм. **(Оценка ответа -8 баллов).**

6. Очаг деформации (рисунок 1.2) характеризуется следующими геометрическими параметрами.

$\Delta h = h_0 - h_1$ – абсолютное обжатие при прокатке полосы толщиной h_0 до толщины h_1

$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} 100\%$ - относительное обжатие за один проход

$\lambda = \frac{F_0}{F_1} 100\% = \frac{L_1}{L_0} 100\%$ – вытяжка при прокатке полосы длиной L_0 и

поперечным сечением F_0 на длину L_1 и поперечным сечением F_1

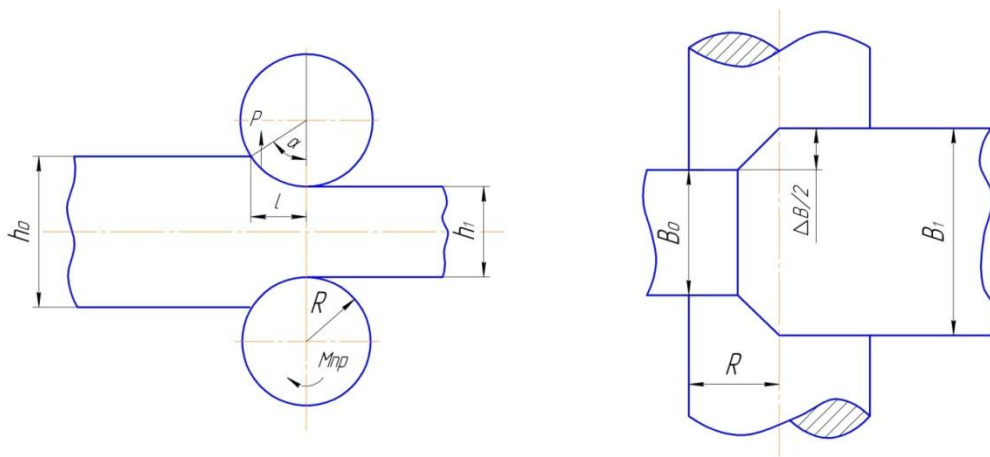


Рисунок 1.2 – Схема прокатки

$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$ (рад) - угол захвата при прокатке полосы с обжатием Δh в

валках радиусом R

$l = \sqrt{R * \Delta h}$ - теоретическая длина дуги захвата при прокатке полосы с обжатием Δh в валках радиусом R

$l_c = \sqrt{l^2 + x^2} + x^2$ - сплющенная (реальная) длина дуги захвата, где

$$x_2 = \frac{p_{cp} R}{9500}$$

p_{cp} – среднее давление металла на валок.

(Оценка ответа -10 баллов).

7. Сплющивание – явление отрицательное. Оно увеличивает величину среднего давления металла на валок p_{cp} , полное усилие прокатки, а значит момент и мощность прокатки. Для уменьшения сплющивания валков необходимо:

-уменьшить радиус (диаметр) валка. При этом уменьшится и величина среднего давления p_{cp} .

-заменить материал валков на более жесткий, высокомодульный, т.е. с большим E.

Учитывая, что величины p_{cp} и l_c взаимно связаны расчетной формулой для p_{cp} , задача по определению величины p_{cp} решается методом подбора по следующей схеме:

- 1) рассчитывают теоретическое значение длины дуги захвата: $l = \sqrt{\Delta h R}$
- 2) в первом приближении принимают, что $l_c^I = 1,1l$, т.е. l_c^I на 10% больше l

3) рассчитывают значение p_{cp} на основе принятого значения l_c^I

4) рассчитывают величину $x_2 = \frac{p_{cp} R}{9500}$

5) рассчитывают значение сплющенной дуги захвата:

$$l_c = \sqrt{l^2 + x^2} + x^2$$

6) сравнивают значение l_c и l_c^I . Необходимо чтобы выполнялось условие:

$$\left| \frac{l_c - l_c^I}{l_c} \right| 100\% \leq 5\%$$

В противном случае производят корректировку значения l_c^I и расчет по п.п. 3, 4, 5 и 6 повторяют.

(Оценка ответа -12 баллов).

8. Захват металла валками в начальный их момент прокатки будет осуществляться в том случае, когда горизонтальная проекция T_x активной (втягивающей) силы трения T будет больше горизонтальной проекции N_x реактивной (выталкивающей) нормальной силы N . т.е. $T_x > N_x$ (рисунок 1.3).

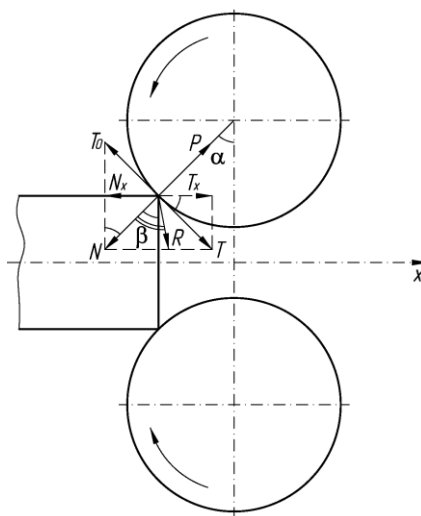


Рисунок 1.3 – Схема действия сил при захвате полосы валками в начальный момент прокатки

Так как $T = \mu N$, где μ – коэффициент трения, то условие захвата металла валками приобретает вид: $\operatorname{tg} \alpha < \mu$ или $\alpha < \beta$

где: α - угол захвата

β – угол трения.

С учетом реальных условий прокатки, вводится понятие допустимого угла захвата $[\alpha]$, который для холодной прокатки алюминиевых сплавов составляет: $[\alpha] = 3 \div 4^\circ$

Тогда для осуществления захвата металла валками в каждом конкретном проходе прокатки необходимо, чтобы расчетное значение угла

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$$

не превышало допустимого значения $[\alpha]$, т.е.: $\alpha \ll [\alpha]$.

(Оценка ответа -12 баллов)

10. Холодную прокатку следует вести с максимальными обжатиями за проход, величина которых ограничивается как и при горячей прокатки, а значит величиной момента двигателя прокатного стана. Малые деформации улучшают качество поверхности листа, увеличивают число проходов, резко снижают производительность. Таким образом, контрольными параметрами при назначении обжатий являются:

$$\alpha_i \leq [\alpha_{don}]; P_i \leq [P_{don}]; M_{\partial\partial} \leq [M_{\partial\partial}^{don}]$$

Распределение обжатий по проходам производят в следующем порядке:

примерное распределение обжатий по проходам производят на основе производственного опыта. В начальных проходах обжатие составляет до 30 %, а в последующих снижается до 10-15%. При этом в каждом проходе производится расчет угла захвата с контролем его по допустимому значению. Одновременно рассчитывают величину суммарного обжатия по выражению:

$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}$, которую контролируют по максимально допустимому значению ε^{\max} для данного сплава. При достижении ε величины ε^{\max} , взятой из диаграммы упрочнения, назначают промежуточный отжиг.

По намеченной таким образом схеме обжатий рассчитывают технологические величины, в том числе усилие прокатки P и момент прокатки $M_{пр}$ по максимальной величине которого рассчитывают $M_{об}^{max}$. Если при выбранной схеме прокатки величины P и $M_{об}^{max}$ не превышают допустимых значений, схема прокатки остаётся без изменений. В противном случае производится корректировка схемы обжатий и повторный перерасчет всех контрольных параметров.

(Оценка ответа -12 баллов)

10. В связи с тем, что заготовка на первый проход прокатки подается в отожженном состоянии, то рекомендуется начинать прокатку с больших степеней деформации порядка (30...40)%, а в последующих проходах уменьшать степень деформации до (10...15)% ввиду упрочнения металла (рисунок 1.4). При этом контролируют условие захвата $\alpha < \alpha_{крит}$ и суммарную степень деформации $\varepsilon_{\Sigma max}$.

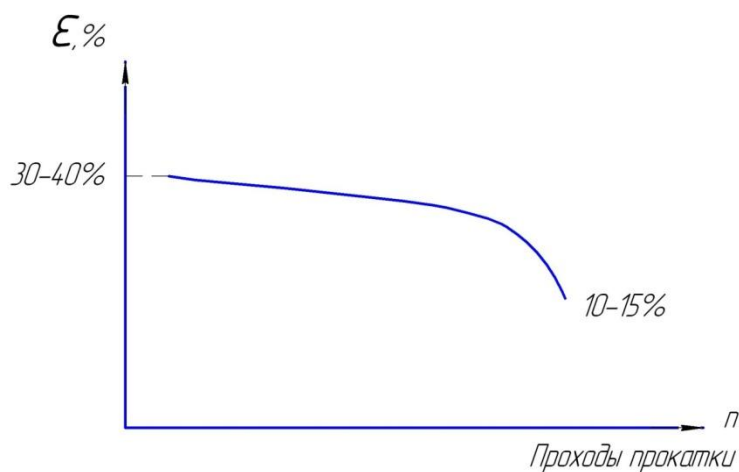


Рисунок 1.4 – Схема распределения обжатий по проходам прокатки

Распределение обжатий производится при условии, что

$$[\alpha_{дон}] = 3,5^0 \approx 0,061 \text{ и } \varepsilon_{\Sigma max} = 80\%.$$

Холодную прокатку ведут как правило за 3...7 проходов.

Таблица 1.2 – Распределение обжатий холодной прокатки полосы на одноклетьевомнеревверсивном стане «Кварто1700»

n_i	h_{0i} мм	h_{1i} мм	Δh_i мм	ε_i %	α_i рад	ε_Σ %
1	6,00	4,20	1,80	30	0,06	30
2	4,20	3,00	1,20	29,6	0,048	50
3	3,00	2,25	0,75	25	0,039	62,5
4	2,25	1,80	0,45	20	0,03	70
5	1,80	1,50	0,30	17	0,024	75
6	1,50	1,27	0,23	15	0,021	78,8
7	1,27	1,20	0,07	6	0,012	80

Максимальное значение $\varepsilon_\Sigma = 80$ % получено после последнего прохода прокатки, поэтому промежуточные отжиги в процессе прокатки не требуются. (Оценка ответа -12 баллов).

Итого: 100 баллов

2 Контрольное задание № 2

Спроектируйте схему обжатия для прокатки полосы $5,1 \times 2400 \times L$ мм из материала АМцМ

1. Расшифруйте марку материала. Охарактеризуйте его основные свойства.
2. Обоснуйте технологическую схему получения заданной полосы.
3. Какие прокатные станы используются: для горячей прокатки? Выберите прокатный стан.
4. Произведите выбор температуры нагрева слитка под прокатку.
5. Произведите выбор размеров слитка под прокатку
6. Каким подготовительным операциям подвергают слиток перед прокаткой?
7. Опишите геометрическое строение в очаге деформации при прокатке. Что означают ΔH , ε , λ , l ?
8. Как оценить возможность начала прокатки? Условие захвата металла в начальный момент прокатки?
9. Опишите методику назначения режимов обжатий по проходам горячей прокатки.
10. Рассчитайте обжатия по проходам, укажите порядок прокатки по клетям прокатного станка.

Эталонные ответы на контрольное задание №2

1. Маркой АМцМ обозначают материал, в частности листовой, изготовленный из сплава АМц и прошедший на конечном этапе изготовления операции отжига. При этом прочностные свойства листов из сплава АМц будут минимальные, пластические-максимально возможные для данного сплава.

Сплав АМц (системы Al - Mn) относится к группе малолегированных сплавов. Характеризуется высокой коррозионной стойкостью, повышенной пластичностью, пониженной прочностью и хорошей свариваемостью. Термически неупрочняем. Гамму свойств материалов из сплава АМц получают сочетанием холодной деформации и отжига. Высокая пластичность позволяет при горячей прокатке назначать разовые обжатия до $60 \div 70\%$. При холодной прокатке суммарные обжатия составляют ($85 \div 90\%$) между отжигами. **(Оценка ответа - 8 баллов).**

2. Горячей прокаткой изготавливают листы и плиты. Основная же часть продукции поступает в виде рулонов толщиной $(2,5 \dots 10) \cdot 10^{-3}$ м для дальнейшей холодной прокатки.

Для горячей прокатки применяют одноклетьевые, двухклетьевые и полунепрерывные станы. Полунепрерывные станы горячей прокатки значительно производительнее и позволяют использовать слитки большой массы. В состав полунепрерывных станов входят одна или две реверсивные черновые клетки с эджерами, одни или двое ножниц и непрерывная чистовая группа клеток. Число чистовых клеток составляет от трёх до шести, причём трёхклетьевые группы предпочтительнее расширять до пятиклетевых.

Заготовкой для горячей прокатки служит плоский слиток, полученный полунепрерывным литьем. Перед прокаткой слиток как правило подвергают фрезерованию по большим и малым граням, мойке и сушке. Непосредственно перед прокаткой слитки нагревают в методических печах до температуры, близкой к температуре солидус, то есть выше температуры рекристаллизации.

Непосредственно после прокатки на прокатном стане полосу конечной толщины сматывают в рулон, который впоследствии подвергают необходимым термической обработке и отделочным операциям.

В соответствии с заданием изготовление полосы $4,0 \times 2400$ *Lмм из сплава АМц целесообразно производить методом горячей прокатки слитка на непрерывном стане с последующей смоткой полосы в рулон. Для получения

заданных свойств полосы после прокатки следует производить отжиг рулона в печи отжига. Однако, необходимо учесть, что после прокатки полосы сомоткой в рулон непосредственно на выходе из непрерывной группы прокатного стана температура металла превышает температуру рекристаллизации, в связи с чем отжиг рулона может осуществляться непосредственно на воздухе без применения печи.

Типовое описание технологического процесса изготовления листовой продукции может быть представлено следующим образом:

1. Фрезерование больших и малых граней.
2. Мойка, сушка.
3. Нагрев слитка перед прокаткой.
4. Горячая прокатка.
5. Смотка в рулон.
6. Отжиг.
7. Контроль качества.
8. Упаковка.
9. Сдача на склад
10. Утилизация отходов.

(Оценка ответа -10 баллов)

3. Для горячей прокатки алюминиевых сплавов используют прокатные станы, имеющие в своём составе одну или две реверсивные клетки «кварто», установленные последовательно. Увеличение числа клеток приводит к росту производительности стана. В настоящее время наиболее производительными являются полунепрорывные станы, в составе которых имеются две реверсивные клетки и непрерывная группа из 3-6 клеток. Варьированием длиной раскатных полей стана можно регулировать его производительность (за счет увеличения массы слитка). Рабочая клеть прокатного стана выбирается по длине бочки валка, обеспечивающего получение ширины заданной полосы. Для данного задания целесообразно выбрать семиклетевой полунепрерывный стан «Кварто2800», имеющий две

реверсивные клетки и непрерывную 5-ти – клетевую группу. Клетки кварто имеют длину бочки вала 2800 мм и обеспечат выкатку полосы шириной до 2700 мм. Прокатный стан имеет эджерную клетку перед первой реверсивной клеткой, ножницы перед непрерывной группой и подпольную моталку на выходе из непрерывной группы стана.

Таблица 2.1 – Основные характеристики семи клетьевого полунепрерывного стан горячей прокатки «Кварто2800»

Клетка	Диаметр рабочих валков, мм	Начальная толщина, мм	Конечная толщина, мм
№1	850	400	100
№2	750	100	12÷60
Чистовая пятилетевая группа	650	12÷60	4÷6

(Оценка ответа -10 баллов)

4. Нагрев перед прокаткой осуществляют для повышения пластичности и значительного снижения энергозатрат на деформацию. Горячая прокатка осуществляется при температурах, превышающих температуру рекристаллизации. При этих температурах протекают два конкурирующих процесса: упрочнение в результате деформации и разупрочнение вследствие рекристаллизации. Исходными данными для назначения температурного интервала являются:

- диаграмма состояния;
- диаграмма пластичности;
- диаграмма рекристаллизации.

Прокатку необходимо вести при максимально высоких температурах. Верхний предел нагрева слитка ограничивается температурой солидуса (T_s), взятой из диаграммы состояния в сечении, соответствующем заданному сплаву.

Ориентировочно температуру горячей прокатки назначают исходя из диаграммы пластичности, позволяющей выделить интервал температур, соответствующий максимальным пластическим характеристикам сплава.

При назначении температуры прокатки необходимо учитывать также сочетание ее с назначением обжатия прокатки. Диаграмма рекристаллизации призвана предопределить качество структуры получаемого листа. Установлено, что прокатка при повышенных температурах способствует образованию мелкозернистой структуры. При назначении температурного интервала прокатки и температуры нагрева под прокатку необходимо также учитывать охлаждение слитка при транспортировке от печи к первой клетки прокатного стана и нагрев раската за счет теплового эффекта в результате пластической деформации.

В целом температурный интервал горячей прокатки зависит от многих факторов: химического сплава, массы слитка, температуры нагрева, обжатия и скорости прокатки, количества подаваемой эмульсии, от ширины и толщины раската и т.д. Поэтому, в каждом отдельном случае целесообразно окончательно устанавливать этот интервал экспериментально. Для назначения расчётной температуры в каждом проходе прокатки поступают следующим образом: на основе справочных данных, учитывающих изложенные факторы, назначают температуру начала и конца прокатки. Для данного сплава: $T_{нач}=460^{\circ}\text{C}$, $T_{кон}=350^{\circ}\text{C}$

Затем рассчитывают величину падения температуры (остывания) за каждый переход:

$$\Delta T = \frac{T_{нач} - T_{кон}}{n}$$

где n – число проходов прокатки.

Температура металла в каждом проходе рассчитывается:

$$T_i = T_{i-1} - \Delta T$$

(Оценка ответа -10 баллов)

5. Наибольшая производительность достигается при прокатке слитков больших размеров и массы. Толщина слитка не должна превышать максимального значения, указанного в характеристике стана. В данном случае $H_{сл}=400$ мм. Толщина ограничивается также технологическими возможностями литейного агрегата.

Различают поперечную и продольную прокатку слитков, то есть прокатку поперек литейной оси или вдоль литейной оси слитка.

Для поперечной прокатки ширина слитка выбирается исходя из ширины вкатаемой полосы с учетом припуска K на ширину обрезаемых кромок, на возможное уширение и на обжатие в эджерных валках:

$$B_{сл} = B + K,$$

Где B – ширина готовой полосы;

$$K = (40 \div 100) \text{ мм}$$

Назначаем: $B_{сл} = 2400 + 100 = 2500$ мм

Длина слитка определяется длиной кристаллизатора, установленного в литейном цехе [3].

Чтобы исключить «раскрытие» слитка переднюю и заднюю грани делают в виде заострения. Прокатку ведут поперёк литейной оси слитка.

При продольной рулонной прокатке ширина слитка выбирается из стандартного ряда с припуском, зависящим от марки сплава [3]. Длина слитка выбирается максимально возможной с учётом ограничений, накладываемых печами нагрева слитков, раскатными полями стана горячей прокатки, максимальной массой рулона.

С учетом изложенного выбираем размеры слитка:

$$H_{сл} = 400 \text{ мм}$$

$$B_{сл} = 2500 \text{ мм}$$

$$Z_{сл} = 1500 \text{ мм}$$

(Оценка ответа - 8 баллов)

6. После литья слитки подвергают:

а) гомогенизации с целью снятия литейных напряжений и для устранения внутрикристаллической ликвации, появляющейся при затвердевании металла;

б) фрезерованию поверхности слитков для удаления ликвационных наплывов на глубину (10-:-15) мм на сторону. После фрезерования толщина слитка составит:

$$H_{\text{сл}} = 400 - 2 * 10 = 380 \text{ мм}$$

в) мойке и сушке слитка перед нагревом под прокатку. В данном задании прокатка слитков из сплава АМц производится без плакирования.

г) нагрев слитков перед прокаткой до температуры выше 460° на величину температуры остывания при транспортировке слитка от печи к прокатному стану. **(Оценка ответа - 8 баллов).**

7. Очаг деформации (рисунок 2.1) характеризуется следующими геометрическими параметрами:

$\Delta h = h_0 - h_1$ – абсолютное обжатие при прокатке полосы толщиной h_0 до толщины h_1

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} 100\% \text{ - относительное обжатие за один проход}$$

$\lambda = \frac{F_0}{F_1} 100\% = \frac{L_1}{L_0} 100\%$ – вытяжка при прокатке полосы длиной L_0 и поперечным сечением F_0 на длину L_1 и поперечным сечением F_1

$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$ (рад) - угол захвата при прокатке полосы с обжатием Δh в валках радиусом R

$l = \sqrt{R * \Delta h}$ - теоретическая длина дуги захвата при прокатке полосы с обжатием Δh в валках радиусом R .

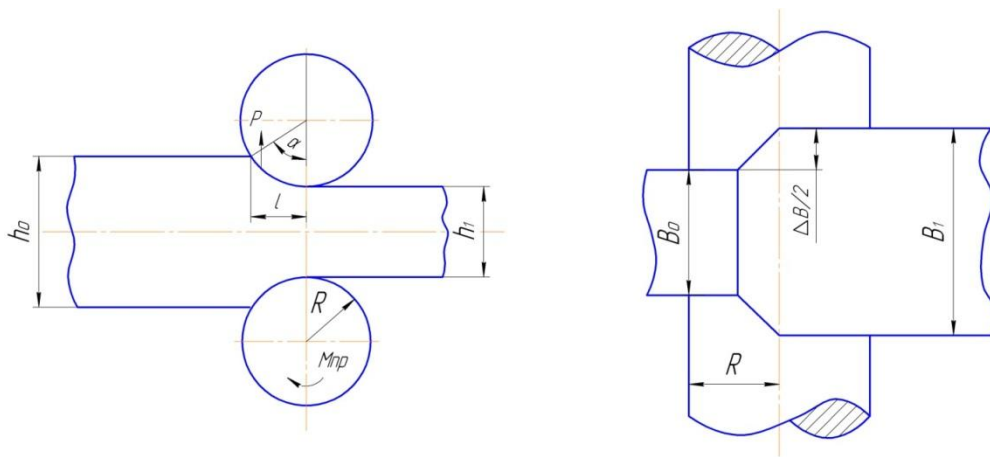


Рисунок 2.1 – Схема прокатки

(Оценка ответа -10 баллов)

8. Для осуществления захвата металла валками в начальный момент прокатки необходимо, чтобы горизонтальная проекция T_x активной (втягивающей) силы трения T была больше горизонтальной проекции N_x реактивной (выталкивающей) нормальной силы N , то есть: $T_x = N_x$ (рисунок 2.2).

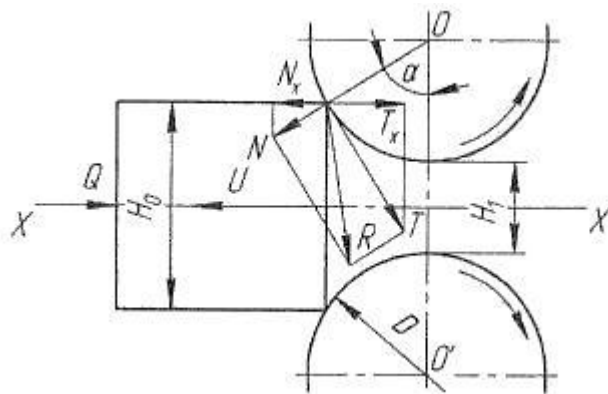


Рисунок 2.2 – Схема действия сил при захвате полосы валками в начальный момент прокатки

Тогда условие захвата приобретает вид:

$$\operatorname{tg} \alpha < \mu \quad \text{или} \quad \alpha < \beta$$

Где α – угол захвата, μ – коэффициент трения, β – угол трения

С учетом наличия реальных дополнительно действующих на слиток выталкивающих и выталкивающих сил, вводится понятие допустимого угла захвата $[\alpha]$, который для горячей прокатки алюминиевых сплавов составляет $[\alpha] = 22^\circ \div 22^\circ$.

Для осуществления захвата металла валками в каждом конкретном проходе необходимо, чтобы расчетное значение угла $\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$ не превышало допустимое значение $[\alpha]$, то есть $\alpha \ll [\alpha]$. **(Оценка ответа -12 баллов).**

9. Величина обжатия ε – важная характеристика процесса прокатки. Большие обжатия уменьшают неравномерность деформации, способствуют получению горячекатанных полос с хорошими свойствами, обеспечивают высокую производительность. Обжатия в первую очередь ограничиваются углом захвата, то есть должны обеспечить захват металла валками в каждом переходе прокатки. Кроме того, величина обжатия ограничивается величиной усилия прокатки $P_{доп}$ и величиной момента прокатки $M_{доп}$, являющимися характеристиками прокатного стана. Таким образом, контрольные параметры при назначении обжатий в каждом проходе:

$$\alpha_i \ll [\alpha_{дон}]; P_i \ll [P_{дон}]; M_{об} \leq [M_{об}^{дон}]$$

Распределение обжатий по проходам производится в следующем порядке:

1) Рассчитывают ориентировочное число ходов прокатки: $n = \frac{\ln F_0 - \ln F_{сп}}{\ln \lambda_{сп}}$

Обычно средняя вытяжка $\lambda_{сп}$ при горячей прокатке составляет $1,2 \div 1,3$

Для данного случая: $n = \frac{\ln 69500 - \ln 15360}{\ln 1,2} \approx 17$

2) На основе существующего опыта прокатного производства и с учетом технологических факторов производят распределение обжатий по клетям выбранного прокатного стана с обязательным контролем по величине угла захвата. Рекомендуется в первых проходах назначать обжатия в

пределах 2÷10%, а для плакированных листов – 2÷4%, с последующим увеличением обжатий до 30-45 % и более. В последнем проходе с целью улучшения выкатки обжатие уменьшают до 10-20 %. Схематично распределение обжатий по проходам для 7-ми – клетового стана имеет вид (рисунок 2.3).

Как правило, на первых проходах назначаются несколько проходов прокатки в эджерных валках.

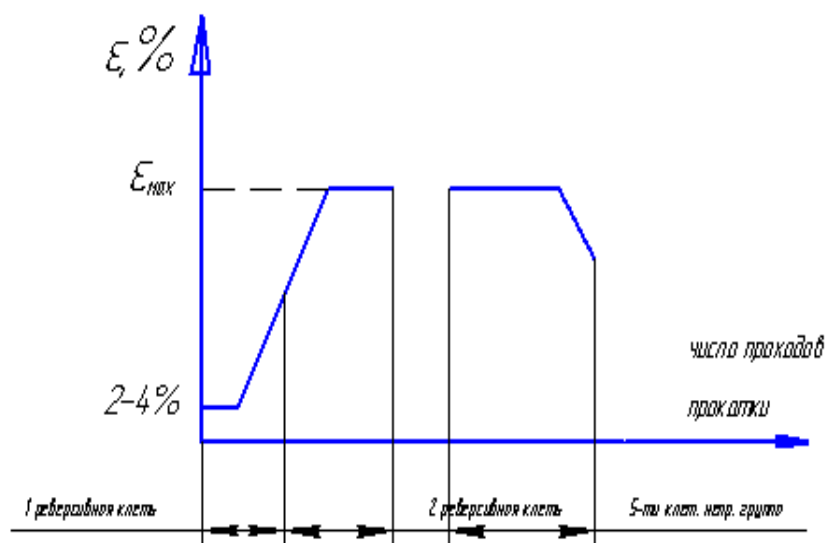


Рисунок 2.3 – Схема распределения обжатий по проходам горячей прокатки

3) По намеченной схеме обжатий рассчитываются технологические величины, в том числе усилие прокатки P и момент прокатки $M_{пр}$, по максимальной величине которого рассчитывают момент двигателя $M_{дв}^{max}$. Если при намеченной схеме прокатки величины P и $M_{дв}^{max}$ не превышают допустимых значений, схема прокатки остается без изменений. В противном случае производится корректировка схемы обжатий и повторный перерасчет всех контрольных параметров. **(Оценка ответа -12 баллов)**

10. Расчет обжатий произведен при условии, что $[\alpha_{дон}] = 22^\circ \approx 0,38$ рад

Распределение обжатий по клетям 7-ми клетового полунепрерывного стана кварто «2800» имеет следующий вид (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Распределение обжатий по проходам горячей прокатки

n	h_0 мм	h_1 мм	Δh мм	ε	α
1	380	372	8	0,021	0,1461
2	372	365	7	0,019	0,1366
3	365	339	26	0,071	0,2633
4	339	312	27	0,08	0,2683
5	312	284	28	0,09	0,2733
6	284	256	28	0,099	0,2733
7	256	228	28	0,109	0,2733
8	228	201	27	0,118	0,2683
9	201	173	28	0,139	0,2733
10	173	142	31	0,179	0,2875
11	142	106	36	0,254	0,3098
12	106	73,1	32,9	0,31	0,2962
13	73,1	46,1	27	0,369	0,2882
14	46,1	23	23,1	0,501	0,2666
15	23	11,5	11,5	0,5	0,1881
16	11,5	5,7	5,8	0,504	0,1336
17	5,7	5,1	0,6	0,105	0,043

(Оценка ответа -12 баллов)

Итого: 100 баллов

3 Контрольное задание № 3

Рассчитайте момент горячей прокатки полосы из материала АМ 6

Исходные данные для расчета:

$h_0=300$ мм	$\mu = 0,3$	$K_\varepsilon = 1,5$
$h_1=288$ мм	$[\alpha] = 0,4$ рад	$K_U = 0,78$
$R_{\text{раб}}=350$ мм	$\sigma_{s_0} = 10,5$ кг/мм	$K_t=0,8$
$B_0=1700$ мм	$\eta n_{\sigma'} = 1,53$	$\eta n_{\sigma''}=1,023$

1. Что характеризуют величины Δh и ε ? Рассчитайте их значение.
2. Рассчитайте величину угла захвата α и длину дуги захвата l .

Будет ли осуществляться захват металла валками?

3. Что такое нейтральное сечение? Рассчитайте значение нейтрального угла γ .
4. Что такое опережение при прокатке? Рассчитайте величину опережения.
5. Причины трещинообразования на боковых кромках полосы и методы предотвращения трещин. Рассчитайте уширение.
6. Каким образом рассчитывается среднее давление металла на валки при горячей прокатке? Поясните входящие величины.
7. Рассчитайте истинное сопротивление деформации S_g и среднее давление металла на валки $p_{\text{ср}}$.
8. Рассчитайте полное усилие прокатки P .
9. Что такое коэффициент плеча Ψ ?
10. Рассчитайте значение момента прокатки $M_{\text{пр}}$.

Эталонный ответ контрольного задания № 3

1. Объем металла, заключенный между валками (рисунок 3.1), боковыми гранями полосы и плоскостями входа AA_1 и входа BB_1 , называется геометрическим очагом пластической деформации.

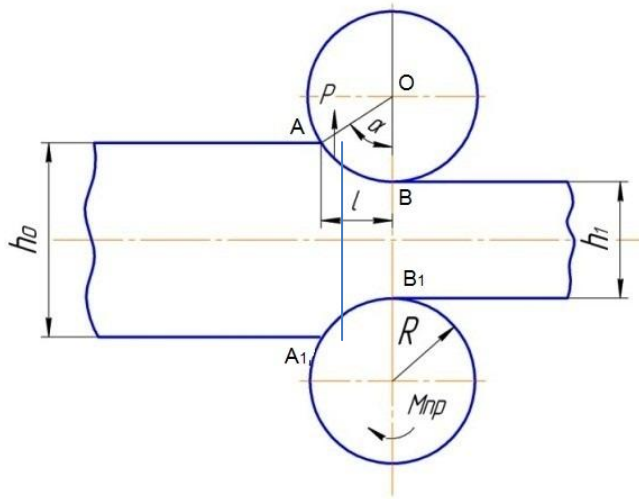


Рисунок 3.1 – Схема прокатки

$\Delta h = h_0 - h_1$ – абсолютное обжатие при прокатке полосы толщиной h_0 до толщины h_1

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} 100\% \text{ - относительное обжатие за один проход}$$

Рассчитываем Δh и ε :

$$\Delta h = 300 - 288 = 12 \text{ мм}$$

$$\varepsilon = \frac{12}{300} \cdot 100 = 4\%$$

(Оценка ответа -10 баллов)

2. Угол захвата α (рис.9) образован радиусом валка R , проведенным из его центра в т. А, и геометрической осью OO .

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} = \sqrt{\frac{12}{350}} = 0,185 \text{ (рад)}$$

Длина дуги захвата l представляет собой горизонтальную проекцию дуги захвата АВ.

$$l = \sqrt{\Delta h \cdot R} = \sqrt{12 \cdot 350} = 64,8 \text{ (мм)}$$

Захват металла будет осуществляться при условии, если $\alpha \ll [\alpha]$

В данном случае: $\alpha = 0,185 < 0,4 = [\alpha]$

Таким образом, прокатка будет осуществляться. (Оценка ответа -10 баллов)

3. При установившемся процессе прокатки контактные силы трения направлены на входе в очаг деформации в сторону прокатки, а в конце дуги захвата изменяют свое направление на противоположное. При этом они оказывают тормозящее действие на металл.

Вертикальное сечение NN_1 (рисунок 3.2), в котором контактные силы трения меняют свое направление на противоположное, называют нейтральным, а угол γ , ему соответствующий, называют нейтральным углом.

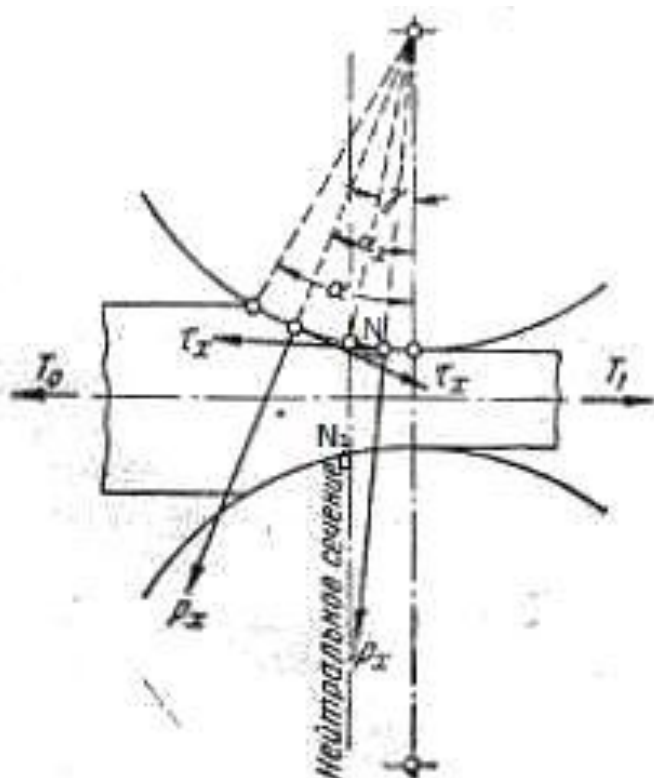


Рисунок 3.2 – Схема действия сил при прокатке

Нейтральный угол γ определяется из условия равновесия всех сил, действующих в очаге деформации.

Значение угла γ рассчитывают по формуле Экелунда:

$$\sin \gamma = \frac{\sin \alpha}{2} - \frac{1 - \cos \alpha}{2\mu};$$

Ввиду того, что угол захвата α представляет собой небольшую величину и при этом $\sin \alpha \approx \alpha$ (рад), то формула для расчета γ приобретает вид:

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{0,185}{2\mu}\right) (\text{рад})$$

Где $\mu = 0,3$ – коэффициент трения.

$$\text{Тогда: } \gamma = \frac{0,185}{2} \left(1 - \frac{0,185}{2 \cdot 0,3}\right) = 0,063 \text{ (рад)}$$

(Оценка ответа -12 баллов)

3. Нейтральное сечение NN_1 (рис.9) делит очаг деформации на две зоны: слева от NN_1 – зона отставания; справа от NN_1 – зона опережения. В зоне отставания металл полосы в своем движении в направлении прокатки несколько отстает от контактной поверхности валка, а в зоне опережения опережает контактную поверхность валка. В результате в обеих зонах наблюдается проскальзывание металла относительно поверхности валка.

Величиной опережения S называют превышение скорости выхода металла из валков по сравнению с окружной скоростью валка (рисунок 3.2)

$$S = \frac{V_1 - V_0}{V_0}$$

Теоретически величину S определяют исходя из условия постоянства секундных объемов прокатываемого металла в очаге деформации по формуле Эжелунда:

$$S = \gamma^2 \left(\frac{R}{h} - 0,5\right);$$

В данном случае:

$$S = 0,063^2 \left(\frac{350}{288} - 0,5\right) = 0,0028$$

Для тонких полос, когда $R \gg h$, опережение рассчитывают по формуле Дрездена:

$$S = \frac{R}{h} \cdot \gamma^2$$

(Оценка ответа -10 баллов)

4. Ширина полосы при выходе из валков B_1 (рисунок 3.3) всегда несколько больше исходной ширины B_0 ; разность их называют уширением:

$$\Delta B = B_1 - B_0$$

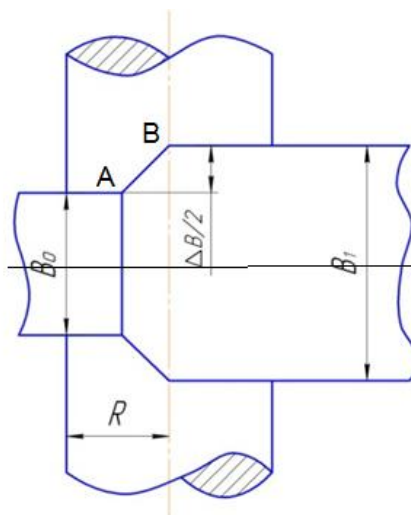


Рисунок 3.3 – Схема уширения при прокатке(вид сверху)

Уширение ΔB в большинстве случаев представляет собой отрицательное явление. Оно снижает общую вытяжку и вызывает в боковых кромках полосы напряжения растяжения. В результате на боковых кромках в большинстве случаев образуются трещины, что требует после прокатки обрезки кромок, а значит приводит к уменьшению выхода годной продукции. Для предупреждения возможности образования трещин применяют:

- 1) Прокатку боковых граней полосы в эджерных (вертикальных) валках с целью уменьшения растягивающих напряжений за счет наложения поля сжимающих напряжений;
- 2) Повышение пластичности поверхности боковых граней путем их плакирования (технологическое плакирование граней).

Величину уширения рассчитывают исходя из равенства смещенных объемов металла в очаге деформации при прокатке по формуле Бахтинова:

$$\Delta B = 1,15 \cdot \frac{\Delta h}{2H} \left(l - \frac{\Delta h}{2\mu} \right);$$

В данном случае:

$$\Delta B = 1,15 \cdot \frac{12}{2 \cdot 300} \left(64,8 - \frac{12}{2 \cdot 0,3} \right) = 1,03 (\text{мм})$$

(Оценка ответа -10 баллов)

5. Влияние механических свойств металла, влияние контактных сил трения, внешних зон натяжения и др. факторов на величину среднего давления металла на валок при горячей прокатке выражают формулой:

$$\rho_{cp} = 1,15 \cdot \eta n_{\sigma} \cdot S_g$$

где: η_{σ} – коэффициент, учитывающий влияние напряжённого состояния;
 S_g – истинное сопротивление деформации в реальных условиях прокатки.

Коэффициент $\eta_{\sigma} = \eta_{\sigma'} \cdot \eta_{\sigma''} \cdot \eta_{\sigma'''}$, где:

$\eta_{\sigma'}, \eta_{\sigma''}, \eta_{\sigma'''}$ – коэффициенты, учитывающие соответственно влияние внешних зон, внешнего трения, подпора или натяжения полосы.

Истинное сопротивление деформации рассчитывают:

$$S_g = \sigma_{s_0} \cdot K_t \cdot K_{\varepsilon} \cdot K_u$$

где $K_t, K_{\varepsilon}, K_u$ – термомеханические коэффициенты влияния температуры, обжатия и скорости деформации соответственно.

σ_{s_0} - исходное значение предела текучести (при начальных условиях).

При горячей прокатке величина $\eta_{\sigma'''} = 1$, так как отсутствует подпор и натяжение полосы. Тогда в соответствии с п. 6 рассчитаем:

$$\eta_{\sigma} = 1,53 \cdot 1,023 = 1,56$$

$$S_g = 10,5 \cdot 0,8 \cdot 1,5 \cdot 0,78 \cdot 9,82 (\text{кг/мм})$$

$$\rho_{cp} = 1,15 \cdot 1,56 \cdot 9,82 = 17,6 (\text{кг/мм})$$

(Оценка ответа -8 баллов)

6. Величина полного усилия прокатки определяется величиной ρ_{cp} и площадью контакта металла с валком по выражению:

$$P = \rho_{cp} \cdot F_k$$

где $F_k = l \cdot B_{cp}$ – площадь контакта металла с валком.

Здесь $B_{cp} = \frac{B_0+B_1}{2}$ – средняя ширина полосы в очаге деформации.

Рассчитываем входящие величины:

$$B_1 = B_0 + \Delta B = 1700 + 1,03 = 1701,03 \text{ (мм)}$$

$$F_k = 64,8 \cdot \frac{1700+1701,03}{2} = 110193 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Тогда, полное давление металла на валок:

$$P = 17,6 \cdot 110193 = 1933396 \text{ (кг)} \cong 1933 \text{ (тонн)}$$

(Оценка ответа -10 баллов)

7. Расстояние от геометрической оси прокатки до вектора приложения полного усилия прокатки называют плечом прокатки (рисунок 3.4)

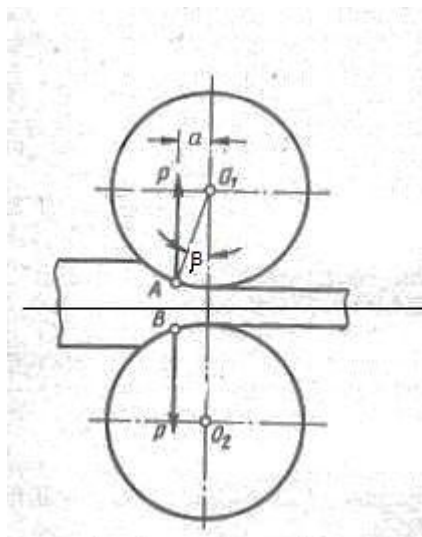


Рисунок 3.4 – Схема прокатки

При вычислении значения плеча прокатки возникают существенные трудности, поэтому вводится понятие коэффициента плеча прокатки Ψ . Коэффициент плеча прокатки Ψ характеризует соотношение угла захвата α и угла β , характеризующего положение точки приложения равнодействующей усилия прокатки.

$$\Psi = \frac{\beta}{\alpha} \approx \frac{a}{l}$$

При горячей прокатке $\Psi = 0,7 \div 0,4$

При холодной прокатке $\Psi = 0,35 \div 0,25$

Для расчета конкретного значения Ψ используется формула:

$$\Psi = 0,5(1 + S) \frac{h}{\Delta h} \cdot \ln \frac{h_0}{h_1}$$

(Оценка ответа -10 баллов)

8. Момент прокатки M_{np} определяется произведением полного усилия прокатки P на плечо прокатки a :

$$M_{np} = 2P \cdot a$$

Так как $a = \Psi \cdot l$, то момент прокатки: $M_{np} = 2P \cdot \Psi \cdot l$

или $M_{np} = 2P \cdot \Psi \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h}$

Отсюда рассчитаем Ψ :

$$\Psi = 0,5 \cdot (1 + 0,0028) \frac{288}{12} \cdot \ln \frac{300}{288} = 0,49$$

Момент прокатки:

$$M_{np} = 2 \cdot 19334 \cdot 0,49 \cdot 64,8 = 121,2 \text{ (тм)}$$

(Оценка ответа -10 баллов)

Итого 100 баллов

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Целиков, А.И. Основы теории прокатки. – М.:Металлургия, 1965. – 247с.
2. Целиков, А.И. Теория продольной прокатки. - М.:Металлургия,1980.- 819с.
3. Шор, Э.Р. Производство листов из алюминиевых сплавов. – М.:Металлургия, 1967. – 320с.
4. Каргин, В.Р. Дипломное проектирование листопрокатных цехов: учеб. пособие /В.Р.Каргин, Г.В. Чертков, И.В.Осиновская.–Под общ. ред. Ф.В. Гречникова.- Самара: Издательство СГАУ, 2010. – 131 с.