

Дисциплина «Заготовительные производства в машиностроении» относится к блоку дисциплин базовой части для подготовки бакалавров профиля "Информационные технологии обработки металлов давлением" направления 15.03.01 Машиностроение.

Дисциплина состоит из теоретической и практической части. Каждая часть содержит как аудиторную работу с преподавателем, так и самостоятельную работу. Рабочая программа дисциплины разработана на основе ФГОС ВО и отвечает требованиям по распределению бюджета времени на изучение дисциплины между аудиторной и самостоятельной работой. На теоретическую часть (лекции) выделено 18 часов, на практические работы – 36 часов.

При подготовке к практическим работам студент должен воспользоваться методическими указаниями, разработанными преподавателями кафедры.

Теоретическая часть дисциплины содержит разделы, указанные в тематическом плане дисциплины. Тематика лекционных занятий соответствует компетенциям, закрепленным за дисциплиной. При изложении лекционного материала используется технология проблемного обучения. В ходе лекции формулируется проблема и пути ее решения, при этом студент должен ориентироваться в рекомендуемых литературных источниках. Преподаватель акцентирует внимание на основных вопросах, которые предстоит изучить самостоятельно.

Для закрепления лекционного материала и подготовки к практическим занятиям студент должен регулярно самостоятельно работать над учебным материалом (в рамках бюджета времени на самостоятельную работу). Преподаватель должен информационно-методически обеспечить самостоятельную работу студента, и в ходе аудиторных лекционных, практических занятий расставлять акценты, направлять и контролировать самостоятельную работу студента.

Для контроля текущей успеваемости студент согласно календарному плану обучения проходит 2 этапа рейтингового контроля, которые оцениваются в баллах (максимум 50 баллов).

Информационно-методическое обеспечение дисциплины включает учебники, учебные пособия и методические указания, представленные в тематическом плане дисциплины. Все эти материалы доступны студентам и имеются в необходимом количестве. Доступ к учебно-методическим материалам возможен с использованием сети INTERNET. Электронные информационные ресурсы представлены на сайте университета <http://edu.donstu.ru>. Имеется доступ к электронной библиотечной среде (www.ntb.donstu.ru).

Контроль реализации компетенций, закрепленных за дисциплиной в соответствии с ФГОС

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

**КАФЕДРА «ТЕХНОЛОГИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
И ХУДОЖЕСТВЕННАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ»**

**РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ПРОКАТКИ И ВОЛОЧЕНИЯ**

**Методические указания к практическим занятиям
По дисциплине «Заготовительные производства в машиностроении»**

Ростов-на-Дону 2022

Составители: кандидат технических наук, доцент Г.Г. Калинин.

УДК 621.376:620.173(076.5)

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Заготовительные производства в машиностроении» по разделам «Прокатка» и «Волочение». - Ростов н/Д.: Издательский центр ДГТУ, 2022. - 20 с.

Методические указания предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения бакалавров направления 15.03.01 «Машиностроение» по программе «Информационные технологии обработки металлов давлением» при изучении разделов «Прокатка» и «Волочение» дисциплины «Заготовительные производства в машиностроении».

Печатается по решению методической комиссии факультета
«Машиностроительные технологии и оборудование»

Научный редактор - д.т.н., доц. Вовченко А.В.

Рецензент - к.т.н, доц. Ефремова Е.А.

© Издательский центр ДГТУ, 2022

1. Основы расчета процесса продольной прокатки

1.1 Расчет геометрических параметров очага пластической деформации

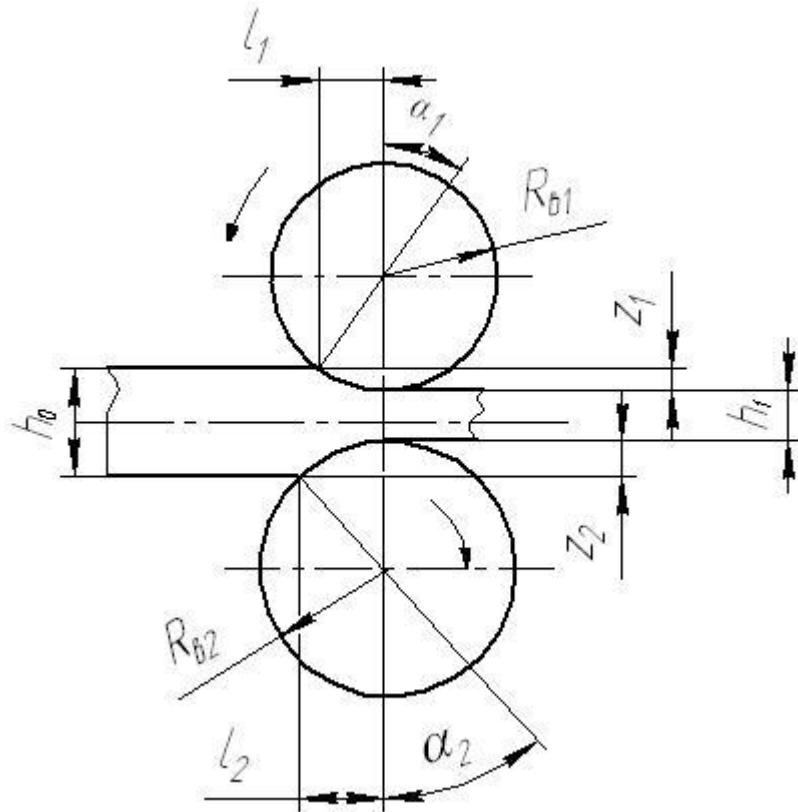


Рис. 1.1. Схема процесса продольной прокатки:

$R_{б1}, R_{б2}$ - диаметры валков; h_0, h_1 - высота полосы до и после прокатки;
 $\Delta h = h_0 - h_1$ - абсолютное обжатие при деформации;

α - геометрический угол захвата; $\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R_{б}}}$

Угол захвата в валках разного диаметра: $\alpha_1 = \frac{2\beta}{1 + \frac{D_1}{D_2}}$; $\alpha_2 = \frac{2\beta}{1 + \frac{D_2}{D_1}}$,

где β - угол трения (рад), $\beta = \arctg f$;

f - коэффициент трения между валками и полосой ($f \leq 0,5$)

l - горизонтальная проекция дуги захвата, $l = \sqrt{R_{б} \cdot \Delta h - (\frac{\Delta h}{2})^2}$;

$Z_1 = (R_{б2} \cdot \Delta h) / (R_{б1} + R_{б2})$, $Z_2 = (R_{б1} \cdot \Delta h) / (R_{б1} + R_{б2})$;

где Z_1 и Z_2 - обжатие каждым валком

Длина дуги захвата - $l_d = R_{б} \cdot \alpha$ (рад), хорда дуги захвата - $l_x = \sqrt{\frac{R_{б}}{\Delta h}}$

α_1 - угол захвата у вала меньшего диаметра $D1$,

α_2 - угол захвата у вала большего диаметра D_2 .

Нейтральный угол γ определяет положение нейтрального сечения,

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2\beta} \right), \text{ рад.}$$

Максимально допустимое линейное обжатие для обжимных, сортовых, станов кварто

$$\Delta h_{\max} = D \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + f^2}} \right)$$

1.2. Условие захвата полосы валками и трение при прокатке

Различают четыре случая прокатки, характеризующиеся соотношением угла трения с геометрическим углом захвата:

1. $\beta = \alpha$ - при незначительном усилии заталкивания происходит захват металла.

2. $\beta > \alpha$ - захват происходит свободно.

3. $\beta < \alpha$ - захват принудительный под действием вталкивающей силы

$$Q = \frac{p_0 B_{cp} R_s (\alpha - \beta^2)}{\cos \beta},$$

где p_0 - удельное давление,

$B_{cp} = (B_0 + B_1) / 2$ - средняя ширина раската,

где B_0 и B_1 - ширина полосы до и после прокатки,

4. $\beta = \alpha/2$ - при установившейся стадии процесса прокатки.

Для определения коэффициента трения используют формулу Эжелунда для горячей прокатки, при окружной скорости валков $v_b \leq 0,2 - 0,3$ м/с.

$$\text{Окружная скорость валков } v_b = \frac{\pi D_s n}{60}, \text{ м/с}$$

5

где D_s - диаметр валков, м;

n - число оборотов вала, об/мин.

$$f = m_l (1,05 - 0,0005t),$$

где $m_l = 1$ - для стальных валков,

$m_l = 0,8$ - для чугунных валков.

$$\left. \begin{array}{l} \text{При прокатке в стальных валках } f = 1,05 - 0,0005t - 0,056v_b \\ \text{в чугунных валках } f = 0,92 - 0,0005t - 0,056v_b \\ \text{в шлифованных чугунных или} \\ \text{стальных валках } f = 0,82 - 0,0005t - 0,056v_b \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_b < 5 \text{ м/сек} \\ t > 700^\circ\text{C} \end{array}$$

$$\text{При холодной прокатке } f_x = K_m \left[0,07 - \frac{0,1v_b^2}{2(1+v_b) + 3v_b^2} \right]$$

где v_b - окружная скорость валков, м/сек.

K_m - коэффициент, зависящий от условий смазки:

$K_m = 1$ - вода, эмульсия, керосин;

$K_m = 1,35$ - машинное масло,

$K_m = 1,55$ - на сухую [2].

1.3. Расчет кинематических параметров процесса прокатки

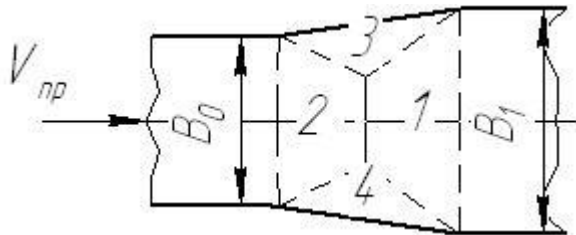


Рис.1.2. Схема уширения при продольной прокатке:

1- зона опережения; 2- зона отставания; 3,4- зоны уширения

Горизонтальная проекция скоростей частиц в критическом сечении

$$v_y = v_b \cos \gamma,$$

где γ - нейтральный угол.

Коэффициент вытяжки
$$\mu = \frac{V_{h1}}{V_{h0}} = \frac{F_0}{F_1} > 1,$$

где F_0 и F_1 - начальная и конечная площадь поперечного сечения полосы.

где V_{h0}, V_{h1} - скорости полосы на входе и выходе из очага деформации.

Опережение $S = (R_\epsilon/h_1 - 0,5) \cdot \gamma^2$

Коэффициент опережения $1 + S = V_{h1}/v_\epsilon$

Коэффициент отставания $1 - S_{ho} = \mu \cos \alpha / (1 + s)$

Скорость деформации при прокатке определяется по уравнению

А.И. Целикова

$$U_{cp} = V_{h1} \cdot \Delta h / l_x \cdot h_0$$

1.4. Определение площади контакта и уширения

Деформация в направлении уширения определяется по формуле:

$$\epsilon_\epsilon = \frac{B_1 - B_0}{B_0} = \frac{\Delta B}{B_0},$$

где $\Delta B = B_1 - B_0$ - уширение.

Уширение определяют по формуле А.И. Гришкова

$$\Delta B = 0,5 \left(\sqrt{R_\epsilon \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right) \ln(h_0 / h_1)$$

Проекция площадки контакта на горизонтальную плоскость

$$\Pi_x = \frac{B_0 + B_1}{2} \sqrt{R_\epsilon \Delta h},$$

$$\Pi_x = \frac{B_0 + B_1}{2} \sqrt{\frac{2R_{\epsilon 1} R_{\epsilon 2}}{R_{\epsilon 1} + R_{\epsilon 2}}} \Delta h \quad \text{- для разных радиусов валков.}$$

1.5. Определение усилия и момента прокатки

Усилие прокатки определяется по формуле: $P = \Pi_x p_{cp}$,

где P - усилие прокатки, кН

$$P = \Pi_x p_{cp},$$

где p_{cp} - среднее удельное давление,

$$p_{cp} = K_f \cdot K_t \cdot \sigma_\epsilon,$$

где σ_ϵ - предел прочности стали (см. рис.1.3);

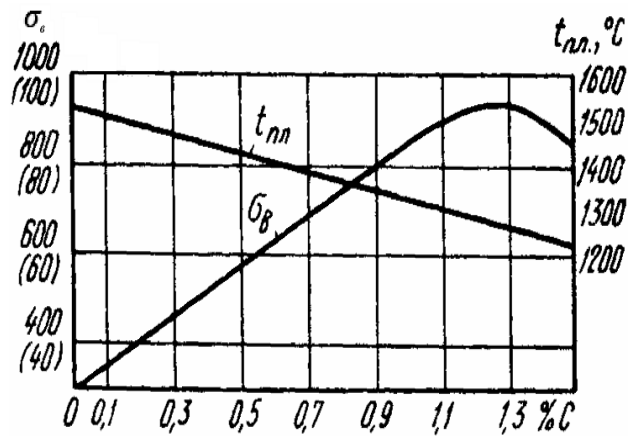


Рис.1.3. Зависимости предела прочности и температуры плавления от содержания углерода для конструкционных и инструментальных сталей

$$\kappa_f = 1 + f\left(\frac{\ell_x}{h_{cp}} - 1\right);$$

$$\text{при } t > (t_{пл} - 575^0) \quad \kappa_t = ((t_{пл} - 75^0) - t)/1500,$$

где $t_{пл}$ - температура плавления стали (см рис.1.3);

$$\text{при } t < (t_{пл} - 575^0) \quad \kappa_t = (t_{пл} - t)/1000,$$

где t - температура нагрева металла под прокатку.

Момент прокатки укрупненно определяется по формуле:

$$M_{пр} = P \sqrt{R_g \Delta h}, \text{ где } P - \text{усилие прокатки, кН}$$

Пример расчета параметров прокатки

Задача. Рассчитать технологический процесс прокатки полосы: геометрию очага деформации, кинематические и энергосиловые параметры, исходя из условий свободного захвата полосы и максимального обжатия за один проход.

Исходные данные:

$h_0 = 110$ мм, $D_1 = 850$ мм, материал валков - сталь,

$t = 1200$ °C – температура прокатки,

$n_{R1} = 69,6$ об/мин, частота вращения валка,

материал полосы - сталь 50,

$B_0 = 130$ мм – ширина полосы до прокатки

Решение

Определяем окружную скорость валка D_1 :

$$V_B = \omega R = \pi * n_{R1} R_1 / 30 = 3,14 * 69,6 * 0,425 / 30 = 3,1 \text{ м/с}$$

Коэффициент трения

$$f = 1,05 - 0,0005 t - 0,056 V_B = 1,05 - 0,0005 * 1200 - 0,056 * 3,1 = 0,28$$

Угол трения $\beta = \arctg f = 0,27 \text{ рад}$

Из условия свободного захвата $\beta \geq \alpha$, а максимальное обжатие будет при α близком к β , но все таки меньше, чем β . Принимаем $\alpha = 0,26 \text{ рад}$

Определяем максимально допустимое обжатие за один пропуск полосы

$$\Delta h = \alpha^2 * R_1 = 0,26^2 * 0,425 = 0,029 \text{ м}$$

Конечная высота полосы после прокатки

$$H_1 = h_0 + \Delta h = 110 - 29 = 81 \text{ мм}$$

Проекция дуги захвата на горизонтальную плоскость

$$l_x = \sqrt{R_1 * \Delta h - \left(\frac{\Delta h}{2}\right)^2} = \sqrt{0,425 * 0,029 - \left(\frac{0,029}{2}\right)^2} = 111 \text{ мм}$$

Нейтральный угол

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2\beta}\right) = \frac{\alpha}{4} = 0,26 / 4 = 0,065 \text{ рад}$$

Горизонтальная проекция скоростей частиц в нейтральном сечении:

$$V_y = V_B \cos \gamma = 3,1 * \cos 0,065 = 3,09 \text{ м/с}$$

Уширение полосы по формуле А.И. Гришкова:

$$\Delta B = 0,5 \left(\sqrt{R_1 * \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right) \ln \frac{h_0}{h_1} = 0,5 * \left(\sqrt{0,425 * 0,029} - \frac{0,029}{2 * 0,28} \right) \ln \frac{110}{81} = 0,009 \text{ м}$$

Конечная ширина полосы $B_1 = B_0 + \Delta B = 130 + 9 = 139$ мм

Вытяжка $\mu = \frac{V_{h1}}{V_{h0}} = \frac{F_0}{F_1} > 1, \quad \mu = F_0 / F_1 = 110 \cdot 130 / (81 \cdot 139) = 1,27$

Опережение $S = (R_0/h_1 - 0,5) \cdot \gamma^2 = (0,425/0,081 - 0,5) \cdot 0,065^2 = 0,02$

Из коэффициента опережения $1 + S = V_{h1}/v_0 \Rightarrow$ Скорость полосы на выходе

из валков $V_{h1} = (1 + S) \cdot v_0 = 1,02 \cdot 3,1 = 3,162$ м/с

Коэффициент отставания

$$1 - S_{ho} = \mu \cos \alpha / (1 + s) = 1,27 \cos 0,26 / (1 + 0,02) = 1,2$$

$$\text{Отставание } S_{ho} = 1 - 1,2 = -0,2$$

Скорость полосы на входе $V_{h0} = V_{h1} / \mu = 3,162 / 1,27 = 2,49$ м/с

Скорость деформации при прокатке определяется по уравнению

А.И. Целикова

$$U_{cp} = V_{h1} \cdot \Delta h / (l_x \cdot h_0) = 3,162 \cdot 0,029 / 0,111 / 0,11 = 7,5 \text{ с}^{-1}$$

Проекция площадки контакта на горизонтальную ось:

$$П_x = \frac{B_0 + B_1}{2} \sqrt{R_1 \cdot \Delta h} = \frac{130 + 139}{2} \sqrt{425 \cdot 29} = 14932 \text{ мм}^2$$

Усилие, действующее на валки: $P = П_x \cdot p_{cp}$

$p_{cp} = k_f k_t \sigma_B$, где σ_B - предел прочности стали в холодном, отожженном

состоянии $\sigma_B = 58$ кг/мм² (см. рис. 1.3),

$$k_f = 1 + f \left(\frac{\ell_x}{h_{cp}} - 1 \right) = 1 + 0,2 (111 / (110 + 81) - 1) = 0,92$$

t -температура нагрева металла под прокатку,

$$\text{при } t > (t_{пл} - 575^0) \quad k_t = ((t_{пл} - 75^0) - t) / 1500$$

$$t_{пл} = 1450^0 - \text{см рис. 1.3}$$

$$1200 > (1450 - 575) \Rightarrow k_t = (1450 - 75 - 1200) / 1000 = 0,175$$

$$p_{cp} = 0,92 \cdot 0,175 \cdot 58 = 9,34 \text{ кг/мм}^2$$

$$P = П_x \cdot p_{cp} = 14932 \cdot 9,34 = 139435 \text{ кг} \approx 139,4 \text{ т}$$

$$\text{Момент прокатки } M_{пр} = P \sqrt{R_0 \Delta h} = 139,4 \sqrt{0,425 \cdot 0,029} = 15,5 \text{ т} \cdot \text{м}$$

2. Расчет процесса волочения

2.1 Порядок расчета технологического процесса волочения:

1. Согласно с назначенным маршрутом процесса волочения определиться с величинами единичных обжатий.

Возможные маршруты волочения представлены на рис.1.4

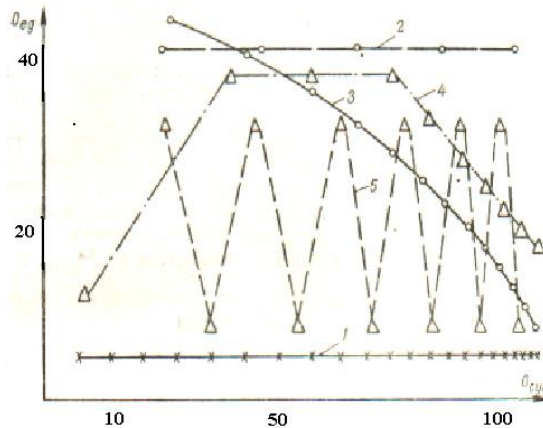


Рис. 1.4 Возможные маршруты волочения

При выборе маршрута волочения необходимо учитывать следующие стороны (для высокопрочной и вязкой стальной средне- и высокоуглеродистой проволоки) :

1) суммарное усилие волочения при одном и том же суммарном обжатии тем выше, чем меньше единичные обжатия, т.е. чем больше число ступеней деформации;

2) применение ряда последовательных весьма малых единичных обжатий (маршрут 1) неблагоприятно отражается на равномерности течения металла и однородности деформации по его сечению;

3) применение ряда последовательных больших единичных обжатий (маршрут 2) заметно снижает вязкость и допустимое суммарное обжатие металла;

4) при чередовании сначала больших и затем малых постепенно уменьшающихся единичных обжатий (маршрут 3) обеспечивается удовлетворительное качество изделий, протянутых с большим суммарным обжатием;

5) наименее целесообразен маршрут 5, а наиболее эффективен маршрут 4.

2. Определить размеры проволоки после волочения.
3. Определить усилие волочения с учетом упрочнения материала проволоки.
4. Проверить возможность обрыва.
5. Расчет проводить согласно с назначенным маршрутом процесса волочения до получения требуемого диаметра проволоки, при этом учитывать необходимость межоперационного отжига.

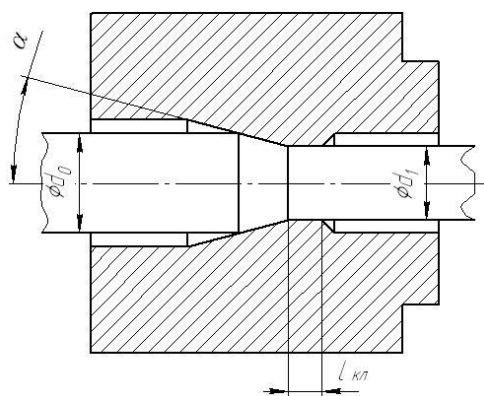


Рис.1.5 Схема процесса волочения

Исходными данными для расчета являются:

d_3 - диаметр заготовки проволоки, мм

d_k - конечный диаметр проволоки, мм

Маршрут волочения №3 по рис.1.4

α - угол конуса матрицы, град

$l_{кл}$ -длина калибрующего пояса матрицы, мм

$\sigma_{в0}$ – начальный предел прочности материала проволоки,

Функция упрочнения материала проволоки (см. табл.1 Приложения)

Площадь поперечного сечения исходной проволоки определяется по формуле

$$F_3 = \pi * d_0^2 / 4 ,$$

где d_3 - начальный диаметр проволоки

Определяется минимальное единичное обжатие

$$\varepsilon_{\text{ед}}^{\min} = \frac{\frac{6}{\alpha} - 1}{\frac{6}{\alpha} + 1},$$

Определяется общая, средняя и суммарная вытяжка:

$$\mu_{\text{общ}} = F_3 / f_u; \mu_{\text{ср}} = \sqrt[n]{\frac{F_3}{f_u}},$$

где n – число протяжек

$$\mu_{\text{сум}} = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3$$

Назначаем величины μ_1, μ_2, μ_3 и т.д. в соответствии с маршрутом волочения, так чтобы $\mu_{\text{сум}} = \mu_{\text{общ}}$.

1-е обжатие :

Так как $\varepsilon_{\text{ед}}^1 = 1 - 1/\mu_1$, то диаметр проволоки после первого обжатия:

$$d_1 = \sqrt{(1 - \varepsilon_{\text{ед}}^1) \cdot d_3^2},$$

Площадь поперечного сечения проволоки после обжатия

$$F_1 = \pi \cdot d_1^2 / 4$$

На первом обжатии $\varepsilon_{\text{ед}}^1 = \varepsilon_{\text{сум}}$.

Поскольку материал проволоки при холодной деформации упрочняется от обжатия к обжатию, то определяем предел прочности проволоки после первого обжатия, используя функцию упрочнения материала проволоки (см. приложение):

$$\sigma_{\text{с1}} = \sigma_{\text{с0}} + A \cdot \varepsilon_{\text{сум}}^n$$

Определяем средний предел прочности проволоки

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{\sigma_{\text{с0}} + \sigma_{\text{с1}}}{2}, \text{ кг/мм}^2$$

Определяем усилие волочения по формуле С.И. Губкина:

$$P = P_1 + P_2 + P_3,$$

$$\text{где } P_1 = F_1 \cdot \sigma_{\text{ср}} \cdot \frac{a+1}{a} \left[1 - \left(\frac{F_1}{F_3} \right)^a \right],$$

$$\text{где } a = \frac{1}{\cos \alpha} + \frac{f}{\sin \alpha} - 1$$

$$P_2 = 0,9 * F_1 * \sigma_{cp} * (1+f) \sqrt{\frac{F_3 - F_1}{F_3} \operatorname{tg} \alpha},$$

$$P_3 = 0,4 * \sigma_{cp} * f * d_1 * l_{кл} / F_3.$$

Определяется удельное давление волочения

$$K = P/F_1$$

Проверяется вероятность обрыва по формуле если $K/\sigma_{в1} < 1$ – то обрыва нет, в противном случае необходимо уменьшить величину первого единичного обжатия.

Проверяется соотношение суммарного обжатия проволоки $\varepsilon_{сум}$ и предельной степени деформации для ее материала $\varepsilon_{сум. \max}$ (см. табл.1 Приложения). В случае ее превышения необходим межоперационный отжиг.

После отжига предел прочности проволоки принимает первоначальное значение, а диаметр остается как после первого обжатия.

На втором и последующих обжатиях расчет повторяется в том же порядке до тех пор, пока будет достигнут конечный диаметр проволоки d_k .

2.2. Пример расчета процесса волочения

Рассчитаем технологический процесс волочения по следующим исходным данным:

Начальный диаметр круглой в сечении проволоки, $d_3 = 5$ мм

Конечный диаметр проволоки, $d_1 = 3$ мм.

Материал проволоки - Сталь 45 с начальным пределом прочности $\sigma_{60} = 58,5$ кг/мм².

Угол конуса волоки, $\alpha = 6^\circ$.

Длина калибрующей части волоки, $l_{кл} = 2,0$ мм.

Коэффициент трения, $f=0,02$.

Решение.

Площадь поперечного сечения исходной проволоки определяется по формуле

$$F_3 = \pi * d_3^2 / 4,$$

где d_0 - начальный диаметр проволоки

$$F_3 = 3,14 \cdot 5^2 / 4 = 19,6 \text{ мм}^2$$

Так как $\alpha = 6=0,105$ рад, минимальное единичное обжатие

$$\varepsilon_{\text{ед}}^{\min} = \frac{\frac{6}{\alpha} - 1}{\frac{6}{\alpha} + 1} = \frac{\frac{6}{0,105} - 1}{\frac{6}{0,105} + 1} = 0,96\%$$

Определим общую вытяжку $\mu_{\text{общ}} = F_3 / f_u = 19,6 / (3,14 \cdot 3^2 / 4) = 2,77$

где f_u - площадь изделия после последнего перехода

Среднюю величину вытяжки за проход рассчитывают по формуле

$$\mu_{\text{ср}} = \sqrt[n]{\frac{F_3}{f_u}}, \text{ где } n - \text{число протяжек.}$$

Принимаем $n = 3$, тогда $\mu_{\text{ср}} = \sqrt[3]{2,77} = 1,4$

Определяем суммарную вытяжку за несколько переходов

$$\mu_{\text{сум}} = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 = 1,55 \cdot 1,42 \cdot 1,26 = 2,77$$

1-е обжатие :

$$\mu_1 = 1,55, \mu = 1 / (1 - \varepsilon); \Rightarrow \varepsilon_1 = 1 - 1 / \mu_1 = 1 - 1 / 1,55 = 0,35$$

$$d_1 = \sqrt{(1 - \varepsilon_1) \cdot d_0^2} = \sqrt{(1 - 0,35) \cdot 5^2} = 4,03 \text{ мм}$$

$$F_1 = \pi \cdot d_1^2 / 4 = 3,14 \cdot 4,03^2 / 4 = 12,76 \text{ мм}^2$$

На первом обжатии $\varepsilon_{\text{ед}}^1 = \varepsilon_{\text{сум}} = 35\%$

Поскольку материал проволоки при холодной деформации упрочняется от обжатия к обжатию определяем предел прочности проволоки после первого обжатия:

$$\sigma_{\text{с1}} = 58,5 + 1,44 \cdot \varepsilon_{\text{сум}}^{0,83} = 58,5 + 1,44 \cdot 35^{0,83} = 86 \text{ кг/мм}^2$$

Средний предел прочности проволоки

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{\sigma_{\text{с0}} + \sigma_{\text{с1}}}{2} = \frac{58,5 + 86}{2} = 72,25 \text{ кг/мм}^2$$

Определяем усилие волочения по формуле С.И. Губкина:

$$P = P_1 + P_2 + P_3,$$

$$\text{где } P_1 = F_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot \frac{a+1}{a} \left[1 - \left(\frac{F_1}{F_0} \right)^a \right],$$

$$\text{где } a = \frac{1}{\cos \alpha} + \frac{f}{\sin \alpha} - 1 = \frac{1}{\cos 6} + \frac{0,02}{\sin 6} - 1 = 0,197$$

$$P_2 = 0,9 \cdot F_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot (1+f) \cdot \sqrt{\frac{F_0 - F_1}{F_0}} \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

$$P_3 = 0,4 \cdot \sigma_{cp} \cdot f \cdot d_1 \cdot l_{кл} / F_0.$$

$$P_1 = F_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot \frac{a+1}{a} \left[1 - \left(\frac{F_1}{F_0} \right)^a \right] = 12,76 \cdot 72,25 \cdot \frac{0,197+1}{0,197} \left(1 - \left(\frac{12,76}{19,6} \right)^{0,197} \right) = 526 \text{ кг}$$

$$P_2 = 0,9 \cdot F_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot (1+f) \cdot \sqrt{\frac{F_0 - F_1}{F_0}} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 0,9 \cdot 12,76 \cdot 72,25 \cdot (1+0,02) \cdot \sqrt{\frac{19,6-12,76}{19,6}} \cdot \operatorname{tg} 6 = 12,7 \text{ кг}$$

$$P_3 = 0,4 \cdot \sigma_{cp} \cdot f \cdot d_1 \cdot l_{кл} / F_0 = 0,4 \cdot 72,25 \cdot 0,02 \cdot 4,03 \cdot 2,0 / 19,6 = 0,24 \text{ кг}$$

$$P = 526 + 12,7 + 0,24 = 539 \text{ кг}$$

Давление волочения

$$K = P/F_1 = 539/12,76 = 42,2 \text{ кг/мм}^2$$

Проверяем вероятность обрыва по формуле

$$K/\sigma_{B1} = 42,2/86 < 1 - \text{т.е. обрыва нет}$$

Так как суммарное обжатие проволоки $\varepsilon_{\text{сум}}=35\%$, а предельная степень деформации для ее материала $\varepsilon_{\text{сум. max}} = 40\%$ (см. табл.1 Приложения), то необходим межоперационный отжиг. После отжига механические характеристики проволоки возвращаются до первоначальных значений, а размер поперечного сечения остается равным размеру сечения после первого обжатия.

2-е обжатие :

$$d_0 = 4,03 \text{ мм} \quad F_0 = 12,76 \text{ мм}^2 \quad \sigma_{B0} = 58,5 \text{ кг/мм}^2$$

$$\mu_2 = 1,42, \mu_2 = 1/(1 - \varepsilon_2); \Rightarrow \varepsilon_2 = 1 - 1/\mu_2 = 1 - 1/1,42 = 0,3$$

$$\varepsilon_2 = 30 \% = \varepsilon_{\text{сум}} = 30\%$$

Диаметр проволоки после второго обжатия

$$d_2 = \sqrt{(1 - \varepsilon_2) \cdot d_0^2} = \sqrt{(1 - 0,3) \cdot 4,03^2} = 3,37 \text{ мм}$$

Площадь поперечного сечения проволоки

$$F_2 = \pi \cdot d_2^2 / 4 = 3,14 \cdot 3,37^2 / 4 = 8,92 \text{ мм}^2$$

Так как материал проволоки упрочняется определяем предел прочности проволоки после второго обжатия:

$$\sigma_{\epsilon 1} = 58,5 + 1,44 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,83} = 58,5 + 1,44 \cdot 30^{0,83} = 82,7 \text{ кг/мм}^2$$

$$\text{Средний предел прочности проволоки } \sigma_{cp} = \frac{\sigma_{\epsilon 0} + \sigma_{\epsilon 1}}{2} = \frac{58,5 + 82,7}{2} = 70,6 \text{ кг/мм}^2$$

Определяем усилие волочения:

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \text{ где}$$

$$\text{где } P_1 = F_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot \frac{a+1}{a} \left[1 - \left(\frac{F_1}{F_0} \right)^a \right],$$

$$\text{где } a = \frac{1}{\cos \alpha} + \frac{f}{\sin \alpha} - 1 = \frac{1}{\cos 6} + \frac{0,02}{\sin 6} - 1 = 0,197$$

$$P_2 = 0,9 \cdot F_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot (1+f) \sqrt{\frac{F_0 - F_1}{F_0} \operatorname{tg} \alpha},$$

$$P_3 = 0,4 \cdot \sigma_{cp} \cdot f \cdot d_2 \cdot l_{\text{кл}} / F_0.$$

$$P_1 = F_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot \frac{a+1}{a} \left[1 - \left(\frac{F_1}{F_0} \right)^a \right] = 8,92 \cdot 70,6 \cdot \frac{0,197+1}{0,197} \left(1 - \left(\frac{8,92}{12,76} \right)^{0,197} \right) = 260,6 \text{ кг}$$

$$P_2 = 0,9 \cdot F_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot (1+f) \sqrt{\frac{F_0 - F_1}{F_0} \operatorname{tg} \alpha} = 0,9 \cdot 8,92 \cdot 70,6 \cdot (1+0,02) \cdot 0,032 = 102,8 \text{ кг}$$

$$P_3 = 0,4 \cdot \sigma_{cp} \cdot f \cdot d_1 \cdot l_{\text{кл}} / F_0 = 0,4 \cdot 70,6 \cdot 0,02 \cdot 3,37 \cdot 2,0 / 12,76 = 0,3 \text{ кг}$$

$$P = 260,6 + 102,8 + 0,3 = 363,7 \text{ кг}$$

Давление волочения

$$K = P/F_1 = 363,7/8,92 = 40,8 \text{ кг/мм}^2$$

Проверяем на обрыв $K/\sigma_{\text{в1}} = 40,8 / 82,7 < 1$ – т.е. обрыва нет

Т.к. следующее обжатие в сумме с предыдущими составят более 40% то необходимо провести **межоперационный отжиг**. После отжига все механические характеристики примут начальные значения, а геометрические размеры останутся на уровне 2-го обжатия.

3 – е обжатие :

$$d_0 = 3,37 \text{ мм} \quad F_0 = 8,92 \text{ мм}^2 \quad \sigma_{\text{в0}} = 58,5 \text{ кг/мм}^2$$

$$\epsilon_3 = 1 - 1/\mu_3 = 1 - 1/1,26 = 0,17$$

$$d_3 = \sqrt{(1-\varepsilon_3) \cdot d_0^2} = \sqrt{(1-0,17) \cdot 3,37^2} = 3,0 \text{ мм}$$

$$F_0 = \pi \cdot d_0^2 / 4 = 3,14 \cdot 3,37^2 / 4 = 8,92 \text{ мм}^2$$

$$F_1 = 7,4 \text{ мм}^2$$

$$\sigma_{\epsilon 1} = 58,5 + 1,44 \cdot \varepsilon_{\text{сум}}^{0,83} = 58,5 + 1,44 \cdot 17^{0,83} = 73,6 \text{ кг/мм}^2$$

$$\text{Средний предел прочности проволоки } \sigma_{cp} = \frac{\sigma_{\epsilon 0} + \sigma_{\epsilon 1}}{2} = \frac{58,5 + 73,6}{2} = 66,1 \text{ кг/мм}^2$$

Определяем усилие волочения по формуле С.И. Губкина:

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \text{ где}$$

$$P_1 = F_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot \frac{a+1}{a} \left[1 - \left(\frac{F_1}{F_0} \right)^a \right],$$

$$P_2 = 0,9 \cdot F_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot (1+f) \sqrt{\frac{F_0 - F_1}{F_0} \operatorname{tg} \alpha},$$

$$P_3 = 0,4 \cdot \sigma_{cp} \cdot f \cdot d_3 \cdot l_{\text{кл}} / F_0, \text{ где}$$

$$P_1 = F_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot \frac{a+1}{a} \left[1 - \left(\frac{F_1}{F_0} \right)^a \right] = 7,4 \cdot 66,1 \cdot \frac{0,197+1}{0,197} \left(1 - \left(\frac{7,4}{8,92} \right)^{0,197} \right) = 107,4 \text{ кг}$$

$$P_2 = 0,9 \cdot F_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot (1+f) \sqrt{\frac{F_0 - F_1}{F_0} \operatorname{tg} \alpha} = 0,9 \cdot 7,4 \cdot 66,1 \cdot (1+0,02) \cdot 0,133 = 60,1 \text{ кг}$$

$$P_3 = 0,4 \cdot \sigma_{cp} \cdot f \cdot d_1 \cdot l_{\text{кл}} / F_0 = 0,4 \cdot 66,1 \cdot 0,02 \cdot 3,07 \cdot 2,0 / 8,92 = 0,36 \text{ кг}$$

$$P = 107,4 + 60,1 + 0,36 = 167,9 \text{ кг}.$$

Давление волочения

$$K = P/F_1 = 167,9/7,4 = 22,7 \text{ кг/мм}^2.$$

Проверяем на обрыв $K/\sigma_{\text{в1}} = 22,7/73,6 < 1$ — т.е. обрыва нет.

Размер проволоки достигнут $d_1 = 3,0 \text{ мм}$

Приложение

Функция упрочнения и предельная деформация некоторых металлов

Таблица 1

| Материал заготовки | Функция упрочнения материала [7] $\sigma_{\epsilon} = A + B \cdot \epsilon_{\text{сум}}^n$ | Предельная степень деформации $O_{\text{сум. max, \%}}$ |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| сталь 45 | $\sigma_{\epsilon} = 58,5 + 1,44 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,83}$ | 40 |
| сталь 20 | $\sigma_{\epsilon} = 51 + 0,58 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,98}$ | 45 |
| сталь 10 | $\sigma_{\epsilon} = 57 + 2,78 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,62}$ | 50 |
| сталь У8А | $\sigma_{\epsilon} = 59 + 1,4 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,84}$ | 70 |
| сталь 45 | $\sigma_{\epsilon} = 58,5 + 1,44 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,83}$ | 40 |
| сталь 1Х18Н9 | $\sigma_{\epsilon} = 68 + 2,4 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,91}$ | 40 |
| сталь 35 | $\sigma_{\epsilon} = 52,5 + 3,38 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,6}$ | 55 |
| Алюминий А1 | $\sigma_{\epsilon} = 9,5 + 0,1 \cdot \epsilon_{\text{сум}}$ | 60 |
| Латунь ЛС59-1 | $\sigma_{\epsilon} = 38,5 + 0,53 \cdot \epsilon_{\text{сум}}$ | 60 |
| Медь М1 | $\sigma_{\epsilon} = 25 + 1,5 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,58}$ | 80 |
| сталь 65Г | $\sigma_{\epsilon} = 78 + 1,9 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,78}$ | 30 |
| сталь 35 | $\sigma_{\epsilon} = 52,5 + 3,38 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,6}$ | 55 |
| сталь У10А | $\sigma_{\epsilon} = 60 + 2,7 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,77}$ | 65 |
| Сталь У12 | $\sigma_{\epsilon} = 68 + 2,2 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,77}$ | 55 |
| сталь 30ХГСА | $\sigma_{\epsilon} = 64 + 3,4 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,61}$ | 60 |
| сталь 10 | $\sigma_{\epsilon} = 57 + 2,78 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,62}$ | 50 |
| сталь 50 | $\sigma_{\epsilon} = 67,5 + 1,74 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,8}$ | 45 |
| сталь 20 | $\sigma_{\epsilon} = 51 + 0,58 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,98}$ | 45 |
| сталь У8А | $\sigma_{\epsilon} = 59 + 1,4 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,84}$ | 70 |

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра

**«Технологии формообразования
и художественная обработка материалов»**

РАСЧЕТЫ

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ПРОЦЕССОВ ПРЕССОВАНИЯ ПРОФИЛЕЙ**

Методические указания к практическим занятиям

по дисциплине

«Заготовительные производства в машиностроении»

Ростов-на-Дону 2022

УДК 621.777(01)

Составитель: кандидат технических наук, доцент Г.Г. Калинин

Расчеты технологических параметров процессов прессования профилей: метод. указания к практическим занятиям. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ. 2022. -22 с.

В методических указаниях изложена последовательность расчета технологии процессов прессования изделий (профилей) из алюминиевых сплавов на примере прессования прутка, приведены необходимые зависимости для расчета силовых параметров прессования и повышения температуры прессуемого изделия. В приложении приведены температурно-скоростные режимы прессования некоторых наиболее часто используемых сплавов, их теплофизические характеристики, а также данные для выбора прессового оборудования, необходимее для выполнения расчетов.

Методические указания предназначены для практических занятий по дисциплине «Заготовительные производства в машиностроении» студентам дневной формы обучения, для выполнения контрольной работы студентами заочной формы обучения по направлению 15.03.01 «Машиностроение» профиля «Информационные технологии обработки металлов давлением» и могут использоваться в расчетах технологии прессования при выполнении выпускной бакалаврской работы и диссертационной работы магистрантами, обучающимися по направлению 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» по программе «Технологии и машины обработки давлением».

Печатается по решению методической комиссии факультета «Технология машиностроения»

Рецензент - канд. техн. наук, доцент Пасхалов А.С.

Научный редактор – канд. техн. наук, доцент Церна И.А.

Г.Г. Калинин, 2022

Издательский центр ДГТУ, 2022

Содержание

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Последовательность расчета технологического процесса прессования изделий | 4 |
| 1. Выбор диаметра контейнера, расчет размеров, массы заготовки и выхода годного | 4 |
| 2. Обоснование условий ведения процесса прессования | 7 |
| 3. Расчет силы прессования | 7 |
| 4. Расчет изменения температуры при прессовании | 12 |
| 5. Обработка полуфабрикатов после прессования | 16 |
| 6. Назначение правил приемки изделий | 16 |
| 7. Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение изделий | 16 |
| 8. Расчет технологической себестоимости | 17 |
| 9. Приложение (таблицы данных к расчетам) | 18 |
| 10. Литература | 23 |

Последовательность расчета технологического процесса прессования изделий¹

Целью разработки технологического процесса прессования является получение изделий (прутка, сплошного или полого профиля) необходимых размеров и заданного качества при минимальных затратах на их производство. При разработке технологического процесса необходимо обоснованно выбрать способ прессования (прямой, обратный, с активным действием сил трения), технологическую схему прессования, оборудование, инструмент, назначить технологические режимы, подтвердить целесообразность принятого решения экономическим расчетом [1].

Технологическая схема производства прессованных изделий приведена в учебном пособии [16]. Исходными данными для выбора и разработки технологии прессования является чертеж изделия с техническими условиями на поставляемую продукцию (марка сплава, требования к геометрии профиля, качеству поверхности, макро- и микроструктуре, механическим свойствам, методам испытаний, способам консервации, упаковки и маркировки), сведения о состоянии поставки (термообработке), сдаточной длине и объеме заказа. Остальные требования к изделию (предельные отклонения, ограничения по кривизне, волнистости, допускаемая косина реза и т.п.) - по ГОСТ 8617-2018. Ниже кратко приведено содержание основных разделов расчета.

1. Выбор диаметра контейнера и расчет размеров заготовки

При прессовании используют, как правило, заготовки круглого сечения. Размер заготовки определяет качество и технико-экономические показатели процесса. С увеличением объема заготовки и длины прессуемого изделия уменьшается величина отходов и растет неравномерность деформации в изделиях. При этом необходимо иметь в виду, что с увеличением диаметра заготовки D_3 и уменьшением ее длины L_3 растет доля металла, уходящего в пресс-остаток, что снижает выход годного. С уменьшением диаметра заготовки и увеличением её длины, наоборот, возрастает выход годного и снижается неравномерность деформаций в получаемых изделиях [2].

1.1 Выбор диаметра контейнера

Сведения о диаметрах втулок контейнера, закрепленных за прессами, их номинальной силе, скоростях холостого и рабочего ходов приведены в технических характеристиках прессов (табл. 1).

¹Рассматриваются основные этапы расчета технологии сплошных круглых изделий (прутков) из алюминиевых сплавов.

С учетом требований, предъявляемых к механическим свойствам изделия, назначают коэффициент вытяжки μ : при прессовании полуфабрикатов можно принять $\mu = 5 \dots 10$; при прессовании изделий коэффициент вытяжки не может быть меньше 10 [2].

Диаметр рабочей втулки контейнера D_k определяют из принятого технологическим коэффициентом вытяжки из соотношения $\mu = F_k / f_n$ (F_k - площадь поперечного сечения втулки контейнера, f_n - площадь поперечного сечения изделия заданного чертежом) и принимают ближайший больший диаметр втулки контейнера прессы.

При выполнении расчетной и контрольной работ внутренний диаметр рабочей втулки контейнера и величина коэффициента вытяжки приводятся в задании к расчету, а диаметр прутка рассчитывается студентами исходя из площади поперечного сечения изделия: $f_n = F_k / \mu$.

1.2 Расчет диаметра и длины заготовки

Диаметр заготовки с учетом ее нагрева перед прессованием должен быть меньше диаметра втулки контейнера и его величину определяют по формуле $D_3 = (0,965 \dots 0,975) D_k$.

При назначении длины заготовки (как правило, это слиток) необходимо учитывать, что максимальна её величина ограничивается, с одной стороны, полезной длиной втулки контейнера (см. табл. 2), а с другой стороны, - допустимыми давлениями на инструмент, которые зависят от максимальной силы прессования [2].

При расчете длины заготовки необходимо стремиться к получению максимально возможного количества (кратности) готовых профилей заданной заказчиком длины из одной заготовки (сдаточной длины изделия) при условии, что максимальная сила их прессования при этом не превысит 80% номинальной силы прессы. Поэтому при расчете длины заготовки необходимо варьировать величиной кратности изделий заданной длины.

Длина заготовки при прессовании профилей постоянного сечения в общем случае определяется по формуле:

$$L_3 = \frac{[(l_{сд} + \Delta l) \cdot m + l_{ко}] \cdot n \cdot f_n}{F_3} + h_{по} \cdot \mu_p,$$

где $l_{сд}$ - сдаточная длина поставляемого профиля; Δl - припуск на длину (+20 мм); n - кратность профилей в прессовке; $l_{ко}$ - длина концевой обрезки; m - число каналов в матрице; $h_{по}$ - высота (длина) пресс-остатка; μ_p - коэффициент распрессовки заготовки; F_3 - площадь поперечного сечения заготовки.

Величина кратности профилей должна быть больше единицы и принимается методом подбора таким образом, чтобы длина заготовки была близка к максимально допустимой (см. табл.1), но не более трех её диаметров.

Длину отрезаемых концов (концевой обрезки-отходов) принимают равной сумме отходов $l_{ко} = l_{п} + l_{ут}$ ($l_{п}$ - слабдеформированный передний конец изделия (прутка), $l_{ут}$ – утяжной конец изделия, со стороны пресс-остатка). При прямом способе прессования длину концевых отходов рассчитывают по формулам: $l_{п} = (5...7)d_{и}$; $l_{ут} = (7...10)d_{и}$.

Диаметр прутка ($d_{и}$) определяется исходя из площади его поперечного сечения ($f_{и}$). При прессовании профиля длина концевых отходов рассчитывается исходя из диаметра равновеликого по площади диаметра прутка.

Высота пресс-остатка для прямого способа прессования принимается равной $h_{по} = (0,22... 0,25)D_{к}$ или по табл. 2, обратного прессования - $(0,1...0,15)D_{к}$, прессования с активным действием сил трения - $(0,05... 0,08) D_{к}$.

Коэффициент распрессовки заготовки рассчитывается по формуле: $\mu_p = F_{к}/F_{з}$.

Размеры заготовки округляют с точностью до 1 мм и назначают допуск на её диаметр: $\Delta D_{з} = (0,007...0,013)D_{к}$. После расчета размеров заготовки определяют её объем ($V_{з}$).

1.3 Расчет массы заготовки ($M_{з}$) и выхода годного (A).

Массу одного погонного метра изделия - изделия длиной один метр (M), и заготовки ($M_{з}$) определяют по формулам:

$$M = \rho \cdot f_{и} \text{ и } M_{з} = \rho \cdot V_{з},$$

где ρ - плотность материала в кг/м³ (табл. 1); $f_{и}$ - площадь поперечного сечения изделия.

Масса готовых профилей, полученных из одной заготовки:

$$M_A = M \cdot l_{сд} \cdot m \text{ (кг)}.$$

Геометрические отходы от одной заготовки рассчитываются по формуле:

$$M_{отх} = [(M_{з} - M_A) / M_{з}] \cdot 100 \text{ (\%)}.$$

Технологические отходы (T) принимаются равными 1,5...1,7%.

Выход годного составит: $A = 100\% - (M_{отх} + T)$.

Запуск металла на 1 тонну годного рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{зап}} = (1000 \cdot 100) / A \text{ (кг)}.$$

2. Обоснование условий ведения процесса прессования

2.1 Выбор способа нагрева заготовок, назначение температурного интервала прессования и температуры нагрева контейнера

Для нагрева заготовок, как правило, применяют индукционные нагревательные устройства методического действия промышленной частоты.

Температуру нагрева заготовок перед прессованием и подогрева контейнера назначают в соответствии с рекомендациями в зависимости от материала заготовки и способа прессования (табл. 3, 4).

2.2 Назначение скорости прессования

Скорость прессования ($V_{пр}$) рассчитывается исходя из рекомендуемых для конкретного сплава величин скоростей истечения ($V_{и}$) (табл. 3, 4). Эти скорости связаны зависимостью: $V_{и} = V_{пр} \cdot \mu$. Скорость истечения обычно задается в м/мин, а скорость прессования - в мм/с.

С учетом размерностей скорость прессования рассчитывается по формуле:

$$V_{пр} = (1000 \cdot V_{и} / 60 \cdot \mu). \text{ (мм/с)}$$

После выбора заготовки и обоснования температурно-скоростных условий прессования рассчитывается необходимая сила прессования.

3. Расчет силы прессования

Силу прямого прессования можно рассчитать по формулам С.И. Губкина [5, 6], И.Л. Перлина [1-3,7] или К. Лауэ [8].

Зависимости Губкина С.И. и Лауэ К. более просты, но дают завышенную оценку силы.

Полная сила прессования по К. Лауэ рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{\pi \cdot D_K^2}{4} \cdot \ln \mu \cdot S_{ок} + \pi \cdot D_K \cdot L'_3 \cdot \mu_T \cdot S_{он},$$

где $S_{\partial n}$ и $S_{\partial k}$ - соответственно начальное сопротивление деформированию (напряжение течения – σ_s) и конечное с учетом температуры и скорости деформации; L'_3 - длина распрессованной в контейнере заготовки; μ_T - коэффициент трения между заготовкой и контейнером: при прессовании без смазки $\mu_T = 0,35...0,45$.

По С. И. Губкину сила прессования определяется по зависимости:

$$P = z \cdot F_K \cdot S_{\partial n} \cdot \ln \left(1 + \mu_T \cdot \operatorname{tg} \alpha + \mu_T \cdot \operatorname{ctg} \alpha + \frac{4 \cdot \mu_T \cdot L'_3}{D_K \cdot \ln \lambda} \right),$$

где z - коэффициент неоднородности деформации (при горячем прямом прессовании рекомендуется $z = 1,5...2,0$; обратном – $z = 1,0$; с активным трением – $z = 0,7$); α - полуугол конусности матрицы (α для прямого и обратного способа прессования принимается равным 60° , с активным трением – 73°).

В специальной отечественной литературе для расчета силы прессования рекомендуют зависимости И. Л. Перлина, уточненные М.Е. Ерманком:

$$P = R + T_{MЗ} + T_P + T_K + T_{ПМ},$$

где R - сила для преодоления основной деформации без учета трения; $T_{MЗ}$, T_P , T_K , $T_{ПМ}$ - силы преодоления трения соответственно возникающего в обжимающей части пластической зоны (ОЧПЗ) между нею и мёртвой зоной металла у зеркала матрицы, на рассекателе матрицы (при прессовании полого профиля из сплошной заготовки), на боковой поверхности контакта контейнера с заготовкой и в рабочем пояске матрицы.

Сила преодоления основной деформации рассчитывается по формуле:

$$R = \beta \cdot \left[\pi \cdot D_K^2 / 4 \cdot \cos^2(\alpha / 2) / i \cdot S_{\partial c} \right],$$

где β - коэффициент, учитывающий влияние главного нормального напряжения ($1 < \beta \leq 1,15$); при прямом прессовании ($\alpha = 60^\circ$) и при прессовании профилей $\beta = 1,15$; при прессовании прутков $\beta = 1,0$; i - интегральный показатель основной деформации ($i = \ln \mu = \ln(F_K / f_{ИЗД})$); $S_{\partial c}$ - среднее значение сопротивления деформированию при условиях прессования, определяемое по методике, предложенной М. З. Ермаком [2] (см. ниже).

Сила преодоления трения на боковой границе обжимающей части пластической зоны (ОЧПЗ), т.е. пластической зоны и мёртвой (застойной) зоной металла у матрицы рассчитывается по формуле:

$$T_{M3} = \frac{\pi D_K^2}{2 \sin \alpha} \ln \frac{D_K - d_{вн}}{d_H - d_{вн}} \cdot f_a \cdot S_{\partial c},$$

где d_H и $d_{вн}$ - наружный и внутренний приведенные диаметры полого профиля соответственно; f_a - коэффициент внутреннего трения.

При прессовании сплошного профиля ($d_{вн} = 0$; $f_a = 0,5$; $\alpha = 60^\circ$) формула упрощается:

$$T_{M3} = 0,45 D_K^2 S_{\partial c} \ln \mu.$$

Сила на рассекателе (при прессовании полых профилей из сплошной заготовки) [2] :

$$T_P = 1,6 D_K (L'_3 - 0,6 d_H + 0,3 D_K) S_{\partial n}.$$

При прямом способе прессования сила трения между заготовкой и контейнером определяется по зависимости:

$$T_K = \pi D_K [L'_3 - h_{yz} - (0,2 \dots 0,3) D_K] \tau_{cp},$$

где τ_{cp} - среднее напряжение трения металла заготовки о поверхность контейнера (можно принять равным $0,5 S_{дн}$), h_{yz} - высота упругой зоны у матрицы ($h_{yz} = 0,64 [(D_K - d_H) / 2]$).

Сила трения в рабочем пояске матрицы рассчитывается по формуле:

$$T_{ПМ} = \mu_1 S_{\partial к} \mu (\Pi_{нар} + \Pi_{вн}) l_{П},$$

где μ_1 - коэффициент трения о поверхность матрицы и иглы (при прессовании алюминиевых сплавов со смазкой оправки $\mu_1 = 0,1 \dots 0,2$); $\Pi_{нар}$ и $\Pi_{вн}$ - периметры наружного и внутреннего контура полого профиля, соответственно; $l_{П}$ - длина рабочего пояска матрицы.

Рекомендуется среднее значение сопротивления деформированию $S_{дс}$ определять с учетом длительности деформации [2] или с учетом скорости деформации [7,9].

Время нахождения элементарной частицы прессуемого объема в ОЧПЗ (длительность деформации) определяется по формуле

$$\tau = B_{очпз} / B_{сек},$$

где $V_{очпз}$ и $V_{сек}$ - объем ОЧПЗ и секундный объем металла (вытесняемый из контейнера за одну секунду), соответственно.

Объем ОЧПЗ при $\alpha = 60^\circ$ рассчитывают по формуле

$$V_{очпз} = 0,2(D_K^3 - d_H^3).$$

Секундный расход металла зависит от диаметра контейнера и скорости прессования:

$$V_{сек} = (\pi D_K^2 / 4) V_{пр}.$$

При прессовании средняя скорость деформации [7,8,13] равна $\dot{\epsilon}_{ср} = \dot{\epsilon} / \tau$ (с⁻¹),

где $\dot{\epsilon} = \ln \mu$.

В зависимости от длительности деформации (τ), марки сплава и температуры заготовки (t°) по графикам $S_{дн} = f(t^\circ)$ и $S_{дк} = f(\tau)$ находят значения $S_{дн}$ и $S_{дк}$ (рис. 1 -

4) и рассчитывают $S_{дс}: S_{дс} = \sqrt{S_{дн} \cdot S_{дк}}$.

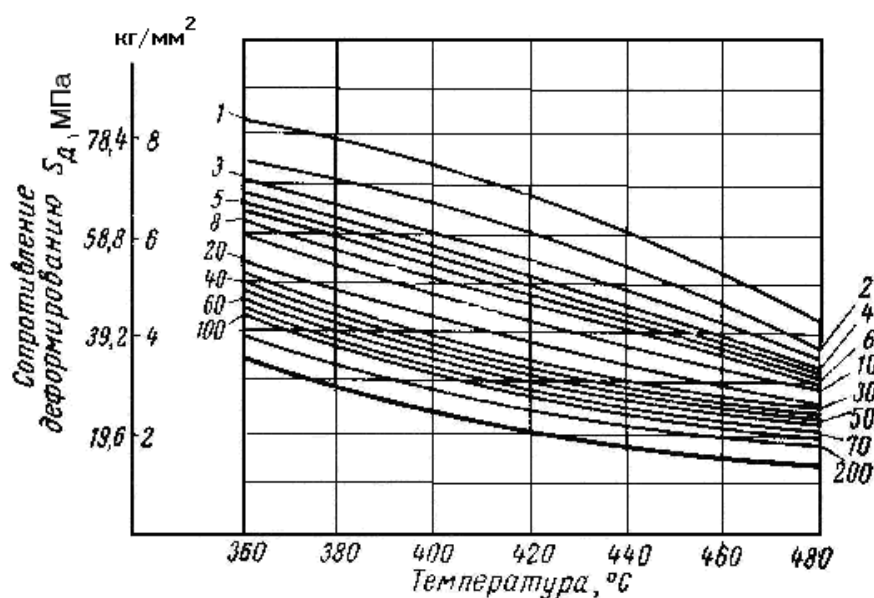


Рис. 1 Зависимость сопротивления деформации $S_d(\sigma_s)$ сплава АД31 от температуры (t) и длительности деформации (τ_∂ , кривые 1-200) [2, 3]

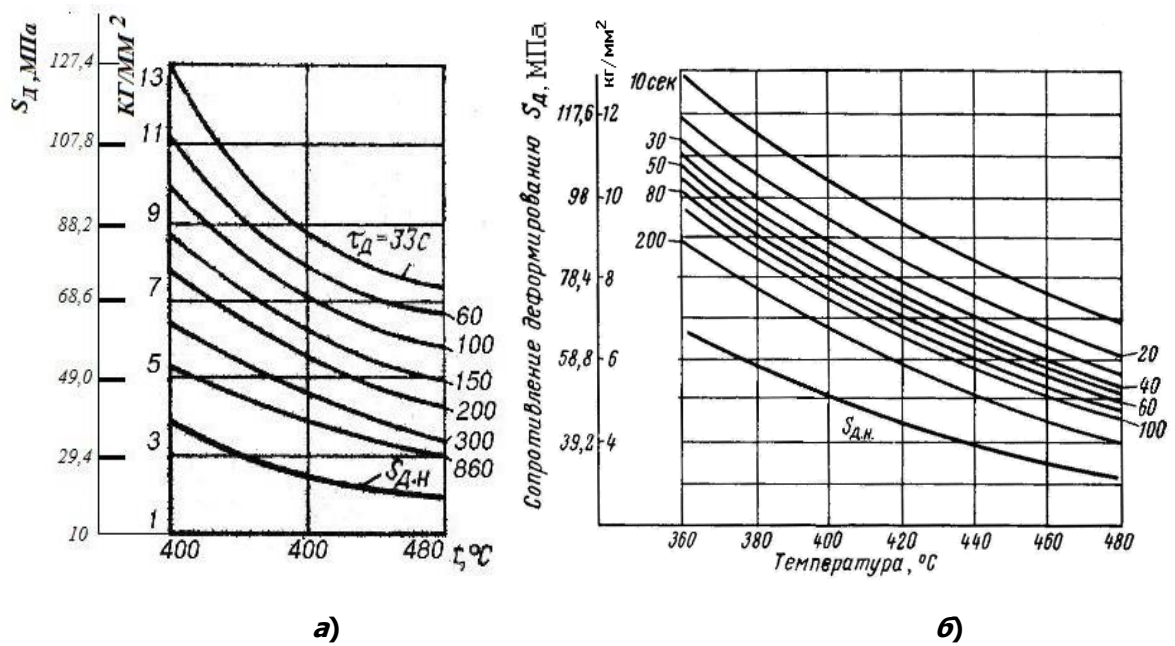


Рис. 2 Зависимость сопротивления деформации $S_d(\sigma_s)$ сплавов АМг6 (а) и В95 (б) от температуры (t) и длительности деформации (τ_d , кривые 10-860) [2, 3]

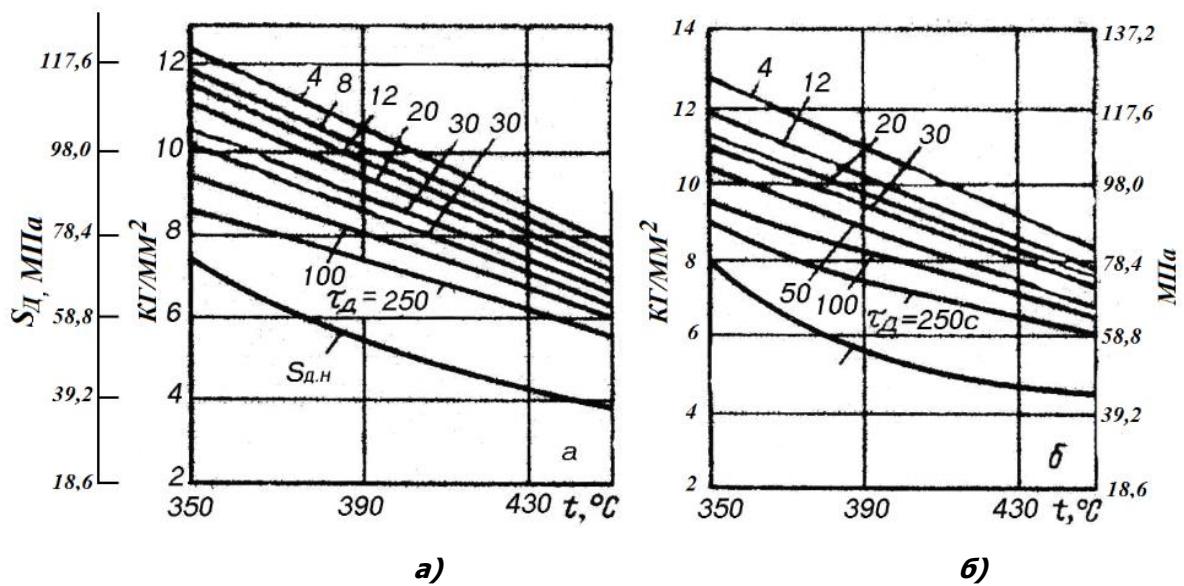


Рис. 3 Зависимость сопротивления деформации $S_d(\sigma_s)$ сплавов 1915 (а) и 1925 (б) от температуры (t) и длительности деформации (τ_d , кривые 4-250) [2, 3]

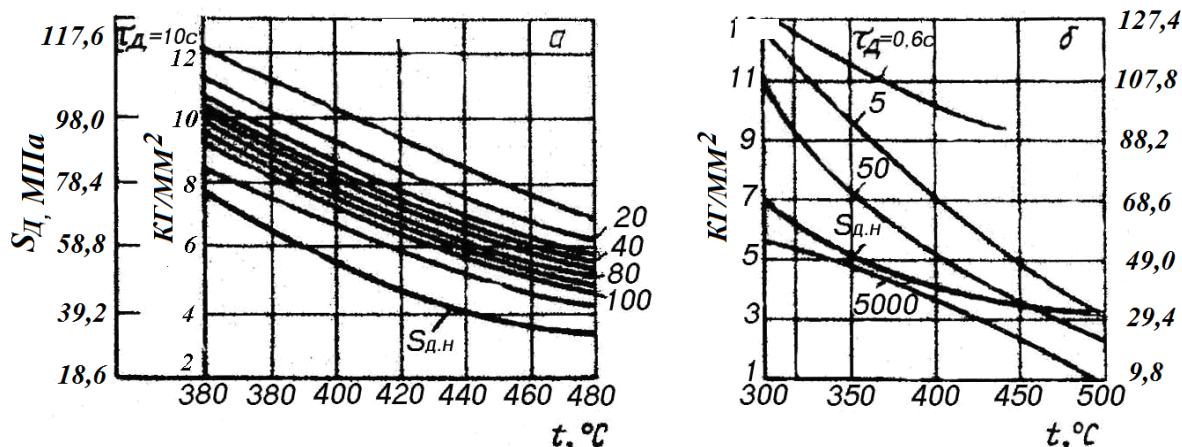


Рис. 4 Зависимость сопротивления деформации $S_d(\sigma_s)$ сплава Д16 от температуры (t) и длительности деформации (τ_d , кривые 0,6-5000) [2, 3]

Сопротивление деформации $S_{ок}$ для некоторых алюминиевых сплавов можно рассчитать в соответствии с рекомендациями работы [9] или найти в источнике [13].

При расчете силы обратного прессования необходимо учесть, что заготовка не перемещается относительно контейнера и поэтому $T_K = 0$.

Если рассчитанная сила прессования в принятых температурно-скоростных условиях превышает 0,8 номинальной силы пресса, то для её снижения уменьшают длину заготовки и расчет повторяют.

4. Расчет изменения температуры при прессовании

В отличие от прессования сталей и медных сплавов, прессуемых с относительно высокими скоростями (когда при расчете температуры пластической зоны можно пренебречь теплопроводностью прессуемого металла и теплообменом между ним и инструментом), при прессовании высокопрочных алюминиевых сплавов (Д16, В95 и др.), которым присуща очень низкая критическая скорость прессования ($V_{пр} \ll 25$ мм/с), пренебрежение изменением температуры пластической зоны вследствие теплопроводности прессуемого металла и теплообмена между металлом и инструментом может привести к серьезным отрицательным последствиям.

Повышение температуры металла в ОЧПЗ до критических значений [2] при прессовании трудно деформируемых алюминиевых и некоторых других сплавов может приводить к понижению пластических свойств и образованию трещин на поверхности изделий или к пережогу металла [2,7,10]. Во избежание этого явления необходимо снижать температуру нагрева заготовок перед прессованием и вести его с пониженными скоростями, когда тепло деформации успевает рассеиваться. С

другой стороны, повышение температуры металла в ОЧПЗ снижает сопротивление деформированию, не учет которого приводит к завышению расчетных данных о силе прессования [2, 7].

Первое следствие повышения температуры при прессовании является более важным для ведения технологического процесса, т.к. оно определяет условия получения качественных изделий, влияет на температурно-скоростной режим работы и определяет производительность оборудования.

В отечественной литературе для расчета изменения температуры в ОЧПЗ используется методика, предложенная Ю.Л. Стерником [10]. Она предполагает, что температура равномерно распределяется по сечению прессуемого слитка и тепло трения металла о стенки контейнера, выделяющееся на контактной поверхности, почти полностью поглощается контейнером и не оказывает существенного влияния на температуру прессуемого изделия.

Изменение температуры в пластической зоне у матрицы в результате выделения тепла деформации (с учетом теплообмена очага деформации с контейнером) рассчитывается по формуле:

$$\Delta t_j = t_j - t_0 = \frac{p_0}{c \cdot \rho} \cdot \gamma - \Delta t_0 \left\{ 1 - \exp \left[- \frac{8 \cdot b_1}{(b_2 + b_1) \sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{\frac{\eta_j}{Pe}} \right] \right\}, \quad (1)$$

где t_j - температура изделия на выходе его из пояска матрицы, °С; Δt_0 - начальная разность температур слитка и контейнера, °С ($\Delta t_0 = t_3 - t_K$); p_0 - давление (удельная

сила прессования) в кПа (сила прессования без учета сил трения заготовки о контейнер, делённое на площадь поперечного сечения рабочей втулки контейнера) в сечении пластической зоны, для которого определяется изменение температуры; c – удельная теплоемкость прессуемого металла в кДж/(кг °С); ρ - плотность прессуемого металла, кг/м³; γ_j - коэффициент, зависящий от величины Pe и η_j (рис. 5); b_1 и b_2 –

коэффициенты аккумуляции тепла металлом контейнера и заготовки, соответственно,

кДж/(°С·м²·с^{0,5}), $b = \sqrt{c \cdot \rho \cdot \lambda}$; η_j - отношение текущей величины хода пресс-штемпеля (h_j) к внутреннему диаметру рабочей втулки контейнера, $\eta_j = h_j / D_K$; Pe - критерий Пекле, $Pe = V_{IP} \cdot D_3 / a$; a - коэффициент температуропроводности, м²/с ($a = \lambda / \rho c$); λ - коэффициент теплопроводности, кДж/(м·с·°С).

Для штамповых сталей (материалов контейнера) величину коэффициента b_1 можно принять равной $11,7 \text{ кДж}/(^\circ\text{С}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{0,5})$. Коэффициент b_2 необходимо рассчитать с учетом теплофизических констант прессуемого сплава (табл. 5) [2,12].

Рассчитав величину критерия Пекле и разделив процесс на несколько этапов, по соответствующей кривой значения Pe (рис. 5) для каждого этапа прессования (η_j) находят значение коэффициента γ_j и по формуле (1) рассчитывают величину изменения температуры на рассматриваемом этапе процесса.

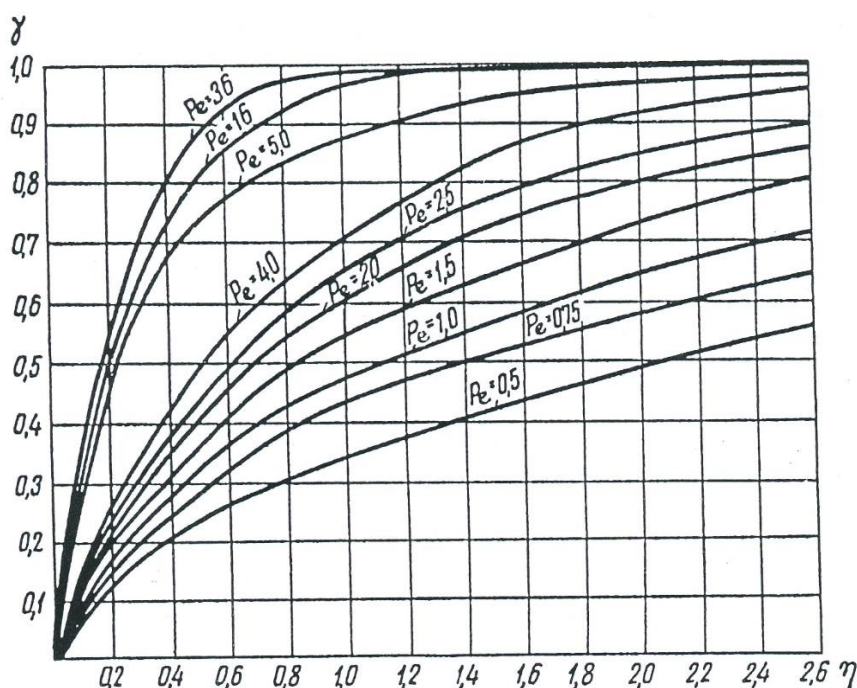


Рис. 5 Зависимость коэффициента γ от критериев η и Pe при прямом способе прессования [10]

Первое слагаемое формулы (1) определяет повышение температуры от совершенной работы формоизменения (работы пластической деформации), а второе слагаемое - изменение температуры в результате теплообмена прессуемой заготовки с контейнером.

При обратном прессовании повышение температуры от работы формоизменения

рассчитывается аналогично, но при этом используют зависимости коэффициента γ от

критериев η и Pe приведенные на рисунке 6 [14-16].

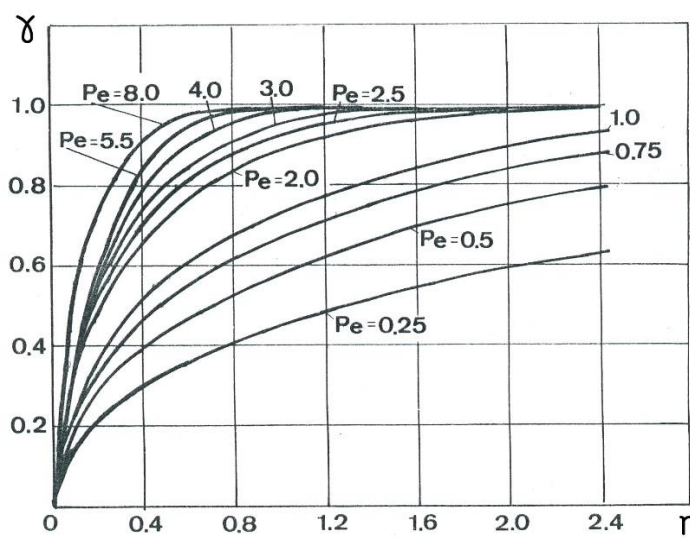


Рис. 6 Зависимость коэффициента γ от критериев η и Pe при обратном прессовании [15,16]

При прессовании с активным действием сил трения повышение температуры от работы формоизменения рассчитывают исходя из скорости прессования, а изменение температуры в результате теплообмена с контейнером - исходя из скорости относительного смещения заготовки и контейнера [14-16].

Величину коэффициента γ_i в этом случае рекомендуется выбирать также по рисунку 6. В работах [14,15] приведены зависимости, позволяющие рассчитать ещё и изменение температуры от работы сил трения между заготовкой и контейнером и в калибрующем пояске матрицы.

Разделив условно процесс прессования на j этапов, последовательно для каждого этапа рассчитывают приращение температуры на выходе из ОЧПЗ и находят закономерность изменения температуры по ходу процесса. Пользуясь полученной закономерностью, можно рассчитать скорость "изотермического" прессования, при которой $\Delta t_j = const$ [7]. Из формулы (1) следует, что $t_j = t_3 + \Delta t_j$.

Если температура изделия равна или больше критической температуры сплава (табл. 3) получаемое изделие будет иметь дефекты поверхности и структуры. Следовательно, условия прессования необходимо изменить, уменьшив скорость

прессования или температуру нагрева заготовки. Если максимальная температура изделия существенно ниже t_{KP} , имеется резерв повышения скорости прессования.

5. Обработка полуфабрикатов после прессования

После прессования пресс-изделия из алюминиевых сплавов подвергают дополнительной обработке, в которую входят следующие операции: термическая обработка (отжиг, закалка, старение); устранение искажения формы (правка); обрезка концов и резка на заданную длину; обработка поверхности изделий; консервация и упаковка [2, 11,16].

В зависимости от вида сплава и требований, предъявляемых к пресс-изделиям Заказчиком, последовательность и число этих операций может изменяться.

6. Назначение правил приемки изделий

Изделия принимаются партиями. В документе о качестве изделий должны быть указаны следующие данные: наименование и товарный знак предприятия-изготовителя; наименование предприятия-Заказчика; состояние поставки изделия; обозначение (шифр) изделия; номер партии, масса (нетто) партии; результаты испытаний (для механических свойств указываются максимальные и минимальные значения); дата отгрузки; обозначение стандарта.

Для определения химического состава отбирают два изделия от партии. Проверке состояния наружной поверхности и геометрических размеров подвергают каждое изделие. Для проверки механических свойств отбирают 5% профилей, макроструктуры изделий - 2%, но не менее двух изделий. Для проверки микроструктуры изделий, подвергаемых закалке и на пережог, отбирают одно изделие от каждой садки термической обработки.

7. Маркировка, упаковка, транспортировка и хранение

Профили связывают в пучки, к которым крепят бирку с указанием марки сплава, состояния материала, номера партии и клейма отдела технического контроля (ОТК) предприятия-изготовителя.

Консервацию, упаковку, маркировку, транспортную тару, транспортировку и хранение выполняют в соответствии с ГОСТ 9.011-79.

8. Расчет технологической себестоимости

Экономические расчеты выполняются в соответствии с рекомендациями работы [4].

На практических занятиях по изучаемой дисциплине для ориентировочной оценки производительности необходимо рассчитать норму выработки в шт.:

$$H_{\text{вып}} T / t_{\text{шт}},$$

где T - продолжительность смены или рабочего дня, мин.; $t_{\text{шт}}$ - штучное время, мин.

Штучное время включает в себя основное ($t_{\text{осн}}$), вспомогательное ($t_{\text{всп}}$), организационно-технического обслуживания ($t_{\text{обс}}$) и перерывы на отдых и личные надобности ($t_{\text{отд}}$):

$$t_{\text{шт}} = (t_{\text{осн}}) + (t_{\text{всп}}) + (t_{\text{обс}}) + (t_{\text{отд}}).$$

Основное время рассчитывается исходя из отпрессованной части длины заготовки и скорости прессования: •

$$t_{\text{осн}} = (L'_3 - h_{\text{но}}) / V_{\text{пр}}.$$

Вспомогательное время берется из технической характеристики пресса (табл.1). Время на организационно-техническое обслуживание оборудования, перерывы на отдых и личные надобности принимаются по данным предприятия. В расчетной работе при определении ориентировочной производительности можно принять это время равным нулю. Тогда производительность пресса в течение времени T составит:

$$\Pi = H_{\text{вып}} \cdot M_A.$$

Таблица 1

Краткая характеристика некоторых отечественных гидравлических прессов [2, 3]

| Номинальная сила пресса, МН (Тс) | Диаметр рабочей штулки контейнера, мм | Длина штулки контей- нера, мм | Сила прижима контейнера, МН | Сила отжима контейнера, МН | Макси- мальная длина слитка, мм | Давление прессования, МПа | Ход главного плунжера, м | Скорость главного плунжера при прессовании, мм/с | Длина прием- ного стола, м | Общее вспомо- гатель- ное время,с | Сила ножниц, МН |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|
| 49,05 (5000) | 500 420 360 310 | 1200 | 5,2 | 2,7 | 1050 | 254 360 490 665 | 1520 | 1,8-6,0 | 21 | 122 | 1,85 |
| 29,4 (3000) | 270 250 | 1000 | 3,9 | 2,3 | 800 | 520 620 | 1320 | 3-20 | 21 | 119 | 1,86 |
| 24,5 (2500) | 225 200 | 815 | 4,0 | 2,44 | 650 | 500 640 | 900 | 2-20 | 18 | 64 | 0,9 |
| 19,6 (2000) | 200 170 | 815 | 0,6 | 1,13 | 650 | 640 880 | 900 | 4-10 | 18 | 54 | 1,0 |
| 14,7 (1500) | 200 170 | 700 | 0,6 | 1,12 | 600 | 500 800 | 1700 | 1-100 | 18 | 60 | 1,0 |
| 12,25 (1250) | 150 130 115 | 715 | 2,0 | 1,12 | 600 | 680 910 1030 | 750 | 0,5-30 | 18 | 60 | 0,6 |
| 7,4 (750) | 115 105 95 85 | 467 | - | - | 400 | 720 860 1030 1310 | 530 | 1-20 | 10 | 40 | - |

Таблица 2

Зависимость диаметра заготовки от диаметра контейнера и длины пресс-остатка от диаметров контейнера, заготовки и от коэффициента вытяжки [2, 3]

| Диаметры, мм | | Коэффициент вытяжки, λ | Длина пресс-остатка при длине заготовки, мм | | | | | | | | |
|-----------------|-----------|--------------------------------------|---------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| контей- нера | заготовки | | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 95 | 92 | 10-50 | 25 | 30 | 35 | - | - | - | - | - | - |
| 115 | 112 | 10-50 | 30 | 40 | 45 | 50 | - | - | - | - | - |
| 122 | 119 | 10-29 | 30 | 45 | 60 | 75 | - | - | - | - | - |
| | | 30-59 | 25 | 35 | 45 | 55 | - | - | - | - | - |
| 130 | 127 | 10-29 | 30 | 45 | 60 | 75 | - | - | - | - | - |
| | | 30-59 | 25 | 35 | 45 | 55 | - | - | - | - | - |
| 170 | 162 | 10-29 | 40 | 50 | 60 | 75 | - | - | - | - | - |
| | | 30-59 | 35 | 45 | 55 | 65 | - | - | - | - | - |
| 200 | 192 | 10-29 | - | - | 60 | 75 | 90 | 100 | - | - | - |
| | | 30-59 | - | - | 55 | 65 | 65 | 75 | - | - | - |
| 230 | 220 | 10-29 | - | - | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 | - | - |

| | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|--------------|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | 30-49 | - | - | 55 | 65 | 70 | 80 | 90 | - | - |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 250 | 240 | 10-29 | - | - | 60 | 75 | 95 | 105 | 120 | - | - |
| | | 30-49 | - | - | 55 | 65 | 70 | 80 | 90 | - | - |
| 270 | 258 | 10-29 | - | - | 70 | 75 | 90 | 105 | 120 | - | - |
| | | 30-49 | - | - | 60 | 65 | 70 | 80 | 90 | - | - |
| 310 | 295 | 10-29 | - | - | 75 | 80 | 95 | 110 | 125 | 140 | - |
| | | 30-49 | - | - | 60 | 65 | 70 | 80 | 90 | 100 | - |
| 360 | 345 | 5-19 | - | - | - | 80 | 100 | 115 | 130 | 145 | - |
| | | 20-39 | - | - | - | 70 | 80 | 90 | 105 | 120 | - |
| 420 | 405 | 3-9 | - | - | - | - | 110 | 120 | 135 | 150 | 165 |
| | | 10-29 | - | - | - | - | 90 | 105 | 120 | 140 | 150 |
| 500 | 480 | 3-9 | - | - | - | - | 120 | 125 | 135 | 150 | 170 |
| | | 10-29 | - | - | - | - | 100 | 105 | 120 | 140 | 150 |

Таблица 3

Рекомендуемые предельно допустимые критические температуры и ориентировочные скорости истечения при прессовании сплошных изделий из алюминиевых сплавов [1-3]

| Марка сплава | Температура нагрева слитков, t_k °C | | Температура нагрева контейнера, t_k °C | Критическая температура, t_k °C | Скорость истечения*, м/мин |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| | Рекомендуемая | Предельно-допустимая | | | |
| АД 1, АД, АМЦ АМг 2 | 420-480 | 550 | 400-430 | - | 6-20 и более 4-10 |
| АМг 3, АМг 5, АМг 6 | 400-460 | 530 | 350-430 | | 3,0-4,0 |
| АВ АК 4, АК 6 | 480-510 380-470 | 515 | 400-450 350-430 | 520-530 | 2,0-2,5 3,0-3,5 |
| Д 1 Д 16 | 360-460 | 490 | 350-130 | 485-495 | 1,5-3,0 1,0-1,7 |
| В 95, В 96 | 360-440 | 465 | 300-440 | 470-480 | 1,0-1,5 |
| АД 31, АД 33 1915, 1925 | 440-510 400-450 | 550 | 350-430 | - | 4-10 и более |
| * Меньшие значения скоростей истечения принимаются для больших значений диаметров контейнеров и длин заготовок. С усложнением конфигурации профиля допустимые скорости истечения уменьшаются. | | | | | |

Таблица 4

Температурно-скоростные условия прессования некоторых алюминиевых сплавов [1]

| Марка сплава | Вид пресс-изделия | Прямое прессование | | Обратное прессование | |
|--------------|-------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | | $t_3, ^\circ\text{C}$ | V м/мин | $t_3, ^\circ\text{C}$ | V м/мин |
| АМг5 | Пруток | 480-510 | 2,5-3,5 | 380-400 | 8,0 |
| | Полный профиль | 490-520 | 1,8-2,0 | 380-400 | 5,0 |
| | труба | 490-520 | 2,5-2,8 | 430-440 | 7,5 |
| Д16 | Пруток | 440-460 | 1,0-1,5 | 330-350 | 2,5 |
| | профиль | 440-460 | 0,7-1,0 | 330-350 | 2,5 |

Таблица 5

Теплофизические свойства некоторых алюминиевых сплавов [12]

| Сплав | Плотность ρ , кг/м ³ | Коэффициент теплопроводности λ' , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ при температуре, $^\circ\text{C}$ | | | | Теплоемкость c , кДж/(кг $\cdot ^\circ\text{C}$) при температуре, $^\circ\text{C}$ | | | |
|-------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|----------------------|
| | | 100 | 300 | 300 | 400 | 100 | 200 | 300 | 400 |
| АМг3 | 2680 | 159,1 | 163,3 | 163,3 | 167,5 | 0,963 | 1,005 | 1,047 | 1,088 |
| АМг6 | 2640 | 121,4 | 125,6 | 129,5 | 138,2 | 0,921 | 1,005 | 1,047 | 1,088 |
| В95 | 2850 | 159,1 | 163,3 | 163,3 | 159,1 | 0,921 | 1,005 | 1,047 | 1,088 |
| Д1 | 2800 | 129,8 | 150,7 | 171,6 | 175,8 | 0,921 | 0,963 | 1,005 | 1,047 |
| Д16 | 2780 | 129,8 | 146,5 | 163,3 | - | 0,921 | 1,047 | 1,130 | 1,167 (350° C) |
| АК6 | 2750 | 180,0 | 184,2 | 184,2 | 188,4 | 0,837 | 0,879 | 0,963 | 1,005 |
| АК8 | 2800 | 167,5 | 175,8 | 180,0 | 180,0 | 0,837 | 0,879 | 0,963 | 1,088 |
| АД31 | 2710 | 188,4 | 188,4 | 188,4 | 188,4 | 0,921 | 0,963 | 1,005 | 1,047 |
| АВ | 2700 | 180,0 | 184,2 | 188,4 | - | 0,795 | 0,879 | 0,963 | 1,088 |
| 01915 | 2770 | 159,1 | 163,3 | 167,5 | 167,5 | 0,879 | 0,921 | 0,963 | 1,005 |

Литература

1. Щерба В.Н., Райтбарг Л.Х. Технология прессования металлов. М.: Металлургия, 1995. - 336 с.
2. Ерманок М.З., Фейгин В.И., Сухоруков Н.И. Прессование профилей из алюминиевых сплавов. - М.: Металлургия, 1977. - 264 с.
3. Алюминиевые сплавы. Производство полуфабрикатов из алюминиевых сплавов. Справочное руководство. М.: Металлургия, 1971. - 496 с.
4. Курганская Н.И., Никифоров Б.Т. Экономика и организация кузнечно-прессового производства в дипломных проектах. Учебное пособие. Ростов-на-Дону, 1989. - 114 с.
5. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов. М.: Металлургиздат, 1960. - 306 с.
6. Жолобов В.В., Зверев Г.Г. Инструмент для горячего прессования металлов. М.: Металлургия, 1965. - 163 с.
7. Перлин И.Л., Райтбарг Л.Х. Теория прессования металлов. М.: Металлургия, 1975. - 447 с.
8. Баузер М. Прессование. Справочное руководство / М. Баузер, Г. Зауер, К. Зигерт / Пер. с нем., М.: «АЛЮСИЛ МВИТ», 2009. – 918 с.
9. Бровман М.Я. Сопротивление деформации в процессах обработки давлением при высоких температурах // Технология легких сплавов. 1979. - №8. - С. 26 - 30.
10. Стерник Ю.Л. Расчет температурного поля при прессовании // Кузнечно-штамповочное производство. 1965. - №7, - С. 1 - 5.
11. Технология обработки давлением цветных металлов и сплавов: Учебник для вузов / Зиновьев А.В., Колпашников А.И., Полухин П.И. и др. - М.: Металлургия, 1992. – 512 с.
12. Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы. Справочное руководство. М.: Металлургия, 1972. - 552 с.
13. Полухин П.И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. 2-е изд. перераб. и доп. Справочник / П. И. Полухин, Г.Я. Гун, А.М. Галкин. М.: Металлургия, 1983. – 352 с.
14. Щерба В.Н. Прессование алюминиевых сплавов. М.: «Интермет Инжиниринг», 2001. – 768 с.
15. Мороз Б.С. Закономерности изменения температуры при прессовании алюминиевых сплавов в условиях активного действия сил трения // Известия вузов. Цветная металлургия. 2000.- №1. – С. 33-28.
16. Мороз Б.С. Расчеты технологических параметров процессов прессования и волочения: учеб. пособие / Б.С. Мороз, Г.Н. Баклаг. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2012.– 101 с.
17. Алюминиевые сплавы (свойства, обработка, применение). Пер. с нем. / под. ред. М.Е. Дрица и Л.Х. Райтбарга. – М.: (Aluminium-Taschenbuch). Aluminium-Verlag GmbH, Duesseldorf, 1974.

Составитель кандидат технических наук, доцент Г.Г. Калинин

**РАСЧЕТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ПРОЦЕССОВ ПРЕССОВАНИЯ ПРОФИЛЕЙ**

**Методические указания к практическим занятиям
по дисциплине
«Заготовительные производства в машиностроении»**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра
«Технологии формообразования
и художественная обработка материалов»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА,
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ И ЗАДАНИЯ
К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ
по дисциплине
«Заготовительные производства в машиностроении»
Методические указания

Ростов-на-Дону, 2022

Составители: доцент, кандидат технических наук Г.Г. Калинин.

Рабочая программа, вопросы для самоподготовки и задания к контрольной работе по дисциплине «Заготовительные производства в машиностроении»: Метод. указ. / ДГТУ. Ростов н/Д. 2022. 16 с.

Приведена последовательность изучения дисциплины, изложены темы, вопросы для самоподготовки и рекомендуемая для изучения курса литература и задания для выполнения контрольной работы.

Задания для выполнения контрольной работы содержат перечень вопросов, которые должны быть освещены в работе и требования к её оформлению.

Методические указания предназначены для студентов заочной формы обучения в бакалавриате по профилю «Информационные технологии обработки металлов давлением» направления 15.03.01 «Машиностроение» и изучающих дисциплину «Заготовительные производства в машиностроении».

Печатается по решению научно-методической комиссии факультета «Машиностроительные технологии и оборудование».

Научный редактор д.т.н., доцент Вовченко А.В.

Рецензент к.т.н., доцент Церна И.А.

© Донской государственный технический университет, 2022

1. Общие сведения

Дисциплина «Заготовительные производства в машиностроении» относится к профессиональному циклу дисциплин учебного плана подготовки бакалавров направления 15.03.01 «Машиностроение», обучающихся по профилю «Информационные технологии обработки металлов давлением». Рабочая программа дисциплины составлена с учетом промышленных особенностей Южного Региона Российской Федерации.

В задачи дисциплины входит изучение технологических основ металлургических технологий обработки давлением (прокатка, прессование, волочение сталей и алюминиевых сплавов) и необходимого для их реализации инструмента и оборудования. Изучение настоящей дисциплины базируется на дисциплинах «Технология конструкционных материалов», «Прикладная механика», «Материаловедение», «Теория обработки металлов давлением», «Нагрев и нагревательные устройства».

Целью изучаемой дисциплины является получение студентами знаний и умений, необходимых для обоснованного выбора и расчета технологических процессов прокатки, прессования и волочения.

Дисциплина изучается студентами заочной формы обучения в 5 семестре. В процессе изучения дисциплины студенты выполняют одну контрольную работу.

В период сессии студентам заочной формы обучения читаются обзорные лекции, а для закрепления материала с ними в течение семестра проводятся практические занятия.

Изучение дисциплины завершается экзаменом.

2. Содержание рабочей программы

2.1. Введение

Роль обработки давлением в металлоперерабатывающем производстве. Классификация и характеристика способов обработки давлением. Основные направления развития обработки металлов и сплавов давлением.

2.2. Материалы и сплавы, обрабатываемые давлением

Классификация сталей. Характеристика алюминиевых деформируемых сплавов, их свойства.

Виды заготовок для обработки давлением: слитки, непрерывно литые заготовки, прокат, прессованный профиль. Подготовка металла к обработке давлением и разделка его на мерные заготовки.

Рекомендуемая литература

Основная

1. Мороз Б.С. Основы прокатного производства/ Б.С. Мороз, Г.Н. Баклаг. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2016. - 105 с.

2. Ковка и объёмная штамповка: справочник. В 4. Т. 1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка / Под. Общ. ред. Е.И. Семенова. – М.: Машиностроение, 2010. – 716 с.
3. Технология обработки давлением цветных металлов и сплавов: Учебник для вузов, Зиновьев А.В., Колпашников А.П., Полухин П.И. и др. – М.: Металлургия, 1992. – 512 с.
4. Щерба В.Н., Райтбарг Л.Х. Технология прессования металлов. – М.: Металлургия, 1995. – 336 с.
5. Полухин П.И., Хензель А., Полухин В.П. и др. Технология процессов обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1988 – 408 с.

Дополнительная литература

1. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. - 560 с.
2. Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы. Справочное руководство. – М.: Металлургия, 1972. – 552 с.

2.3. Общие основы технологии обработки давлением

Пластическая деформация, её сущность. Влияние пластической деформации на основные свойства материалов. Технологический цикл обработки давлением.

Рекомендуемая литература

Основная

1. Мороз Б.С. Основы прокатного производства / Б.С. Мороз, Г.Н. Баклаг. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2016. - 105 с
2. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с.

Дополнительная

1. Обработка цветных металлов и сплавов давлением. Жолобов В.В. Богоявленский К.Н., Зубцов М.Е. и др. – М.: Металлургия, 1973. – 471 с.

2.4. Температурный режим обработки

Холодная, полугорячая и горячая обработка материалов давлением и явления, которыми они сопровождаются. Влияние температуры, степени и скорости деформации на структуру и механические характеристики материалов, обрабатываемых давлением.

Рекомендуемая литература

1. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с.
2. Ковка и штамповка цветных металлов. Справочник. М.: Машиностроение, 1972. - 232 с.

2.5. Прессование металлов

2.5.1. Общие сведения о процессе

Сущность процесса прессования металлов и сплавов, назначение и область применения. Сортамент и качество прессованных изделий. Способы прессования алюминиевых сплавов, их достоинства и недостатки. Технологический цикл процесса прессования.

Способы получения пресс-изделий различных типов: сплошных и полых профилей, панелей, изделий переменного сечения.

2.5.2. Теоретические основы прессования

Силы и напряжения при прессовании. Стадии прессования. Деформация металла в контейнере при распрессовке заготовки различными способами. Течение металла в основной стадии при различных способах прессования. Особенности течения металла в заключительной стадии. Дефекты изделий при прессовании. Форма, размеры и объём очага пластической деформации. Степень деформации при прессовании. Скорости прессования, истечения, деформации. Сила прессования. Расчет силы прессования сплошных и полых изделий прямым, обратным способом и при активном действии сил трения. Расчет повышения температуры при прессовании. Прессование в изотермических условиях.

2.5.3. Инструмент для прессования

Прессовый инструмент: матрицы, контейнеры, пресс-штемпели, пресс-шайбы, оправки. Конструкции инструментальных наладок для прямого, обратного прессования и прессования с активным трением. Определение исполнительных размеров инструмента.

2.5.4. Технология прессования

Последовательность расчета технологического процесса. Технологические переходы прессования. Выбор размеров исходных заготовок. Температурный интервал прессования. Способы нагрева заготовок. Скорости истечения

алюминиевых сплавов. Технологический процесс прессования. Отделочные операции. Оборудование для прессования. Перспективы совершенствования прессования.

Рекомендуемая литература

Основная

1. Мороз Б.С. Расчет технологических параметров процессов прессования и волочения: учеб. пособие / Б.С. Мороз, Г.Н. Баклаг. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2012. - 101 с.
2. Мороз Б.С. Расчет технологических параметров прессования. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Заготовительные производства в отрасли». - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2012. - 19 с.
3. Щерба В.Н., Райтбарг Л.Х. Технология прессования металлов. – М.: Металлургия, 1995. – 336 с.

4. Технология обработки давлением цветных металлов и сплавов: Учебник для вузов. Зиновьев А.В., Колпашников А.П., Полухин П.И. и др. – М.: Металлургия, 1992. – 512 с.

5. Перлин И.Л., Райтбарг Л.Х. Теория прессования металлов. – М.: Металлургия, 1975. – 448 с.

Дополнительная

1. Ерманок М.З. Прессование панелей из алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия. 1974, – 232 с.

2. Ерманок М.З., Каган Л.С., Головинов М.Ф. Прессование труб из алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1976. – 248 с.

3. Обработка цветных металлов и сплавов давлением. Жолобов В.В. Богоявленский К.Н., Зубцов М.Е. и др. – М.: Металлургия, 1973. – 471 с.

4. Жолобов В.В., Зверев Г.И. Прессования металлов. – М.: Металлургия, 1971. – 448 с.

5. Жолобов В.В., Зверев Г.И. Инструмент для горячего прессования металлов. – М. – Л.: Машиностроение, 1965. – 164 с.

2.6. Прокатка

2.6.1. Сущность прокатки, назначение и область применения

Схема процесса простой продольной прокатки. Очаг деформации при прокатке (геометрический, фактический). Основные параметры, характеризующие очаг деформации.

Коэффициенты деформации при прокатке. Относительные и истинные деформации при прокатке.

2.6.2. Условие захвата полосы валками и кинематика процесса

Условие захвата полосы валками. Угол захвата и угол трения. Опережение и отставание. Нейтральный угол и условия движения полосы после захвата.

Нейтральная линия, средняя линия валков, линия прокатки. Уширение при прокатке. Неравномерность деформаций при прокатке. Роль трения при прокатке

2.6.3. Энергосиловые параметры процесса прокатки

Сила прокатки, среднее давление, момент прокатки, основные зависимости для их расчета.

2.6.4. Технологические схемы прокатки

Технологический процесс прокатки. Подготовка заготовок к прокатке. Нагрев заготовок. Охлаждение, термообработка и отделка готового проката. Инструмент для прокатки. Калибры, их форма, виды и назначение. Калибровка валков. Верхнее и нижнее давление. Основное и вспомогательное оборудование прокатных цехов.

2.6.5. Основные виды прокатного производства

Производство полупродукта. Слябы и блюмы. Машины непрерывного литья заготовок. Заготовочные станы. Условие непрерывной прокатки. Производство рельсобалочной продукции (виды станов, схемы обжатий). Производство сортовой стали (круг, шестигранник, квадрат, полоса). Производство катанки.

Горячая прокатка листовой стали. Особенности холодной прокатки листовой стали. Производство труб. Производство специальных профилей. Перспективы совершенствования прокатного производства в связи с основными направлениями современного его развития.

Рекомендуемая литература

Основная

1. Мороз Б.С., Баклаг Г.Н. Основы прокатного производства: учебное пособие. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2016. – 105 с.
2. Рудской А.И., Лунев В.А. Теория и технология прокатного производства: Учеб. пособие. – СПб.: Наука, 2008. – 527 с.
3. Технология обработки давлением цветных металлов и сплавов: Учебник для вузов. Зиновьев А.В., Колпашиников А.П., Полухин П.И. и др. – М.: Металлургия, 1992. – 512 с.
4. Баклаг Г.Н. Расчет технологических параметров прокатки и волочения. Метод. указания к практическим занятиям по дисциплине «Заготовительные производства в отрасли». / Ростов н/Д.: Издательский центр ДГТУ, 2012. - 15 с.

Дополнительная

1. Теория пластической деформации и обработка металлов давлением. Мастеров В.А., Берковский В.С. – М.: Металлургия, 1989. - 400 с.
2. Полухин П.И. и др. Прокатное производство. М.: Металлургия, 1970. - 305 с.
3. Технология процессов обработки металлов давлением /[П.И. Полухин (СССР) и др., Хензель (ГДР)] под ред. П.И. Полухина.- М.: Металлургия; Лейпциг: Dt. Verl. fuer Grundstoffindustrie, 1988. - 406 с.
4. Бурцев К.И.. Прокатное производство. Учебное пособие. М.: Металлургия, 1970. - 384 с.
5. Диомидов Б.Б., Литовченко А.И. Технология прокатного производства. - М.: Металлургия, 1979. - 488 с.
6. Протасов А. А. Сборник задач по технологии горячей и холодной прокатки стали и сплавов. - М.: Металлургия, 1972. – 320 с.
7. Швейкин В.В., Тягунов В.А. Технология прокатного производства. - Свердловск, Металлургиздат, Свердловское отделение, 1956. – 444 с.

2.7. Волочение

2.7.1. Сущность и назначение процесса

Схема волочения. Деформации и напряжения при волочении. Коэффициенты деформаций при волочении. Классификация единичных и суммарных обжатий. Маршрут волочения. Усилие волочения.

2.7.2. Технология волочения

Технологические операции волочильного производства. Инструмент (виды и конструкции). Оборудование для волочения. Волочильные станы, их виды, конструктивные особенности. Вспомогательное оборудование. Схемы производства труб.

Рекомендуемая литература

Основная

1. Мороз Б.С. Расчет технологических параметров процессов прессования и волочения: учеб. пособие / Б.С. Мороз, Г.Н. Баклаг. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2012. - 101 с.
2. Технология обработки давлением цветных металлов и сплавов: Учебник для вузов. Зиновьев А.В., Колпашников А.П., Полухин П.И. и др. – М.: Металлургия, 1992. – 512 с.
3. Баклаг Г.Н. Расчет технологических параметров прокатки и волочения. Метод. указания к практическим занятиям по дисциплине «Заготовительные производства в отрасли». / Ростов н/Д.: Издательский центр ДГТУ, 2012. - 15 с.

Дополнительная

1. Технология процессов обработки металлов давлением./[П.И. Полухин (СССР) и др., Хензель (ГДР)] под ред. П.И. Полухина.- М.: Металлургия, Лейпциг: Dt. Verl. fuer Grundstoffindustrie, 1988. - 406 с.
2. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Металлургия, 1971. - 448 с.
3. Юхвец И.А. Волочильное производство. Ч.1, - М.: Металлургиздат, 1954. – 272 с.

Вопросы для самоподготовки

- 2.2.1. Характеристика алюминиевых деформируемых сплавов, их свойства.
- 2.2.2. Виды заготовок и способы подготовки их к обработке давлением.
- 2.3.1. Сущность пластической деформации и влияние пластической деформации на основные свойства материалов.
- 2.4.1. Холодная и горячая обработка металлов давлением и явления, которыми они сопровождаются.
- 2.4.2. Влияние температуры, степени и скорости деформации на структуру и механические свойства материалов, обрабатываемых давлением.
- 2.5. Прессование металлов
 - 2.5.1.1. Сущность процесса прессования. Способы прессования алюминиевых сплавов, их достоинства и недостатки. Технологический цикл прессования.
 - 2.5.1.2. Способы получения сплошных и полых профилей, труб, панелей, изделий переменного сечения.
 - 2.5.2.1. Характеристика стадий прессования. Течение металла в основной стадии прямого, обратного прессования и прессования с активным трением.
 - 2.5.2.2. Характеристика стадий прессования. Течение металла в заключительной стадии прямого, обратного прессования и прессования с активным трением.
 - 2.5.2.3. Степень деформации при прессовании. Формы и размеры рычага пластической деформации. Скорость прессования, истечения, деформации.
 - 2.5.2.4. Расчет усилий прямого и обратного прессования сплошных профилей.

- 2.5.2.5. Расчет усилия прессования полых профилей.
- 2.5.2.6. Расчет усилия прессования труб.
- 2.5.2.7. Расчет повышения температуры при прямом способе прессования.
- 2.5.2.8. Прессование в изотермических условиях. Способы обеспечения изотермических условий при прямом прессовании.
- 2.5.2.9. Расчет повышения температуры при обратном способе прессования.
- 2.5.2.10. Дефекты изделий из алюминиевых сплавов, полученных прессованием и причины их появления.
- 2.5.3.1. Конструкция инструментальной наладки для прямого прессования профилей. Виды матриц для прессования профилей, материалы для их изготовления.
- 2.5.3.2. Конструкция инструментальной наладки для обратного прессования. Пресс-штемпели и пресс-шайбы для обратного прессования, материалы для их изготовления.
- 2.5.3.3. Конструкция инструментальной наладки для прямого прессования труб. Контейнеры, их конструкции, материалы для их изготовления.
- 2.5.3.4. Определение исполнительных размеров матриц, оправок, пресс-штемпелей, пресс-шайб.
- 2.5.4.1. Технологические переходы при прямом способе прессования. Последовательность расчета технологического процесса. Выбор размеров исходных заготовок.
- 2.5.4.2. Технологический цикл процесса изготовления прессованных изделий. Способы нагрева заготовок для прессования.
- 2.5.4.3. Технологические переходы при обратном способе прессования. Назначение температурно-скоростных условий обратного прессования изделий из алюминиевых сплавов.
- 2.5.4.4. Последовательность выбора диаметра контейнера пресса при заданных размерах пресс-изделия. Назначение коэффициента вытяжки при прямом способе прессования.
- 2.5.4.5. Отделка пресс-изделий, контроль их качества, маркировка и упаковка.

2.6. Прокатка

- 2.6.1. Сущность прокатки, назначение и область применения.
- 2.6.1.1. Разновидности прокатки по кинематическому признаку, их преимущества и недостатки. Виды проката, получаемого по различным способам прокатки.
- 2.6.1.2. Схема процесса простой прокатки. Параметры геометрического и фактического очагов деформации.
- 2.6.1.3. Обжатие, удлинение и уширение. Связь относительных и истинных деформаций при прокатке.
- 2.6.2. Условие захвата и кинематика процесса
- 2.6.2.1. Соотношения геометрического угла захвата и угла трения. Их влияние на процесс прокатки.
- 2.6.2.2. Коэффициенты опережения и отставания. Их взаимосвязь.

- 2.6.2.3. Понятие нейтрального угла. Условия движения прокатываемой полосы после захвата.
- 2.6.2.4. Роль трения в процессе прокатки. Неравномерность деформаций при прокатке.
- 2.6.3. Энергосиловые параметры прокатки.
 - 2.6.3.1. Возможные схемы расчетов энергосиловых параметров прокатки
 - 2.6.3.2. Понятие контактного давления. Зависимость контактного давления от различных факторов и его расчет.
 - 2.6.3.3. Момент прокатки и его составляющие.
- 2.6.4. Технологические схемы прокатки.
 - 2.6.4.1. Операции технологического процесса прокатки.
 - 2.6.4.2. Подготовительные операции как залог получения качественного проката.
 - 2.6.4.3. Нагрев металла под прокатку, его параметры, основные конструкции оборудования.
- 2.6.5.4. Состав, технология и назначение отделочных операций.
- 2.6.5.5. Конструкция рабочих валков. Понятие калибра, выпуска, выреза. Виды калибров и калибровка валков.
- 2.6.5.6. Понятие верхнего и нижнего давления. Нейтральная линия, средняя линия и линия прокатки.
- 2.6.5.7. Состав оборудования прокатных цехов. Виды станов по назначению
- 2.6.5.8. Виды станов по расположению рабочих клетей.
- 2.6.5.9. Конструкция рабочей клетки, назначение ее основных узлов.
- 2.6.5.10. Общие схемы прокатного производства. Их преимущества и недостатки.
- 2.6.5.11. Состав вспомогательного оборудования прокатных цехов. Его назначение и конструкция .
- 2.6.6. Основные виды прокатного производства.
 - 2.6.6.1. Производство полупродукта. Блюминги и слябинги. Их основные конструкции.
 - 2.6.6.2. Назначение и конструкции машин непрерывного литья заготовок.
 - 2.6.6.3. Заготовочные станы. Их конструктивные особенности и характеристики.
 - 2.6.6.4. Рельсобалочные станы, их состав и вид выпускаемой продукции. Схемы обжатий.
 - 2.6.6.5. Классификация сортовых станов. Виды выпускаемой продукции. Системы калибровок круга, шестигранника, квадрата, полосы, уголка.
 - 2.6.6.6. Понятие катанки, схемы производства, конструктивные особенности оборудования.
 - 2.6.6.7. Оборудование для горячей и холодной прокатки листовой стали. Его конструктивные особенности.
 - 2.6.6.8. Общая схема производства труб прокаткой. Прошивной, обкатной и калибровочный станы. Пиллигримовые станы.
 - 2.6.6.9. Схемы производства колес, бандажей, шаров и специальных профилей.

2.7. Волочение

2.7. 1. Сущность процесса волочения, область применения и назначение. Теоретические основы процесса волочения.

2.7.7.1. Сущность и область применения процесса волочения. Очаг пластической деформации при волочении, механическая схема напряжений и деформаций в очаге пластической деформации.

2.7.7.2 Способы получения сплошных и полых изделий волочением, их достоинства и недостатки

2.7.7.3. Расчет удлинения, обжатия и вытяжки. Классификация единичных и суммарных обжатий.

2.7.7.4. Силовые условия протекания процесса волочения.

2.7.7.5. Понятие маршрута волочения. Влияние маршрута волочения на технологические параметры процесса волочения.

2.7.7.6. Расчет силовых параметров процесса.

2.7.8. Технология волочения.

2.7.8.1. Состав операций волочильного производства.

2.7.8.2. Подготовительные операции волочильного производства.

2.7.8.3. Отделочные операции волочильного производства.

2.7.8.4. Конструкции инструмента для волочения.

2.7.8.5. Классификация станов для волочения.

2.7.8.6. Вспомогательное оборудование волочильных цехов.

2.7.8.7. Общие схемы производства труб.

Задания к контрольным работам

В процессе изучения дисциплины «Заготовительные производства в машиностроении» студент выполняет одну контрольную работу.

Контрольная работа состоит из трех теоретических вопросов, которые берутся в соответствии с заданием и вопросами для самоподготовки из таблицы № 1,3 и решения трех задач. Первые две цифры номера относятся к рассматриваемому разделу, третья - к подразделу. Номер варианта задания выбирается в соответствии с порядковым номером студента в списке группы.

Таблица 1

Задания к теоретическим вопросам раздела «Прессование металлов»

| Порядковый номер в списке группы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Номера теоретических вопросов | 2.5.1.1 | 2.5.1.2 | 2.5.2.1 | 2.5.2.3 | 2.5.2.2 | 2.4.2 | 2.2.1 | 2.5.4.4 | 2.5.3.4 | 2.5.2.8 |
| Порядковый номер в списке группы | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Номера теоретических вопросов | 2.5.3.1 | 2.5.2.5 | 2.5.2.4 | 2.5.3.2 | 2.5.3.3 | 2.5.4.1 | 2.5.4.2 | 2.5.2.7 | 2.5.4.3 | 2.5.2.6 |

Задача № 1

В соответствии с порядковым номером студента в списке группы выбрать задание по табл. 2, рассчитать размеры исходной заготовки, силу одноканального прессования круглого прутка и коэффициент выхода годного. При расчете обратить внимание на то, что сила прессования не должно превышать 0,8 номинальной силы пресса. Выбранная длина заготовки не должна превышать полезную длину контейнера, но должна обеспечивать достаточно высокий коэффициент выхода годного, что может достигаться увеличением кратности изделий. Длина контейнеров прессов приведена в источниках [1], табл. 1, с. 90 и [2], табл.1, с. 15.

Задания к задаче раздела «Прессование металлов»

Таблица 2

| Порядковый номер в списке группы | Номинальное усилие пресса, МН | Диаметр контейнера, мм | Марка сплава | Коэффициент вытяжки | Длина рабочего пояска матрицы, мм | Температура, °С | | Скорость истечения, м/мин | Сдаточная длина изделия, мм |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------|------------------------|--------------------------------------|-----------------|------------|------------------------------|--------------------------------|
| | | | | | | Заготовки | Контейнера | | |
| 1 | 7,4 | 115 | Д16 | 25 | 4 | 400 | 380 | 1,0 | 3000 |
| 2 | 12,25 | 115 | АМг 6 | 30 | 4 | 430 | 400 | 2,5 | 2500 |
| 3 | 12,25 | 115 | Д16 | 35 | 4 | 420 | 390 | 1,2 | 2500 |
| 4 | 12,25 | 130 | АМг 6 | 30 | 4 | 420 | 400 | 2,0 | 2500 |
| 5 | 12,25 | 130 | В95 | 35 | 4 | 420 | 390 | 1,0 | 2500 |
| 6 | 14,7 | 170 | Д16 | 30 | 4 | 410 | 390 | 1,1 | 2500 |
| 7 | 14,7 | 200 | В95 | 30 | 4 | 420 | 390 | 1,2 | 3000 |
| 8 | 19,6 | 170 | АМг6 | 40 | 4 | 430 | 400 | 2,0 | 2500 |
| 9 | 19,6 | 200 | Д16 | 40 | 4 | 440 | 420 | 1,0 | 2500 |
| 10 | 7,4 | 105 | АМг6 | 30 | 4 | 420 | 390 | 2,0 | 4000 |
| 11 | 12.25 | 130 | Д16 | 35 | 4 | 420 | 390 | 0.5 | 5000 |
| 12 | 12.25 | 130 | В95 | 35 | 4 | 420 | 380 | 0.5 | 5000 |
| 13 | 14.7 | 170 | АМг6 | 40 | 4 | 460 | 430 | 2.0 | 6000 |
| 14 | 14.7 | 200 | Д16 | 45 | 4 | 440 | 420 | 0.9 | 5000 |
| 15 | 19.6 | 170 | АД31 | 60 | 5 | 480 | 420 | 7 | 6000 |
| 16 | 19.6 | 170 | Амг6 | 55 | 5 | 440 | 410 | 2.0 | 5000 |
| 17 | 19.6 | 200 | Д16 | 55 | 5 | 440 | 420 | 0.7 | 6000 |
| 18 | 19.6 | 200 | В95 | 55 | 5 | 420 | 390 | 0.7 | 6000 |
| 19 | 12.25 | 150 | 1915 | 45 | 4 | 420 | 370 | 4.0 | 4000 |
| 20 | 12.25 | 150 | 1915 | 55 | 4 | 430 | 380 | 3.0 | 4000 |

Таблица 3

Задания к теоретическим вопросам по прокатке и волочению металлов

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Порядковый номер в списке группы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Номер теоретического вопроса | 2.6.5.5 | 2.7.7.3 | 2.6.5.7 | 2.6.4 | 2.7.8.6 | 2.6.6.5 | 2.6.6.8 | 2.6.4.2 | 2.7.8.5 | 2.6.6.2 |
| Порядковый номер в списке группы | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Номер теоретического вопроса | 2.7.8.2 | 2.6.5.4 | 2.7.7.6 | 2.7.8.4 | 2.6.2.2 | 2.7.7.1 | 2.7.7.2 | 2.7.8.1 | 2.6.5.6 | 2.7.7.4 |

Задача № 2

Рассчитать технологический процесс прокатки полосы: размеры геометрического очага деформации, кинематические параметры, усилие и момент прокатки, исходя из условий свободного захвата полосы и минимального числа пропусков. Исходные данные к расчету приведены в таблице 4.

Задача № 3

Рассчитать технологический процесс волочения, используя данные таблицы 5 и приложения.

Таблица 5

Исходные данные к расчету технологического процесса волочения

| Порядковый номер в группе | Исходные данные для расчета процесса волочения | | | | | | |
|---------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------|--------------------|
| | Начальный диаметр проволоки (d_0), мм. | Конечный диаметр проволоки (d_1), мм. | Номер маршрута волочения по рис. 1 [3, с.9] | Угол конуса волоки, (α), град | Коэффициент трения (f) | Длина калибр. пояска волоки ($l_{кл}$), мм | Материал проволоки |
| 1 | 6,0 | 3,0 | 3 | 3 | 0,02 | 2,0 | сталь 45 |
| 2 | 5,0 | 2,0 | 3 | 4 | 0,04 | 2,5 | сталь 20 |
| 3 | 4,0 | 2,5 | 2 | 5 | 0,05 | 2,7 | 10 |
| 4 | 7,0 | 4,5 | 4 | 6 | 0,07 | 1,5 | У8А |
| 5 | 8,0 | 4,9 | 1 | 7 | 0,03 | 1,8 | 50 |
| 6 | 4,5 | 2,0 | 3 | 8 | 0,06 | 3,0 | 1Х18Н9 |
| 7 | 4,9 | 2,1 | 2 | 9 | 0,09 | 2,0 | 35 |
| 8 | 3,9 | 2,4 | 4 | 3 | 0,02 | 2,5 | У12 |
| 9 | 5,6 | 2,7 | 3 | 4 | 0,04 | 2,7 | 1Х18Н9Т |
| 10 | 4,8 | 2,2 | 2 | 5 | 0,05 | 1,5 | Медь М1 |
| 11 | 4,0 | 3,0 | 3 | 4 | 0,03 | 2,0 | У10А |
| 12 | 3,0 | 2,5 | 4 | 5 | 0,04 | 1,0 | 65Г |
| 13 | 5,0 | 3,5 | 3 | 6 | 0,07 | 2,0 | Алюминий А1 |
| 14 | 4,0 | 2,5 | 1 | 5 | 0,04 | 1,5 | Латунь ЛС59-1 |
| 15 | 6,0 | 4,0 | 2 | 4 | 0,07 | 2,5 | 30ХГСА |
| 16 | 4,5 | 3,0 | 3 | 6 | 0,03 | 2,7 | У12 |
| 17 | 4,9 | 2,0 | 4 | 7 | 0,04 | 1,5 | 30ХГСА |
| 18 | 3,9 | 2,5 | 3 | 8 | 0,07 | 1,8 | сталь 50 |
| 19 | 5,6 | 4,5 | 1 | 9 | 0,04 | 3,0 | сталь 20 |
| 20 | 4,8 | 3,9 | 2 | 3 | 0,07 | 2,0 | 65Г |

Таблица 4

Исходные данные к задаче раздела «Прокатка»

| Параметры прокатки | Порядковый номер в списке группы | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------|----------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Исходная высота (h_0) полосы, мм | 120 | 70 | 100 | 160 | 130 | 60 | 90 | 110 | 95 | 140 | 80 | 105 | 108 | 115 | 140 | 180 | 70 | 115 | 100 | 130 |
| Диаметр валков (D), мм | 700 | 400 | 600 | 900 | 850 | 500 | 700 | 850 | 650 | 920 | 400 | 650 | 800 | 890 | 900 | 100 | 600 | 800 | 900 | 1000 |
| Поверхность валков или их материал | Шлиф | Чугун | Шлиф | Сталь | Чугун | Сталь | Шлиф | Сталь | Чугун | Чугун | Шлиф | Чугун | Чугун | Чугун | Сталь | Сталь | Сталь | Шлиф | Чугун | Чугун |
| Температура прокатки (t^0), $^{\circ}\text{C}$ | 1000 | 900 | 800 | 1200 | 900 | 1000 | 900 | 1200 | 1100 | 1200 | 1050 | 1100 | 1000 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 800 | 1000 | 1100 |
| Ширина полосы до прокатки (B_0), мм | 130 | 120 | 100 | 160 | 150 | 200 | 250 | 130 | 100 | 180 | 150 | 105 | 130 | 120 | 140 | 180 | 110 | 120 | 120 | 130 |
| Число оборотов (n_R), об/мин | 34,1 | 204,8 | 94 | 37,9 | 100,2 | 170 | 9,7 | 69,6 | 20,6 | 27,9 | 113 | 62,9 | 56,3 | 62,5 | 60,1 | 47,7 | 142 | 49,1 | 35 | 30 |
| Материал полосы (сталь) | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | У8 | У7 | 30 | 35 | 40 | У10 | 20 | У12 | 25 | 40 | 30 | 45 |

Недостающие данные к расчету выбираются и обосновываются в работе студентом самостоятельно.

Функция упрочнения и предельная деформация некоторых металлов

| Материал заготовки | Функция упрочнения материала $\sigma_{\epsilon} = A + B \cdot \epsilon_{\text{сум}}^n$ | Предельная степень деформации $O_{\text{сум. max, \%}}$ |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| сталь 45 | $\sigma_{\epsilon} = 58,5 + 1,44 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,83}$ | 40 |
| сталь 10 | $\sigma_{\epsilon} = 57 + 2,78 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,62}$ | 50 |
| сталь У8А | $\sigma_{\epsilon} = 59 + 1,4 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,84}$ | 70 |
| сталь 1Х18Н9 | $\sigma_{\epsilon} = 68 + 2,4 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,91}$ | 40 |
| сталь 35 | $\sigma_{\epsilon} = 52,5 + 3,38 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,6}$ | 55 |
| Алюминий А1 | $\sigma_{\epsilon} = 9,5 + 0,1 \cdot \epsilon_{\text{сум}}$ | 60 |
| Латунь ЛС59-1 | $\sigma_{\epsilon} = 38,5 + 0,53 \cdot \epsilon_{\text{сум}}$ | 60 |
| Медь М1 | $\sigma_{\epsilon} = 25 + 1,5 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,58}$ | 80 |
| сталь У10А | $\sigma_{\epsilon} = 60 + 2,7 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,77}$ | 65 |
| сталь У12 | $\sigma_{\epsilon} = 68 + 2,2 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,77}$ | 55 |
| сталь 30ХГСА | $\sigma_{\epsilon} = 64 + 3,4 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,61}$ | 60 |
| сталь 50 | $\sigma_{\epsilon} = 67,5 + 1,74 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,8}$ | 45 |
| сталь 20 | $\sigma_{\epsilon} = 51 + 0,58 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,98}$ | 45 |
| сталь 65Г | $\sigma_{\epsilon} = 78 + 1,9 \cdot \epsilon_{\text{сум}}^{0,78}$ | 30 |