

Государственный комитет РСФСР
по делам науки и высшей школы

Самарский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

ЗАДАНИЯ ПО ТЕОРИИ ПРЕССОВАНИЯ
И ВОЛОЧЕНИЯ

Методические указания

Самара 1991

Составители: В.Р.К а р г и н,
В.Б.Х а р д и н

УДК 621.777.01

Задания по теории прессования и волочения:
Метод. указания /Самар. авиац. ин-т; Сост.
В.Р.К а р г и н, В.Б.Х а р д и н. Самара,
1991. 24 с.

Методические указания являются приложением к лекционному курсу "Теория и технология прессования и волочения". Приведены основные формулы и определения, задачи и указания к их решению.

Указания предназначены для студентов металлургического факультета, обучающихся по специальности II.06. Составлены преподавателями кафедры "Обработка металлов давлением".

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С.П.Королева

Рецензент В.И.Д р о в я н в и к о в

І. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА

Предполагаемые задания служат методическим материалом при проведении практических занятий по курсу "Теория, технология и оборудование прессового и прокатного производства", раздел "Теория и технология прессования, волочения и ХПТ".

Целью курса "Теория и технология прессования, волочения и холодной прокатки труб" является ознакомление и изучение студентами прогрессивных технологических процессов, инструмента и оснастки по производству профилей, панелей, прутков и труб из различных металлов и сплавов.

Задачи курса состоят в изучении методов и технологических процессов изготовления полуфабрикатов и деталей прессованием, волочением и холодной прокаткой труб, обоснованном выборе температурно-скоростного интервала обработки, изложении современных положений теории и аналитических методов определения энергосиловых параметров процессов прессования, волочения и ХПТ, технических параметров и инструмента для получения различных полуфабрикатов в соответствии с современными требованиями, предъявляемыми к подготовке инженеров по специальности "Обработка металлов давлением".

Студент должен знать:

современные способы получения различных полуфабрикатов методами прессования, волочения и ХПТ, а также технологические наладки инструмента;

физико-механические и технологические основы определения температурно-скоростного интервала обработки;

современное состояние и особенности теории формоизменения;

технологические и экономические аспекты производства прутков, профилей, панелей и труб.

Изучив данный курс, студент должен уметь:

выбирать и обосновывать техническое решение по изготовлению заданных полуфабрикатов одним из современных методов прессования, волочения и ХПТ;

правильно устанавливать оптимальный температурно-скоростной интервал обработки заданного сплава с целью получения качественных изделий при максимальной производительности;

выполнять расчеты размеров заготовок, энергосиловых параметров процессов;

проектировать и производить прочностные расчеты инструмента с использованием современных математических методов и ЭВМ;

составлять и экономически обосновывать выбранный вариант технологического процесса получения заданных полуфабрикатов.

Курс по теории и технологии прессования, волочения и ХПТ является одним из основных базовых курсов по подготовке инженеров-металлургов по специальности "Обработка металлов давлением", строится на ряде общетехнических и теоретических дисциплин: металлосведение и термическая обработка, теория упругости и пластичности, теория обработки металлов давлением. Курс служит основой для выполнения курсовых и дипломных проектов по прессованию, волочению и ХПТ.

2. СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАЧ ПО ТЕМАМ

Для проведения каждого практического занятия основными методическими материалами являются следующие.

Тема I. Показатели деформации при прессовании

Коэффициент вытяжки $\lambda = \frac{F_K}{F_{изд}}$,

где F_K - площадь поперечного сечения контейнера, $F_K = \frac{\pi D_K^2}{4}$;

$f_{изд}$ - площадь поперечного сечения пресс-изделия;

D_K - диаметр внутренней втулки контейнера.

Интегральный показатель деформации $i = \ln \lambda$.

Степень деформации при прессовании (обкатке) $\varepsilon = \frac{F_K - f_{изд}}{F_K} 100\%$

Средняя скорость деформации $\dot{\varepsilon} = \frac{i}{\tau}$,

где τ - время нахождения металла в очаге пластической деформации, $\tau = \frac{W_{изд}}{W_c}$;

W_c - секундный объем, вытекающий из отверстия в матрице,

$$W_c = f_{uz\sigma} V_{np}.$$

Скорость прессования (у входа в очаг пластической деформации)

$$V_{np} = \frac{1}{\lambda} V_{ucm},$$

где V_{ucm} - скорость истечения (у выхода из очага пластической деформации);

$W_{o,\sigma}$ - объем очага пластической деформации при прессовании прутка, $W_{o,\sigma} = \frac{\pi}{12} \frac{1 - \cos \alpha}{\sin^3 \alpha} (D_K^3 - d_H^3),$

где α - угол конуса матрицы,

d_H - наружный диаметр выпрессованного прутка (трубы).

При прессовании профилей d_H рассчитывают как приведенный диаметр $d_H = \sqrt{4 f_{uz\sigma} / \pi}.$

При прессовании полых изделий из полого слитка с иглой

$$W_{o,\sigma} = 0,4 (D_K^2 - 0,75 d_{uz}^2)^{3/2} - (d_H^2 - 0,75 d_{uz}^2)^{3/2} - 0,5 (D_K^3 - d_H^3),$$

где d_{uz} - внутренний диаметр иглы.

При прессовании полых изделий из слитка сплошного сечения через комбинированную матрицу с выступающим рассекателем

$$W_{o,\sigma} = 0,275 D_K^3 + 0,108 D_K^2 d_H - 0,08 D_K d_H^2 - 0,025 d_H^3 + \frac{0,063 D_K^3}{\lambda}.$$

Задачи

1. Записать формулы для вычисления коэффициента вытяжки при прессовании трубы: а) из сплошной заготовки; б) из полой заготовки.

2. Записать формулу для коэффициента вытяжки при прессовании через многоканальные матрицы.

3. Толщина линий координатной сетки равна 1 мм. Определить минимально возможную толщину координатных линий после прессования. В расчетах принять: диаметр контейнера 50 мм, диаметр прутка 20 мм.

4. Вывести формулу для вычисления коэффициента вытяжки при прессовании труб с переменной толщиной на коническом игле. Постро-

ить график изменения λ в зависимости от текущего радиуса угла. Нарисовать возможные схемы изготовления таких труб методами прессования.

5. Определить диаметр контейнера для прессования квадратного прутка со стороной 35 мм с коэффициентом вытяжки $\lambda = 25$.

6. Найти связь между степенью деформации ϵ и коэффициентом вытяжки λ при прессовании; для $\epsilon = 92\%$, найти λ .

7. Определить среднюю скорость деформации при прессовании прутка диаметром 10 мм из контейнера диаметром 50 мм со скоростью истечения 5 м/мин. Принять $\alpha = 60^\circ$.

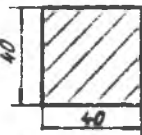
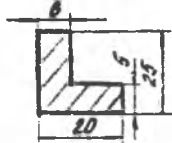

8. Найти среднюю скорость деформации при прессовании трубы с размерами 60x40 из контейнера диаметром 150 мм со скоростью 3 м/мин: а) из полый заготовки через коническую матрицу, $\alpha = 75^\circ$; б) из сплошной заготовки через комбинированную матрицу с выступящим рассекателем.

9. При прессовании заготовки на длину 150 мм был получен профиль длиной 2250 мм. Определить коэффициент вытяжки.

Указание. Использовать условие постоянства объема.

10. Определить значения $\dot{\epsilon}$ по данным табл. I.

Т а б л и ц е I

№ варианта	Размеры сечения пресс-изделия	D_k , мм	$V_{пр}$, м/мин	α°
1		100	2	30
2		115	5	60
3		130	1	60

Тема 2. Определение размеров заготовки

Длина заготовки

$$L = \frac{[(\rho_{\text{изд}} + \Delta) \cdot m + \ell_{\text{к.о}}] \cdot n \cdot f_{\text{изд}}}{F_{\text{заг}}} + H \lambda_p,$$

где $\ell_{\text{изд}}$ - длина готового изделия;

Δ - припуск на длину, $\Delta = 100-300$ мм;

m - кратность изделий в прессовке, $m = 1, 2, 3, \dots$;

$\ell_{\text{к.о}}$ - длина концевой обрезки, $\ell_{\text{к.о}} = 350-600$ мм;

n - число каналов на зеркале матрицы, $n = 1, 2, 3, \dots$;

H - высота пресс-остатка, при прямом методе $H = (0,15-0,20) D_K$, при обратном $H = (0,07-0,10) D_K$;

$F_{\text{заг}}$ - площадь сечения заготовки, $F_{\text{заг}} = \frac{\pi D_{\text{заг}}^2}{4}$;

λ_p - коэффициент распрессовки, $\lambda_p = F_K / F_{\text{заг}}$.

Определяем $m = \frac{L_{\text{ст. пресса}} - \ell_{\text{к.о}} - \Delta}{\ell_{\text{изд}}}$,

где $L_{\text{ст. пресса}}$ - длина стола пресса, $L_{\text{ст. пресса}} = 12-20$ м;

$D_{\text{заг}}$ - диаметр заготовки, $D_{\text{заг}} = (0,965-0,975) D_K$.

Выход годного (коэффициент использования металла КИМ)

$$\eta = 1 - \frac{\sum V_{\text{отх}}}{V_{\text{заг}}}.$$

Находим $\sum V_{\text{отх}} = V_n + V_{\text{вык}} + V_{\text{ут}} + V_{\text{обр}} + 2V_{\text{захв}}$,

где V_n - отходы на пресс-остаток;

$V_{\text{вык}}, V_{\text{ут}}$ - отходы на обрезку выходных и утяжных концов;

$V_{\text{обр}}$ - отходы на образцы под механические испытания;

$V_{\text{захв}}$ - отходы на захваты для растяжной гравильной машины;

$V_{\text{заг}}$ - объем заготовки, $V_{\text{заг}} = \frac{\pi D^2 L}{4}$.

Размер горячей заготовки

$$L_r = L(1 + \alpha T_H), \quad D_r = D(1 + \alpha T_H),$$

где α - коэффициент линейного расширения;

T_H - температура нагрева заготовки перед прессованием.

З а д а ч и

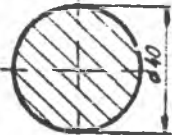
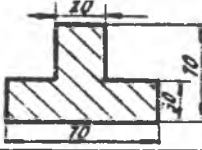

1. Определить относительное увеличение диаметра заготовки из сплава АДС1 при нагреве от 0° до температуры 500° . Принять $\alpha = 25 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$.

2. При постоянном объеме заготовки $V_{заг} = const$ найти отношение L/D , при котором боковая поверхность заготовки (включая и площади торцов) будут минимальной.

3. Даны следующие размеры заготовок: $L/D = 2$, $L/D = 3$, $L/D = 4$. Принимая диаметр заготовки постоянным и равным 100 мм, выбрать оптимальное соотношение L/D , если сумма всех отходов составляет 460 см 3 .

4. Определить размеры заготовки для прессования сплошных профилей в одноканальные матрицы по данным табл. 2.

Т а б л и ц а 2

№ детали	Сечение профиля	D_n , мм	$L_{изд}$, мм	$L_{ст. пресс.}$, м
1		200	1500	15
2		150	2000	17
3		300	3000	12

5. Показать, при каком методе (прямом или обратном) при одинаковых режимах прессования выход годного будет наибольшим.

6. Определить размеры полой заготовки для прессования трубы диаметром 60 мм и толщиной стенки 15 мм, если $\lambda = 20$, сдаваемая длина кратна 2000 мм, длина стола пресса равна 15 м.

7. На горизонтальном гидравлическом прессе усилием 30 МН применяют контейнеры следующих диаметров: 225 мм; 250 мм; 270 мм. Требуется выбрать оптимальный диаметр контейнера для прессования прутка диаметром 75 мм и длиной 6000 мм.

8. Определить количество пресс-изделий, получаемых без учета отходов при прессовании слитка с размерами $D = 150$ мм, $L = 450$ мм, если сечение пресс-изделия представляет собой равносторонний треугольник со стороной 50 мм, а сдаваемая длина кратна 3000 мм.

9. Рассчитать число каналов в матрице для прессования прутков диаметром 10 мм с коэффициентом вытяжки $\lambda = 22,5$ из заготовки диаметром 150 мм.

10. Определить размеры заготовки без учета отходов, если нужно получить профиль с сечением в форме квадрата со стороной 40 мм и длиной 15 мм. В расчетах принять коэффициент вытяжки $\lambda = 25$.

11. Найти длину заготовки для прессования прутка диаметром 20 мм и длиной 7500 мм из контейнера диаметром 100 мм. В расчетах пренебречь отходами.

Тема 3. Силловые условия процесса

Определение силовых параметров процесса прессования производится с использованием 4 группы аналитических формул для определения усилия прессования.

Формулы 1 группы

I. Формула С.И. Гуркина

$$P = F \sigma,$$

где F — проекция площади штамповой головки на плоскость, перпендикулярную к оси прессования;

σ — напряжение на пресс-шайбе;

$$\sigma = z S_0 \ln \lambda \left(1 + \mu_s \operatorname{tg} \alpha + \mu_s \operatorname{ctg} \alpha + \frac{4 \mu_s L_n}{D_n \ln \lambda} \right),$$

z — коэффициент неоднородности деформации прессования: с нагревом $z = 1,5-2,0$; без нагрева $z = 1,0-1,4$;

μ_s - коэффициент трения при прессовании без смазки алюминиевых сплавов $\mu_s = 0,33-0,37$;

λ - вытяжка;

S_g - сопротивление деформации;

α - угол образующей матричной воронки с осью матрицы;

D_k - диаметр контейнера;

L_n - длина распрессованного слитка.

2. Формула И.Л.Перлина

$$P = R_n + T_{kp} + T_n + T_n,$$

где R_n - усилие деформации без учета трения по контейнеру, матрице и пояску матрицы;

T_{kp}, T_n, T_n - усилия преодоления сил трения о контейнер, матрицу и калибрующей поясск соответственно.

Определим

$$R_n = [0,785(i + i_{дон}) / \cos^2 \alpha / 2] \cdot \lambda^2 S_{g.c},$$

$$T_{kp} = \pi D_k (i - h_{y.z.}) \mu_{kp} S_{g.kp},$$

$$T_n = [0,785 / \sin \alpha] \mu_n D_k^2 i S_{g.c},$$

$$T_n = \lambda F_n \mu_n S_{g.k},$$

где $S_{gn}, S_{gk}, S_{gc} = \sqrt{S_{gn} S_{gk}}$ - сопротивление деформации металла, соответственно начальное, конечное, среднее;

$S_{g.kp}$ - сопротивление деформации металла по контейнеру;

$S_{g.kp} = 1,5 S_{gn}$ - в условиях полного охватывания, при смазке $S_{g.kp} = S_{gn}$;

$h_{y.z.}$ - высота упругой зоны очага деформации,
 $h_{y.z.} \approx 0,64(D_k - \alpha_n) / 2$;

α - угол наклона образующей канала матрицы к ее оси (при $\alpha > 60^\circ$ принимают $\alpha = 60^\circ$);

- $\mu_{кр}, \mu_{м}, \mu_{п}$ - коэффициенты трения на контактных поверхностях контейнера, матрицы и пояска соответственно (табл. 3);
- $F_{п}$ - поверхность трения калибрующего пояска; $F_{п} = \pi l$,
- π и l - периметр и высота калибрующего пояска;
- $i_{доп}$ - интегральный показатель дополнительной деформации, $i_{доп} = l_n \sqrt{\frac{F_{изд}}{a^2_{ср.изд}}}$,
- $a_{ср.изд}$ - средняя толщина профиля, разбитого на n участков приблизительно равной ширины,
 $a_{ср.изд} = (a_1 + a_2 + \dots + a_n) / n$.

Т а б л и ц а 3

Значения коэффициентов трения

Условия прессования	$\mu_{м}$	$\mu_{п}$	$\mu_{кр}$
со смазкой	0,15	0,10	0,12
без смазки	0,45	0,20	0,50

Формулы II группы (формула Л.А.Люфмана)

Рассматривается сссимметричная задача, как наиболее часто применяемая:

$$P = S \left[2,75 \nu \alpha + 2 \left(\frac{l_{м}}{D_{н}} + \frac{l_{п}}{d} \right) - 0,6 \right],$$

где P - удельное давление прессования;

S - сопротивление деформированию; $S = S_{п} \omega_{т} \nu_{с} K_{с}$;

$\omega_{т}$ - температурный коэффициент, $\omega_{т} = e^{m(T_{п} - T)}$;

$T_{п}$ - температура плавления;

m - коэффициент, определяемый опытным путем, $m = 3,5 \cdot 10^{-2}$;

T - температура прессования;

$\nu_{с}$ - скоростной коэффициент, $\nu_{с} = v^k$;

v - скорость истечения;

k - показатель степени, $k = k_0 \left(\frac{T}{T_{п}} \right)^2$;

S_n - константа, характеризующая сопротивление металла деформированию при скорости деформирования $\dot{\epsilon} = 1 \text{ сек}^{-1}$ и температуре $T = T_n$;

K_c - коэффициент, учитывающий влияние степени деформации (степень упрочнения).

S_n и n_0 определяются по таблицам;

при $\xi = 0,3-0,7$ $K_c = 1$; при $\xi \ll 0,3$ $K_c = \frac{T}{T_n}$;

D_n - диаметр заготовки;

d - диаметр изделия;

l_n - длина рабочего пояса матрицы;

λ - вытяжка;

L_n - длина слитка после подпрессовки, $L_n = L_0 \frac{D_n^2}{D^2}$.

Формулы III группы (формула Тарновского)

$$P_0 = 2\tau_s \left(1,1 + 1,15 l_n \lambda + 2 \sqrt{\frac{0,4\lambda + 0,6}{\lambda}} - 1 + 2,8 \frac{L}{D} \right).$$

где P_0 - удельное давление прессования;

τ_s - предел текучести слитка при температуре прессования, $\tau_s = 0,577 \sigma_s$, σ_s - предел (статический) текучести при данной температуре;

L - длина распрессованного слитка;

D - диаметр контейнера;

λ - вытяжка.

Формулы IV группы (формула Л.В.Прозорова)

$$P = n c \sigma_f F l_n \frac{F}{f},$$

где c - коэффициент, учитывающий силы трения и неравномерность распределения напряжений в заготовке;

σ_f - предел прочности при растяжении в области температур прессования;

n - коэффициент, учитывающий влияние трения металла о стенки контейнера (когда высота заготовки больше диаметра контейнера, $H > D$, то $n = 1 + 0,08 \frac{H}{D}$);

D - диаметр контейнера;

H - высота заготовки;

F - проекция площади штемпельной головки на плоскость, перпендикулярную оси прессования;

f - площадь поперечного сечения прессованного изделия.

На основании проведенных опытов установлены следующие значения коэффициента C (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Вид прессованного изделия	C
Сплошные профили	4
Гладкостенные трубы и трубы с небольшими ребрами	5
Трубы с большими ребрами, образующими полужамкнутую полость	6
Ребристые трубы с большими полужамкнутыми полостями	7

В процессе прессования происходит повышение температуры в очаге деформации, которое ($\Delta T_{деф}$) вычисляется по формуле

$$\Delta T_{деф} = \frac{\kappa P_{ув} \ln \lambda}{J C \rho},$$

где κ - коэффициент перехода работы деформации в тепло, $\kappa = 0,9-0,95$;

$$P_{ув} = 10 S_{дн}^{T_{пр}},$$

$S_{дн}^{T_{пр}}$ - предел текучести при температуре прессования;

J - механический эквивалент тепла;

C - средняя удельная теплоемкость, Дка/кг·град;

ρ - плотность, кг/м³;

λ - вытяжка при прессовании, $\lambda = \frac{F_{конт}}{f_{пр} n}$;

$F_{конт}$ - площадь поперечного сечения контейнера, м²;

$f_{пр}$ - площадь поперечного сечения профиля, м²;

n - число каналов в матрице.

Повышение температуры поверхности заготовки в результате трения о стенки контейнера калибрующего пояса

$$\Delta T_{\tau} = \frac{S_{\tau}}{4 \rho C} \sqrt{\frac{V_{узм} L}{a}}.$$

Глубина прогрева заготовки, контейнера и калибрующего песка

$$\delta = \sqrt{\frac{Q L \lambda}{V_{\text{ном}}}}$$

З а д а ч и

1. Определить среднюю температуру пресс-изделия при выходе из матрицы, если коэффициент вытяжки $\lambda = 60$, сопротивление деформации $S_{gc} = 80$ МПа и начальная температура заготовки $T_0 = 420^\circ\text{C}$. В расчетах принять $c = 0,22$ кал/г·град, $\rho = 2,7$ г/см³.

2. При прессовании профилей из идеально-пластического металла ($S_{gc} = 50$ МПа) из контейнера диаметром 130 мм усилие, необходимое для преодоления сил трения по контейнеру, составило 2,0 МН. Найти приближенное значение коэффициента трения $\mu_{кр}$, если слиток имел длину 400 мм.

3. Найти предельную допустимую вытяжку при прессовании без трения в одноканальную матрицу с углом конусности 60° по данным табл. 5.

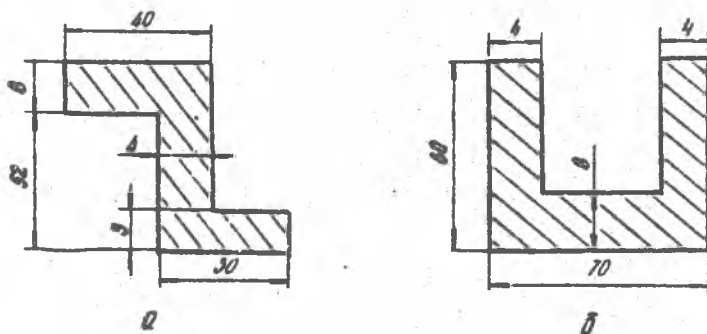
Т а б л и ц а 5

№ Варианта	Диаметр прутка, мм	S_{gc} , МПа	Пресс, МН
1	30	20	12,0
2	40	30	15,0
3	50	40	20,0
4	60	50	30,0

4. Из индикаторной диаграммы для прямого метода прессования заготовки диаметром 200 мм и длиной 600 мм получены следующие значения: максимальное усилие 21,0 МН, минимальное усилие 13,0 МН. Определить величину напряжения трения по контейнеру.

5. С увеличением угла конусности матрицы α сдвиговые деформации возрастают, что приводит к увеличению составляющей полного усилия $P_{\text{сд}}$, но одновременно уменьшается контактная поверхность и соответственно составляющая $P_{\text{т}}$. Найти зону оптимальных углов конусности матрицы при прессовании профиля с площадью поперечного сечения 300 мм², если сопротивление деформации постоянно по объему заготовки и равно 60 МПа, коэффициент трения $\mu = 0,2$; $\lambda = 20$; $L = 3D$.

6. Определить усилие, необходимое для осуществления дополнительной деформации при прессовании профилей сложной конфигурации (рис. I) из контейнера диаметром 130 мм, если сопротивление деформации металла равно 50 МПа, угол конуса матрицы 30° .



Р и с. I.

7. Определить минимальную температуру нагрева заготовки при прессовании без смазки по данным табл. 6.

Т а б л и ц а 6

№ варианта	Диаметр прутка, мм	Сплав	$V_{уст}$, м/мин	Пресс, МН	Длина прутка, м
1	30	АДЗГ	20	120	15
2	45	АМгЗ	5	200	10
3	60	Д16	2	300	12
4	30	Д1	2	150	14
5	45	Д16	2	200	16
6	60	Д1	2	300	10

Указать вид прессования: горячее, холодное, теплое.

8. Определить предельно допустимые коэффициенты вытяжки по данным табл. 6 в задаче 7.

9. Прессование прутков ведут с вытяжкой $\lambda = 30$. Определить максимальную длину слитка при прессовании без смазки по данным табл. 6.

Тема 4. Проектирование прессового инструмента

Матрица. Длины калибрующих поясков матриц находят из формулы Матвеева-Журавского

$$\frac{l_{F_1} \cdot P_{F_1}}{F_1} = \frac{l_{F_2} \cdot P_{F_2}}{F_2} = \dots = \frac{l_{F_i} \cdot P_{F_i}}{F_i} = \dots \text{const},$$

где $l_{F_1}, l_{F_2}, \dots, l_{F_i}$ - длина калибрующего участка на участках площадью F_1, F_2, \dots, F_i ,

$P_{F_1}, P_{F_2}, \dots, P_{F_i}$ - периметры участков.

Расчет консольного участка матрицы на изгиб выполняется по формуле

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{M}{W} < [\sigma] \approx 0,75\sigma,$$

где M - изгибающий момент, $M = Ql$;

Q - усилие, приложенное к центру тяжести консольного участка матрицы, $Q = P F_{\text{конс}}$;

P - удельное давление в контейнере при максимальном усилии пресса $P = (0,6-0,8) \frac{P_{\text{пресса}}}{F_k}$;

l - плечо, равное расстоянию от центра приложения силы до основания консоли;

$F_{\text{конс}}$ - площадь консольного участка матрицы;

W - момент сопротивления изгибу.

$$\text{Определяем } W = \frac{\delta h^2}{6},$$

где δ - ширина основания консольного участка матрицы;

h - толщина матрицы, $h = (0,3-0,4) D_k$.

Исполнительные размеры канала матрицы

$$A_i = A_n + M + (K_y + K_p + K_T) A_n,$$

где A_n - номинальный размер сечения профиля;

M - плюсовой допуск, $M = (0,008-0,01) A_n$;

K_y - коэффициент утягивания размера сечения (см. табл. 5);

K_p - коэффициент уменьшения размера при правке растяжением (табл. 7);

K_T - коэффициент температурной усадки; $K_T = T\alpha - T_1\alpha_1$,

где T и T_1 - температуры нагрева заготовки и матрицы;

α и α_1 - коэффициенты линейного расширения соответственно прессуемого металла и материала матрицы.

Т а б л и ц а 7

Размер элемента, мм	K_y	K_p
1 - 3	0,020	0,020
4 - 20	0,010	0,010
21 - 40	0,006	0,008
41 - 60	0,005	0,008
61 - 80	0,004	0,006
81 - 120	0,003	0,005
121 - 200	0,002	0,004

Пресс-штемпель. Суммарное напряжение

$$\sigma^x = \sigma' + \sigma'' \leq [\sigma] \approx \sigma_B,$$

где σ' - напряжение сжатия, $\sigma' = \frac{P_{\text{пресса}}}{F \psi}$;

F - площадь поперечного сечения пресс-штемпеля;

ψ - коэффициент запаса прочности, $\psi = \frac{\mu L_n}{l}$;

где μ - коэффициент Пуассона материала;

L_n - длина рабочего стержня пресс-штемпеля, $L_n = (4-5)D_n$;

D_n - диаметр пресс-штемпеля;

i - радиус сечения (для круга $i = D_n/4$);

σ'' - изгибающее напряжение, $\sigma'' = \frac{M}{W}$;

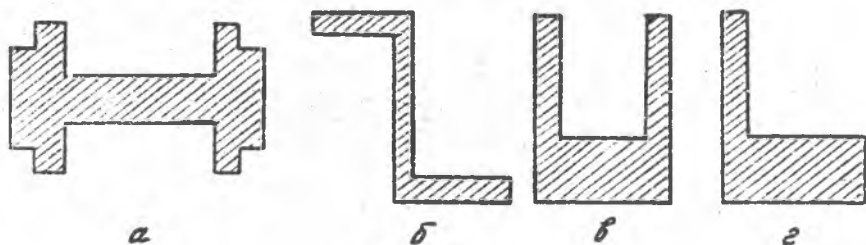
где M - изгибающий момент, $M = P_{\text{пресса}} e$;

W - момент сопротивления пресса изгибу, $W = 0,1 D_n^3$ (для круга);

e - эксцентриситет, $e = (D_K - D_n)/4$; $D_K - D_n = 10-15$ мм.

Задачи

1. Найдите рациональное положение канала на зеркале матрицы для профилей с сечениями, как показано на рис. 2.



Р и с. 2.

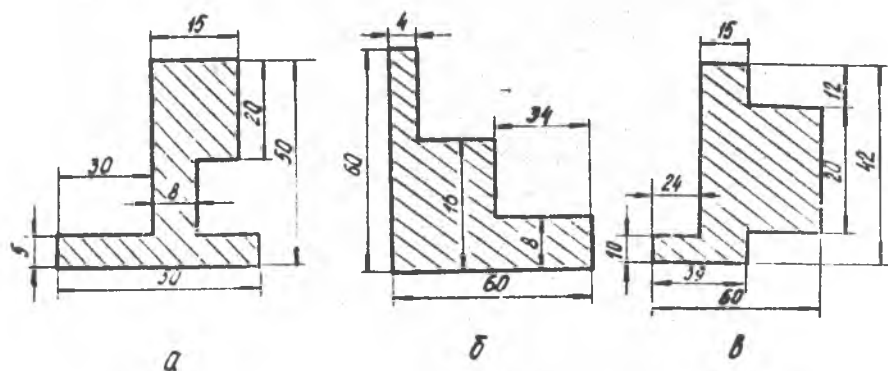
2. Определить рациональное расположение каналов в матрице для многониточного прессования асимметричных профилей, обеспечивающее их симметрию относительно центра матрицы по табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Всертка	1	2	3	4	5	6	7
Сечение							
Число каналов	2,4	2,4	3	2	6	2	2

3. Разбить сечение профилей на несколько элементов равной ширины как показано на рис. 3, среди них найти элементы с наибольшим и наименьшим удельным периметром.

4. Для профилей (задача 3) рассчитать по формуле Матвеева-Журавского длину калибруемых участков, обеспечивающих равномерность скоростей истечения. Дать развертку калибрующих поясков по периметру профиля.



Р и с. 3.

5. Выбрать способ выравнивания скоростей истечения отдельных элементов сечения профиля, представленных в табл. 9.

Т а б л и ц а 9

Вариант	1	2	3	4
Сечение				

6. Прозести расчет контрольного участка матрицы на изгиб для прессования прутков $\phi 20$ мм при $\rho = 750$ МПа, $\ell_{к.п} = 5$ мм, диаметре выходной части $\phi = 24$ мм.

7. Провести расчет консольных элементов матриц на изгиб и срез по данным задачи 3, если удельное давление в очаге пластической деформации $\rho = 600$ МПа, $D_k = 100$ мм.

8. Указать факторы, определяющие исполнительные размеры очка матрицы. Определить исполнительные размеры для профилей, представленных в задаче 3.

7. При прессовании прутка диаметром 20 мм с коэффициентом вытяжки 50 на прессе усилием 15,0 МН матрица вышла из строя из-за

пластической деформации калибрующего пояска. Матрица была изготовлена из стали 5ХНМ с $\sigma_B / \tau = 450^\circ\text{C} = 800 \text{ МПа}$. Диаметр выходной части канала равен 26 мм, а высота пояска 3 мм. Указать причину выхода матрицы из строя и провести соответствующие расчеты.

10. Определить диаметр пуансона наименьшего контейнера на прессе усилием 150 МН, если материал пуансона выдерживает на сжатие $\sigma_{сж}$ = 1000 МПа.

11. На прессе усилием 12,0 МН установлен пресс-штемпель диаметром 150 мм, изготовленный из высокопрочной стали 3Х2В8Ф с $\sigma_B = 1300 \text{ МПа}$. Пресс-штемпель работает в трудных условиях, испытывая напряжения от сжатия и изгиба, вызванного смещением усилия прессования от оси прессования на величину 5 мм. Исходя из условий работы пресс-штемпеля, провести его расчет на прочность, проверить правильность выбора габаритов и материалов. В расчетах принять $\varphi = 0,9$.

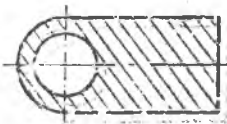
12. Провести расчет контейнера диаметром 155 мм на прочность, если удельное давление прессования составляет 850 МПа.

13. Контейнер, наружный диаметр которого 300 мм и толщина стенки 75 мм, подвергнут давлению прессования $p = 600 \text{ МПа}$. Построить эпюры радиальных и окружных напряжений в зависимости от текущего радиуса.

14. В задаче 13 поменять условие, т.е. считать, что действует не внутреннее, а внешнее давление. Определить те же величины.

15. Рассчитать предельное внутреннее давление, при котором весь материал контейнера перейдет в пластическое состояние.

Указание. Использовать решение $\sigma_r = 2k \ln r + C$, где k - сопротивление пластической деформации; r - текущий радиус; C - постоянная интегрирования.



Р и с. 4.

16. Предложить возможные конструкции матриц для прессования полого профиля с одной осью симметрии, обеспечивающие выравнивание скоростей истечения (рис. 4).

Тема 5. Безоправочное волочение труб

Коэффициент вытяжки

$$\mu = \frac{F_H}{F_K} = \frac{D_{ср.н} t_H}{D_{ср.к} t_K} = \mu_{ср} \mu_t,$$

где F_H и F_K - площадь сечения труб до и после волочения;

$D_{ср.н}$ и $D_{ср.к}$ - средний диаметр трубы до и после волочения;

$$D_{ср.н} = D_H - t_H; \quad D_{ср.к} = D_K - t_K,$$

где t_H и t_K - толщина стенки трубы до и после волочения.

Относительное обжатие $\epsilon = (F_H - F_K) / F_H$.

Число переходов волочения $n = \epsilon n \mu_{\Sigma} / (\epsilon n \mu_{max}) = \epsilon n \frac{D_{ср.н}}{D_{ср.к}} / (\epsilon n \mu_{max})$

где μ_{max} - максимально допустимая вытяжка за переход.

Коэффициенты вытяжки с учетом упрочнения

$$\mu_1 = \sqrt{\frac{\mu_{\Sigma} (\sigma_{B1} + \Delta \sigma_B) (\sigma_{B1} + 2\Delta \sigma_B) (\dots) [\sigma_{B1} + (n-1)\Delta \sigma_B]}{\sigma_{B1}^{n-1}}},$$

$$\mu_2 = \mu_1 \frac{\sigma_{B1}}{\sigma_{B2}}, \quad \mu_3 = \mu_1 \frac{\sigma_{B1}}{\sigma_{B3}}, \quad \dots, \quad \mu_n = \mu_1 \frac{\sigma_{B1}}{\sigma_{Bn}}, \quad \Delta \sigma_B = \frac{\sigma_{Bn} - \sigma_{B1}}{n-1},$$

где $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_n$ - вытяжки соответственно в 1, 2, 3 и n переходах;

$\sigma_{B1}, \sigma_{B2}, \sigma_{B3}, \dots, \sigma_{Bn}$ - предел прочности протягиваемого металла соответственно после 1, 2, 3 и n переходов.

Усилие волочения

$$Q = \left\{ \epsilon n \frac{D_{ср.н}}{D_{ср.к}} [1,15 \bar{\sigma}_{0,2} + f \operatorname{ctg} \alpha_n (1,15 \bar{\sigma}_{0,2} - \sigma_{\text{упр}})] + \sigma_{\text{упр}} \right\} F_K$$

где $\bar{\sigma}_{0,2}$ - среднее значение предела текучести;

f - коэффициент трения;

α_n - приведенный угол, $\operatorname{tg} \alpha_n = (D_H - D_K) / \operatorname{tg} \alpha [(D_H - D_K) + 2t_K \operatorname{tg} \alpha]$;

$\sigma_{\text{упр}}$ - напряжение на границе упругой и пластической зон,

$$\sigma_{\text{упр}} = (0,1 - 0,12) \bar{\sigma}_{0,2};$$

α - полуугол конуса волоки;

l_k - длина калибрующего участка, $l_k \approx 1,5 t_k$.

Условие безобрывности волочения

$$\frac{\sigma_{0,2} F_k}{Q} > 1,1 \div 1,2.$$

Размеры труб по переходам

$$D_{ср. n} = D_n - t_n, \quad D_{ср. n-1} = \mu_n D_{ср. n}, \quad \Delta D_{ср} = D_{ср. n-1} - D_{ср. n}$$

$$t_{n-1} = t_n - \Delta t,$$

$$\Delta t = \frac{1}{6} \left[3 - 10 \left(\frac{t_n}{D_n} \right)^2 - 13 \frac{t_n}{D_n} \right] \frac{\Delta D_{ср}}{D_{ср}} (t - \Delta t).$$

Критическая деформация по диаметру до потери устойчивости

$$\varepsilon_{кр} = 2,8 \cdot 10^4 \left(\frac{t_n}{D_n} \right)^2 \text{ для } (t/D) 100 < 4\%.$$

З а д а ч и

1. Определить зависимость радиальных и окружных напряжений при безопрессочном волочении труб.

Указание. Записать уравнение равновесия на вертикальную ось.

2. Определить предельное обжатие при волочении медной трубы 16х1 через волоку с углом $\alpha = 12^\circ$ и коэффициентом трения $f = 0,1$. В расчетах принять $\sigma_{0,2} = 22 + 0,25 \varepsilon$.

3. Определить среднюю температуру трубы 24х1,5 при выходе из волски диаметром 20 мм. В расчетах принять начальную температуру заготовки 20°C , $f = 0$, $\sigma_{0,2} = 24 \text{ кг/мм}^2$, $c = 0,22 \text{ кал/г}\cdot\text{град}$, $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$, $\eta = 1,0$.

4. Рассчитать маршруты безопрессочного волочения труб по данным табл. 10.

Решение. Рассмотрим I вариант. Коэффициент вытяжки по диаметру труб за один переход

$$\mu_D = \frac{1}{1 - \varepsilon_D} = \frac{1}{1 - 0,3} = 1,43.$$

Определим необходимое число переходов

$$n = \frac{\ln \frac{D_{ср. n}}{D_{ср. k}}}{\ln \mu_{\max}} = \frac{\ln \frac{11,5}{3,5}}{\ln 1,43} \approx 3.$$

Т а б л и ц а 10

№ варианта	Размеры готовой трубы, мм	Относительное обжатие по диаметру за проход, %	Диаметр исходной заготовки, мм
1	4x0,5	30	12
2	6x1,0	25	15
3	5x0,75	30	16
4	8x1,0	25	18

Рассчитаем диаметры труб по переходам:

$$\frac{D_n}{\mu_{\max}} = \frac{12}{1,43} \approx 8,4 \text{ мм} \quad - \text{1-й переход};$$

$$\frac{8,4}{1,43} \approx 5,9 \text{ мм} \quad - \text{2-й переход};$$

$$5,9/1,43 \approx 4,0 \text{ мм} \quad - \text{3-й переход}.$$

Коэффициенты вытяжки за проход будут 1,45; 1,47; 1,54. Далее определяют толщину стенок труб по переходам.

5. Спроектировать переходы для безоправочного волочения труб из сплава Д16 с учетом упрочнения металла по линейному закону $\sigma_s = 21 - 6\epsilon_{\text{пл}}$ по данным табл. II.

Т а б л и ц а II

№ варианта	Размеры готовой трубы, мм	Максимальный коэффициент вытяжки	Диаметр исходной заготовки, мм
1	6x1,0	1,5	16
2	8x1,0	1,5	20
3	8x1,0	1,5	22
4	8x2,0	1,4	24

Решение. Рассмотрим I вариант. Определим необходимое число переходов

$$n = \frac{\ln \mu_{\Sigma}}{\ln \mu_{\max}} = \frac{\ln \frac{(D_n)_{\text{ср}}}{(D_k)_{\text{ср}}}}{\ln \mu_{\max}} = \frac{\ln \frac{15}{5}}{\ln 1,5} = 2,71 \approx 3.$$

Принимаем $n = 3$. Тогда при $\ln \mu_1 = \ln 1,5 \sigma_{B1} \approx 23,4 \text{ кг/мм}^2$;
 при $\ln \mu_2 = \ln 3 \sigma_{BH} = 27,6 \text{ кг/мм}^2$, $\Delta \sigma = \frac{27,6 - 23,4}{2} = 2,1$,
 $\mu_1 = \sqrt{\frac{3(23,4 + 2,1)(23,4 + 2,1)}{23,4^2}} = 1,57$,

$$\mu_2 = 1,57 \frac{23,4}{23,4 + 2,1} = 1,44, \mu_3 = 1,57 \frac{23,4}{23,4 + 2 \cdot 2,1} = 1,32.$$

Определяем размеры труб по переходам.

Третий переход:

$$D_3 = 6 \text{ мм}; t_3 = 1 \text{ мм}; D_{cp,3} = 5,0 \text{ мм}; D_{cp,2} = 5,0 \cdot 1,32 = 6,6 \text{ мм};$$

$$\Delta D_{op} = 6,6 - 5,0 = 1,6 \text{ мм};$$

$$\Delta t_3 = \frac{1}{8} \left[3 - 10 \left(\frac{1}{7,6} \right)^2 - 13 \left(\frac{1}{7,6} \right) \right] \frac{1,6}{6,6} (1 - \Delta t_3) = 0,04 \text{ мм};$$

$$t_2 = 1,0 - 0,04 = 0,96 \text{ мм}; D_2 = 6,6 + 0,96 = 7,56 \text{ мм}.$$

Переход 7,56x0,96 — 6,0x1,0.

Второй переход:

$$D_{cp,1} = 6,6 \cdot 1,44 = 9,50 \text{ мм}; \Delta D_{op} = 9,5 - 6,6 = 2,9 \text{ мм};$$

$$\Delta t_2 = \frac{1}{8} \left[3 - 10 \left(\frac{0,96}{9,46} \right)^2 - 13 \left(\frac{0,96}{9,46} \right) \right] \frac{2,9}{9,50} (0,96 - \Delta t_2) = 0,06 \text{ мм};$$

$$t_2 = 0,96 - 0,06 = 0,90; D_2 = 9,5 + 0,90 = 10,40.$$

Переход 10,4x0,90 — 7,56x0,96

Первый переход:

$$D_{cp,0} = 3,5 \cdot 1,57 = 14,9; \Delta D_{op} = 14,9 - 9,5 = 5,4 \text{ мм};$$

$$\Delta t_1 = \frac{1}{8} \left[3 - 10 \left(\frac{0,90}{15,8} \right)^2 - 13 \left(\frac{0,90}{15,8} \right) \right] \frac{5,4}{14,9} (0,90 - \Delta t_1) = 0,10 \text{ мм};$$

$$t_1 = 0,90 - 0,10 = 0,80 \text{ мм}; D_1 = 14,9 + 0,80 = 15,70 \text{ мм},$$

что близко к наружному диаметру заготовки, равному 16 мм.

Переход 16x0,80 — 10,4x0,90.

ЗАДАНИЯ ПО ТЕОРИИ ПРЕССОВАНИЯ И ВОЛОЧЕНИЯ

Составители: Каргин Владимир Родионович,
Хардин Виктор Борисович

Редактор Л. Я. Чегодаева
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор Н. С. Куприянова

Подписано в печать 30.10.91 Формат 60×84 1/16.
Бумага оберточная. Усл. печ. л. 1,4. Усл. кр.-отт. 1,5,
Уч.-изд. л. 1,3. Тираж 200 экз. Заказ 222.
Бесплатно.

Самарский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева,
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

Участок оперативной полиграфии
Самарского авиационного института,
443001, г. Самара, ул. Ульяновская, 18