

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА»

## ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПРЕССОВАНИЯ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве методических указаний к практическим занятиям*

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2008

УДК СГАУ : 621.77 (075)

Составители *В.Р. Каргин, Б.В. Каргин*

Рецензент д-р техн. наук, профессор И. П. П о п о в

**Задачи и упражнения по технологии прессования:** метод. указания к практическим занятиям / сост. *В.Р. Каргин, Б.В. Каргин*. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. – 32 с.

Методические указания являются дополнением к лекционному курсу «Основы технологических процессов ОМД. Раздел прессование». Приведены основные определения и формулы для расчёта технологических параметров прессования и инструмента, задачи и упражнения, рекомендации по их выполнению, примеры решения задач.

Предназначены для студентов инженерно-технологического факультета, обучающихся по специальности 150106 – Обработка металлов давлением.

УДК СГАУ : 621.77 (075)

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2008

## 1. ПОКАЗАТЕЛИ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРЕССОВАНИИ

Основными показателями деформации при прессовании являются:

1. Коэффициент вытяжки, или просто вытяжка  $\lambda$ . Его определяют как отношение площади поперечного сечения контейнера к площади поперечного сечения профиля (рис.1).

$$\lambda = \frac{F_k}{f_{пр}}$$

где  $F_k$  - площадь поперечного сечения контейнера;

$$F_k = \frac{\pi}{4} D_k^2;$$

$D_k$  - диаметр контейнера;

$f_{пр}$  - площадь поперечного сечения профиля.

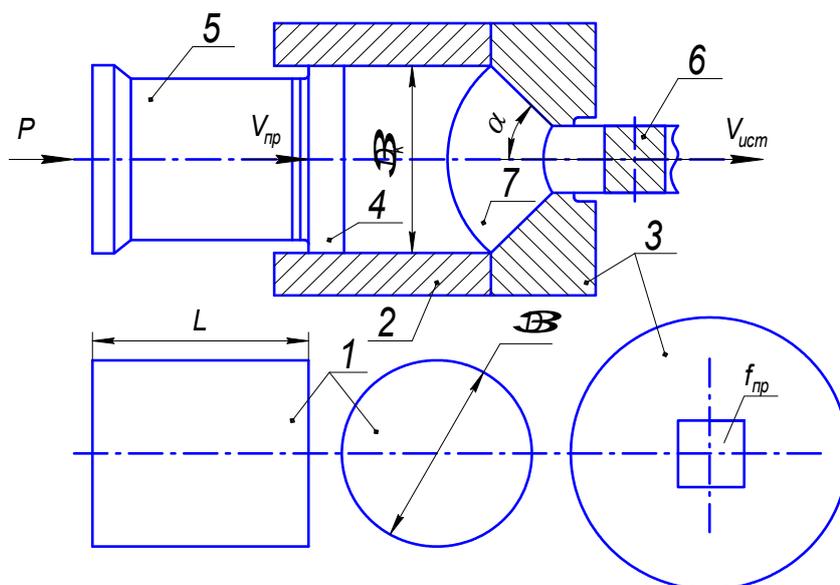


Рис. 1. Схема прессования:

1 – заготовка, 2 – контейнер, 3 – матрица, 4 – пресс-шайба, 5 – пресс-штемпель, 6 – профиль, 7 – очаг пластической деформации

2. Интегральный показатель деформации

$$i = \ln \lambda .$$

3. Степень деформации при прессовании

$$\varepsilon = \frac{F_k - f_{np}}{F_k} \cdot 100\% .$$

4. Средняя скорость деформации

$$\bar{\varepsilon} = \frac{i}{\tau} ,$$

где  $\tau$  - время нахождения металла в очаге пластической деформации 7

$$\tau = \frac{W}{W_{сек}} ;$$

$W$  - объём очага пластической деформации при прессовании круглого профиля

$$W = \frac{\pi}{12} \frac{1 - \cos \alpha}{\sin^3 \alpha} (D_k^3 - d_n^3) ,$$

где  $\alpha$  - угол конуса матрицы,

$d_n$  - наружный диаметр круглого профиля.

При прессовании профилей некруглой формы поперечного сечения  $d_n$  рассчитывают как приведенный диаметр из равенства площадей

$$d_n = \sqrt{\frac{4f_{np}}{\pi}} .$$

Секундный объём металла, вытекающий из отверстия в матрице

$$W_{сек} = f_{np} V_{ист} .$$

Различают две скорости: скорость прессования  $V_{np}$ , т.е. скорость, с которой движется пресс-штемпель 5, и скорость истечения  $V_{ист}$ , с которой металл вытекает из отверстия в матрице 3. Между этими скоростями существует зависимость

$$V_{ист} = V_{np} \lambda .$$

## ЗАДАЧИ

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

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

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

1.4. Вывести формулу для вычисления коэффициента вытяжки при прессовании труб с переменной толщиной на конической игле. Построить график изменения  $\lambda$  в зависимости от текущего радиуса иглы. Нарисовать возможные схемы изготовления таких труб методами прессования.

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

1.6. Найти связь между степенью деформации  $\varepsilon$  и коэффициентом вытяжки  $\lambda$  при прессовании; для  $\varepsilon = 92\%$ , найти  $\lambda$ .

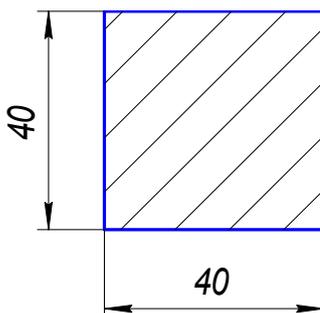
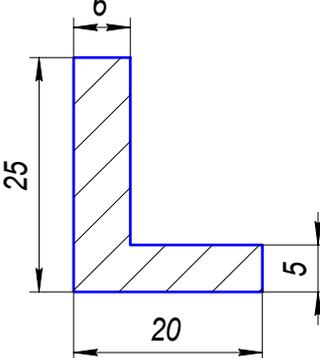
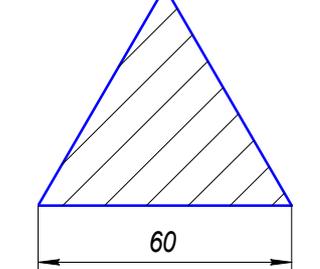
1.7. Определить среднюю скорость деформации при прессовании прутка диаметром 10 мм из контейнера диаметром 50 мм со скоростью истечения 5 м/мин. Принять  $\alpha = 60^\circ$ .

1.8. При прессовании заготовки на длину 150 мм был получен профиль длиной 2250 мм. Определить коэффициент вытяжки. Указание. Использовать условие постоянства объёма.

1.9. Определить значения средней скорости деформации по данным таблицы 1.

1.10. Рассчитать скорость истечения при прессовании профиля поперечным сечением в виде равностороннего треугольника со стороной 30 мм из контейнера диаметром 100 мм при  $V_{np} = 0,5 \text{ м/мин}$ .

Таблица 1

№ вариан-та.	Размеры сечения пресс-изделий	$D_k$ , мм	$V_{np}$ , м/мин	$\alpha^\circ$
1	 A square cross-section with a side length of 40 mm. The square is filled with diagonal hatching lines. Dimension lines indicate the side length is 40 mm.	100	2	30
2	 An L-shaped cross-section. The vertical leg has a height of 25 mm and a width of 6 mm. The horizontal leg has a width of 20 mm and a thickness of 5 mm. The entire shape is filled with diagonal hatching lines. Dimension lines indicate these measurements.	115	5	60
3	 A triangular cross-section with a base of 60 mm. The triangle is filled with diagonal hatching lines. A dimension line indicates the base length is 60 mm.	130	1	60

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВКИ

При прессовании профилей чаще всего используют сплошные цилиндрические заготовки круглого сечения диаметром  $D$  и длиной  $L$  (рис. 1).

Длину заготовки  $L$  определяют по формуле

$$L = \frac{[(l_{np} + \Delta)m + l_{к.о.}]nf_{np}}{F} + H\lambda_p,$$

где  $l_{np}$  - длина готового профиля;

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

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

$l_{к.о.}$  - длина отрезаемых концов;

$n$  - число каналов на зеркале матрицы;

$f_{np}$  - площадь поперечного сечения профиля;

$F$  - площадь поперечного сечения заготовки;

$\lambda_p$  - коэффициент распрессовки;

$H$  - высота пресс-остатка.

При прямом прессовании зависимость высоты пресс-остатка от диаметра контейнера выражается эмпирическим соотношением

$$H = (0,22 \div 0,25)D_k,$$

где  $D_k$  - диаметр контейнера.

При обратном процессе это соотношение несколько уменьшается

$$H = (0,12 \div 0,15)D_k.$$

Длину отрезаемых концов выбирают в зависимости от площади поперечного сечения профиля, табл. 2.

Таблица 2

Площадь поперечного сечения профиля $f_{np}, \text{см}^2$	Менее 12	От 12 до 150	Более 150
Длина отрезаемых концов $l_{к.о.}, \text{мм}$	700-1000	1000-1200	1500-2200

Коэффициент распрессовки

$$\lambda_p = \frac{F_k}{F},$$

где  $F_k$  и  $F$  - площади поперечных сечений контейнера и заготовки

$$F_k = \frac{\pi D_k^2}{4}, \quad F = \frac{\pi D^2}{4}.$$

Кратность профилей в прессовке находят по формуле

$$m = \frac{L_{ст.пресса} - l_{к.о.} - \Delta}{l_{np}},$$

где  $L_{ст.пресса}$  - длина стола гидропресса,  $L_{ст.пресса} = 12 \div 40 м$ .

Диаметр заготовки  $D$  выбирают с учётом свободной подачи нагретой заготовки в контейнер. Зазор между нагретой заготовкой и каналом контейнера должен составлять  $(0,008 \div 0,01)D$ , а плюсовой допуск на диаметр заготовки -  $(0,007 \div 0,013)D$ . Тогда  $D = (0,965 \div 0,975)D_k$ .

Для всех видов прессования целесообразно применять заготовки максимального объёма. При этом для прямого прессования должно выполняться эмпирическое условие

$$2,0 \leq \frac{L}{D} < 4,5.$$

Для обратного процесса отношение  $L/D$  берётся не более 6 и ограничивается длиной контейнера  $L_k$  ( $L \leq 0,75L_k$ ).

Размеры горячей заготовки

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

где  $\alpha$  - коэффициент линейного расширения;

$T_n$  - температура нагрева заготовки.

После определения окончательных размеров находят длину распрессованной заготовки

$$L_p = \frac{V}{F_k},$$

где  $V$  - объём заготовки

$$V = FL.$$

Масса заготовки

$$G = V\rho,$$

где  $\rho$  - плотность металла прессуемого профиля.

Выход годного

$$\eta = 1 - \frac{V_{отх}}{V},$$

где  $V_{отх}$  - объём отходов.

Основной объём отходов составляют технологические и геометрические отходы: пресс-остаток, обрезь переднего и заднего концов профилей, пресс-рубашка.

## ЗАДАЧИ

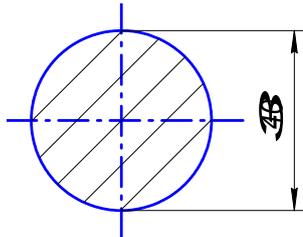
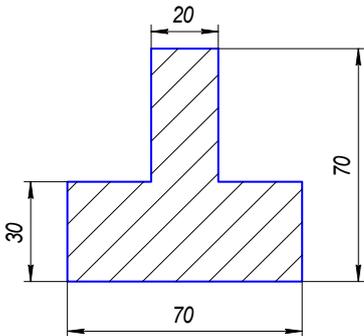
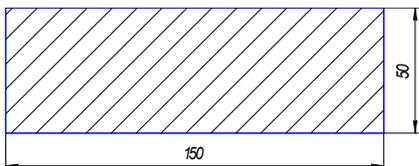
2.1. Определить относительное увеличение диаметра заготовки из сплава АД31 при нагреве от  $20^\circ$  до температуры  $500^\circ$ . Принять  $\alpha = 25 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ .

2.2. При постоянном объёме заготовки  $V = \text{const}$  найти отношение  $L/D$ , при котором боковая поверхность заготовки (включая и площади торцов) будет минимальной.

2.3. 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  $16 \text{ см}^3$ .

2.4. Определить размеры заготовки для прямого прессования сплошных профилей в одноканальные матрицы по данным таблицы 3.

Таблица 3

№ варианта	Поперечное сечение профиля	$D_k$ , мм	$l_{np}$ , мм	$L_{см.пресса}$ , м
1		200	1500	15
2		150	2000	17
3		300	3000	12

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

2.6. Определить выход годного при прямом прессовании круглого профиля диаметром 60 мм, если  $\lambda = 20$ , сдаваемая длина кратна 2000 мм, длина стола пресса равна 15 м.

2.7. 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.

2.8. Определить количество профилей, получаемых без учёта отходов при прессовании заготовки с размерами  $D=150$  мм,  $L=450$  мм, если поперечное сечение профиля представляет собой равносторонний треугольник со стороной 50 мм, а сдаваемая длина кратна 3000 мм.

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

2.10. Определить размеры и массу заготовки без учёта отходов, если нужно получить профиль с поперечным сечением в форме квадрата со стороной 40 мм и длиной 15 м. В расчётах принять коэффициент вытяжки  $\lambda = 25$ ,  $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$ .

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

### 3. СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРЕССОВАНИЯ

Усилие прессования рекомендуется находить по наиболее распространённой формуле И.Л. Перлина:

$$P = R_M + T_{KP} + T_M + T_{II},$$

где  $R_M$  - усилие, необходимое для осуществления деформации без учёта внешнего трения;  $T_{KP}$ ,  $T_M$ ,  $T_{II}$  - усилия, необходимые для преодоления сил трения по боковой поверхности контейнера, матрицы и калибрующего пояска соответственно.

Составляющие полного усилия при прессовании сплошных профилей из сплошной цилиндрической заготовки вычисляются по выражениям

$$T_{KP} = \pi D_k (L_p - h) \mu_{KP} \sigma_{TKP};$$

$$R_M = \frac{0,785(i + i_{доп})}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}} D_k^2 \sigma_{TC};$$

$$T_M = \frac{0,785}{\sin \alpha} i D_k^2 \mu_M \sigma_{TC};$$

$$T_{II} = \lambda F_{II} \mu_{II} \sigma_{TK}.$$

В этих формулах  $i$  - интегральный показатель деформации,  $i = \ln \lambda$ ;  $i_{доп}$  - интегральный показатель дополнительной деформации,

$$i_{доп} = \ln \sqrt[4]{\frac{nf_{np}}{a_{ср.пр.}^2}},$$

где  $a_{ср.пр.}$  - средняя толщина профиля, разбитого на «N» участков;  $a_{ср.пр.} = (a_1 + a_2 + \dots + a_N) / N$ ;  $f_{np}$  - площадь сечения профиля;  $n$  - число каналов матрицы.

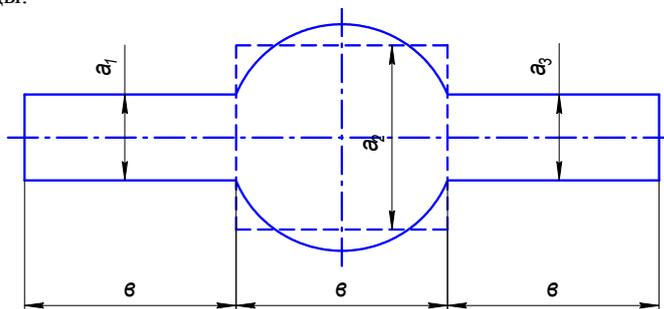


Рис. 2. Определение средней толщины профиля

Для определения  $a_{CP.ПР.}$  сечение профиля разбивают на произвольное число участков приблизительно равной ширины «в» (рис. 2).

Произвольность подхода в определении «в» приводит в ряде случаев к затруднениям. Поэтому при необходимости определения  $i_{ДОП}$  для профилей типа, показанного на рис. 2 (некомпактного сечения), целесообразно вычислять среднюю площадь участков, составляющих сечение профиля  $f_{CP.ПР.}$  (рис. 3).

Величина  $i_{ДОП}$  вычисляется как логарифм от корня четвёртой степени из отношения площади изделия к средней площади участка профиля:

$$i_{ДОП} = \ln \sqrt[4]{\frac{f_{np}}{f_{CP.ПР.}}},$$

$$f_{CP.ПР.} = (f_1 + f_2 + \dots + f_N) / N.$$

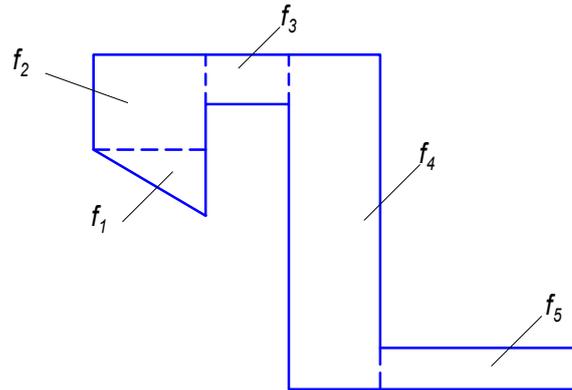


Рис. 3. Определение средней площади участка профиля

Назначение участков профиля  $f_1 + f_2 + \dots + f_N$ , составляющих сечение, произвольно. Использование такого метода упрощает расчёты.

$h$  - высота очага деформации,  $h = (0,3 \div 0,5)D_k / 2$ ;

$\alpha$  - угол наклона образующей канала матрицы к её оси (для плоских матриц принимается  $\alpha = 60^\circ$  из-за образования «мёртвой» зоны);

$F_{ТП}$  - поверхность трения,  $F_{ТП} = \Pi l_{кал}$ ;

$\Pi$  - периметр профиля;

$l_{кал}$  - длина калибрующего пояска;

$\mu_M, \mu_{\Pi}, \mu_{КР}$  - коэффициенты трения на контактных поверхностях матрицы, калибрующем пояске и боковой поверхности контейнера (табл. 4).

Таблица 4

Условие прессования	$\mu_M$	$\mu_{II}$	$\mu_{KP}$
Со смазкой	0,15	0,10	0,12
Без смазки	0,45	0,20	0,50

$\sigma_{TH}$ ,  $\sigma_{TK}$ ,  $\sigma_{TC}$  - истинные пределы текучести соответственно в начале и конце очага пластической деформации и среднее по очагу деформации,

$$\sigma_{TC} = \sqrt{\sigma_{TH}\sigma_{TK}} \cdot$$

Предел текучести около боковой поверхности контейнера  $\sigma_{TKP} = 1,5\sigma_{TH}$  в условиях полного схватывания.

Значения  $\sigma_{TH}$  и  $\sigma_{TK}$  определяют с учётом  $T_{НАГР}$  и длительности пребывания металла в очаге деформации  $\tau$ .

Разогрев металла от деформации можно найти по приближенной формуле

$$\Delta T_{\varepsilon} = \frac{\sigma_T \ln \lambda}{c\rho},$$

где  $\sigma_T$  - предел текучести при температуре нагрева,

$c$  - средняя удельная теплоёмкость.

## ЗАДАЧИ

3.1. Определить пределы текучести в начале  $\sigma_{TH}$ , в конце очага деформации  $\sigma_{TK}$  и среднее по очагу деформации  $\sigma_{TC}$  при прессовании прутка диаметром  $d$  из контейнера диаметром  $D_k$  при температуре  $T$  со скоростью истечения  $V_{ист}$  (табл. 5). Материал – алюминий АД1 (рис. 4), матрица плоская.

Таблица 5

Вариант	$d$ , мм	$D_k$ , мм	$t$ , °C	$V_{ист}$ , мм/с
1	35	400	400	1000
2	40	400	450	500
3	14	350	500	100
4	65	400	400	1000
5	24	350	450	500
6	35	400	500	100
7	40	400	400	200
8	80	400	450	300
9	75	400	500	500

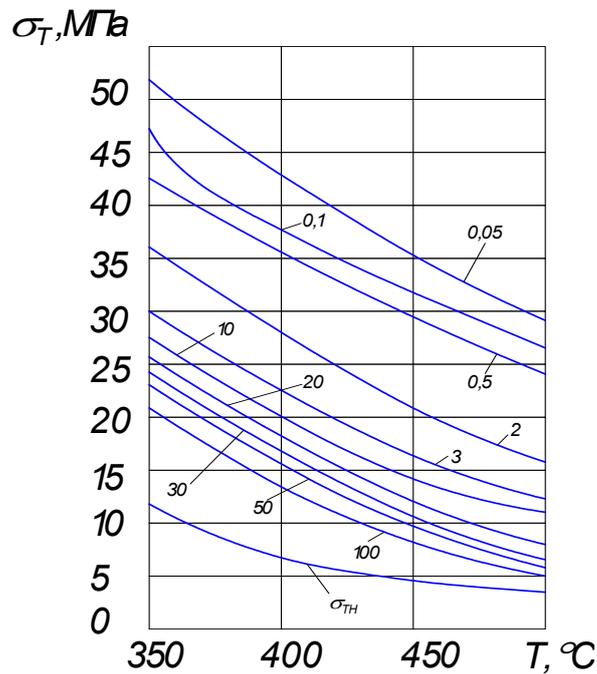


Рис. 4. Зависимость предела текучести от температуры нагрева заготовки  $T_n$ , длительности деформации  $\tau$  для сплава АД1

3.2. Определить среднюю температуру профиля при выходе из канал матрицы, если коэффициент вытяжки  $\lambda = 60$ , предел текучести  $\sigma_T = 80$  МПа при температуре нагрева заготовки  $T = 420^\circ\text{C}$ . В расчётах принять  $C = 870 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$ ,  $\rho = 2,72 / \text{см}^3$ .

3.3. При прессовании профилей из идеально пластического металла ( $\sigma_{TH} = \sigma_{TK} = \sigma_{TC} = \sigma_{TKP} = 50 \text{ МПа}$ ) из контейнера диаметром 130 мм усилие, необходимое для преодоления сил трения по контейнеру, составило 2,0 МН. Найти приближённое значение коэффициента трения  $\mu_{кр}$ , если заготовка имела длину 400 мм.

3.4. Найти предельную допустимую вытяжку при прессовании без трения в одноканальную матрицу с углом конусности  $60^\circ$  круглого прутка по данным (табл. 6).

Таблица 6

№ Варианта	Диаметр прутка, мм	$\sigma_{TC}$ , МПа	Пресс, МН
1	30	20	12,0
2	40	30	15,0
3	50	40	20,0
4	60	50	30,0

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

3.6. С увеличением угла конусности матрицы  $\alpha$  сдвиговые деформации возрастают, что приводит к увеличению составляющей полного усилия  $R_M$ , но одновременно уменьшается контактная поверхность и соответственно составляющая  $T_M$ . Найти зону оптимальных углов конусности матрицы при прессовании профиля с площадью поперечного сечения  $300 \text{ мм}^2$ , если сопротивление деформации постоянно по объёму заготовки и равно 60 МПа, коэффициент трения  $\mu_M = 0,2$ ,  $\lambda = 20$ .

3.7. Определить усилие, необходимое для осуществления дополнительной деформации при прессовании профилей сложной конфигурации (рис. 5) из контейнера диаметром 130 мм, если сопротивление деформации металла  $\sigma_{TC} = 50$  МПа, угол конусности матрицы  $30^\circ$ .

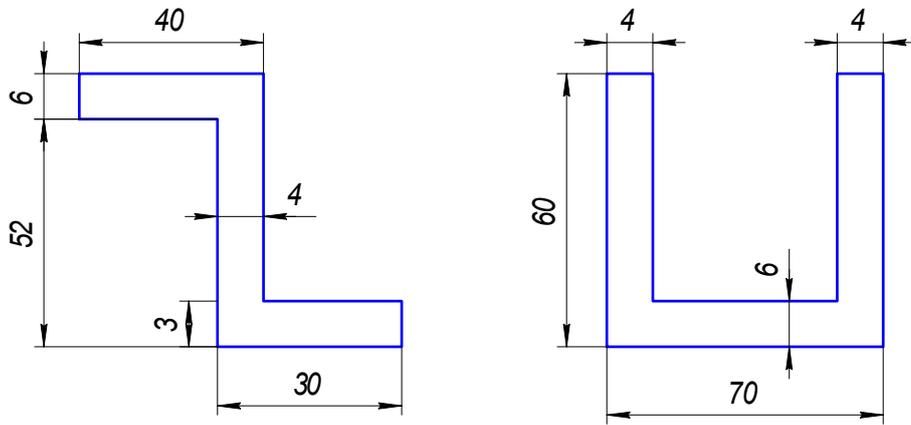


Рис. 5. Сечение профилей

3.8. Рассчитать полное усилие прессования прутка из сплава АД1 без смазки с параметрами, приведёнными в табл. 7:  $D_k$  - диаметр контейнера;  $L_p$  - длина распрессованного слитка;  $V_{ист}$  - скорость истечения;  $T$  - температура нагрева заготовки;  $\alpha$  - угол наклона образующей матрицы;  $l_{кал} = 0,1d$  - длина калибрующего пояска;  $d$  - диаметр прутка.

Таблица 7

Вариант	$D_k$ , мм	$L_p$ , мм	$d$ , мм	Метод прессования	$V_{ист}$ , мм/с	$T$ , °C	$\alpha$ , град
1	200	400	60	прямой	200	350	90
2	250	400	50	прямой	500	400	60
3	150	400	30	обратный	150	500	45
4	320	640	10	прямой	100	350	60
5	250	600	70	обратный	300	450	60
6	300	700	80	обратный	150	500	90
7	250	600	60	прямой	400	400	45
8	100	200	30	прямой	150	400	45
9	400	900	75	обратный	200	450	60
10	100	300	10	обратный	200	350	60

3.9. Сравнить эффективность по усилию процессов прямого и обратного прессования прутка из сплава АД1 без смазки по данным табл. 7.

3.10. Определить минимальный диаметр прутка из сплава АД1, изготавливаемого обратным методом на прессе усилием 12МН из контейнера диаметром 130 мм при  $L_p = 3D_k$ , температуре нагрева заготовки 450 °C, скорости истечения 30 м/мин.

#### 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕССОВОГО ИНСТРУМЕНТА

В состав прессового инструмента входят: матрица, контейнер, пресс-штемпель и пресс-шайба.

Матрица является наиболее важным технологическим инструментом, в котором совершается формирование внешней формы профиля.

Матрица представляет собой металлический диск с прорезанным в нём каналом по форме профиля. Её устанавливают в передней части контейнера, она замыкает его полость с заложённой заготовкой (рис. 1).

Основные элементы матрицы: обжимная часть (зеркало) 1, рабочий канал 2 с калибрующим пояском 3, выходная часть 4, посадочная 5 и опорная 6 поверхности (рис. 6).

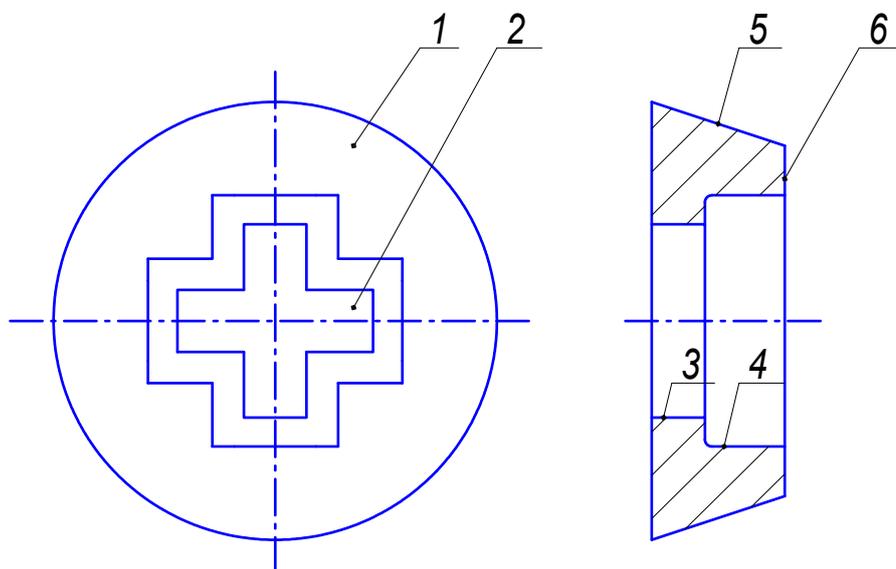


Рис. 6. Основные элементы конструкции матрицы

Длины калибрующих поясков находят по формуле Матвеева – Журавского:

$$\frac{l_j}{l_i} = \frac{\Pi_i}{F_i} \cdot \frac{F_j}{\Pi_j},$$

где  $\Pi_i$  и  $\Pi_j$  - периметры элементов  $i$  и  $j$ ;

$F_i$  и  $F_j$  - площади элементов  $i$  и  $j$ ;

$l_i$  и  $l_j$  - длины калибрующих поясков  $i$  и  $j$ .

Поперечное сечение канала разделяют на несколько элементов равной ширины, чаще всего прямоугольной формы или близкой к ней. При одинаковых скоростях истечения длины калибрующих поясков различных элементов  $i$  и  $j$  должны быть обратно пропорциональны их удельным периметрам. Задав длину калибрующего пояса для элемента с наибольшим удельным периметром в пределах  $3 \div 5$  мм, по формуле Матвеева – Журавского находят длины калибрующих поясков для остальных элементов.

Изложенная методика позволяет определить параметры поясков для одноканальных матриц только в первом приближении для простых профилей. Для сложных профилей и многоканальных матриц расчёт усложняется и часто окончательная обработка формы матрицы производится при прессовании опытных партий.

При расчёте матриц на прочность следует обратить особое внимание на её консольные части (участки 1,2 на рис. 7), упругий прогиб которых вызывает изменение толщины профиля и исключает тормозное влияние пояска и угла торможения.

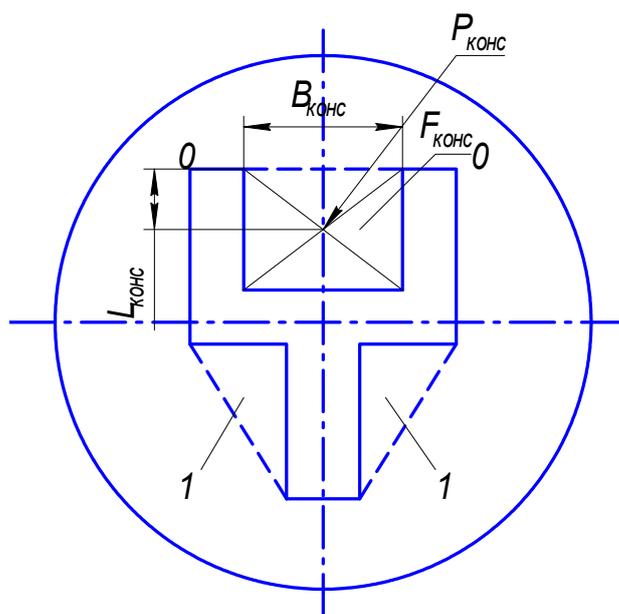


Рис. 7. К расчёту консольных участков матрицы

Расчёт консольных участков матрицы на изгиб проводят как для консольно закреплённой балки, нагруженной равномерно распределённой нагрузкой, по формуле

$$\sigma_{изг} = \frac{M_{изг}}{W_{изг}} \leq [\sigma_{изг}],$$

где  $\sigma_{изг}$  - напряжение изгиба;

$M_{изг}$  - изгибающий момент,

$M_{изг} = P_{конс} L_{конс}$  - расстояние от основания консоли до центра приложения равнодействующей силы  $P_{конс}$ , совпадающей с центром тяжести консольного участка в плане,  $P_{конс} = q_{II} \cdot F_{конс}$ ;

$q_{II}$  - удельное давление при максимальном усилии прессы,

$W_{изг}$  - момент сопротивления изгибу прямоугольного сечения матрицы,

$$W_{изг} = \frac{b_{конс} \cdot h^2}{6};$$

$b_{конс}$  - ширина консольного участка матрицы у основания консоли,

$h$  - высота матрицы,

$[\sigma_{изг}]$  - допускаемое напряжение на изгиб материала матрицы,

$$[\sigma_{изг}] \approx 0,7\sigma_{\sigma}.$$

Обычно высоту матрицы назначают из конструктивных соображений,  $h = (0,3 \div 0,5) D_k$ , а затем проводят проверочный расчёт.

Определение исполнительных размеров канал матрицы  $A_i$  производится с учётом номинальных размеров сечения профиля  $A_H$ , плюсовых допусков на эти размеры  $M$ , материала матрицы и условий правки по формуле

$$A_i = A_H + M + (K_V + K_P + K_T) A_H,$$

где  $K_V$  - коэффициент утягивания размера сечения при прессовании (для профилей, имеющих удлинённые участки: «уголок», «швеллер» и т.д.);

$K_P$  - коэффициент уменьшения размера при правке растяжением (табл. 8);

$K_T$  - коэффициент температурной усадки профиля,

$$K_T = T_{заг} \alpha_{заг} - T_{матр} \alpha_{матр},$$

где  $T_{заг}$  и  $T_{матр}$  - температуры нагрева заготовки и матрицы, при этом

$$T_{заг} - T_{матр} = 30 \div 50^\circ C;$$

$\alpha_{заг}$  и  $\alpha_{матр}$  - коэффициенты линейного расширения прессуемого металла (для алюминиевых сплавов  $\alpha = 25 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C$ ) и материала матрицы (для сталей  $\alpha_1 = 14 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C$ ).

Значения коэффициентов  $K_y$  и  $K_p$ 

Размер элемента, мм	$K_y$	$K_p$
1-3	0,020	0,020
4-20	0,010	0,010
21-40	0,0065	0,008
41-60	0,0055	0,008
61-80	0,004	0,006
81-120	0,0035	0,005
121-200	0,0025	0,004

Допуски на размеры составляют приблизительно: для линейных размеров до 10 мм – 1,0%, для линейных размеров выше 10 мм – 0,8%. Расчётные размеры канала матрицы округляют с точностью до 0,1 мм. Более точно допуски на размеры берут из ГОСТа 8617-81.

Пресс-штемпель (рис. 1.) рассматривают как сжатый и консольно закреплённый стержень. Обычно продольная сила смещена относительно оси пресс-штемпеля из-за отсутствия идеальной центровки на величину эксцентриситета  $l$ . Поэтому при расчёте пресс-штемпеля необходимо определять напряжения от сжатия и от продольного изгиба (рис. 8).

Усилие прессы  $P$ , передаваемое пресс-штемпелем на заготовку, вызывает в нём напряжение сжатия

$$\sigma' = \frac{P}{F_{II}}$$

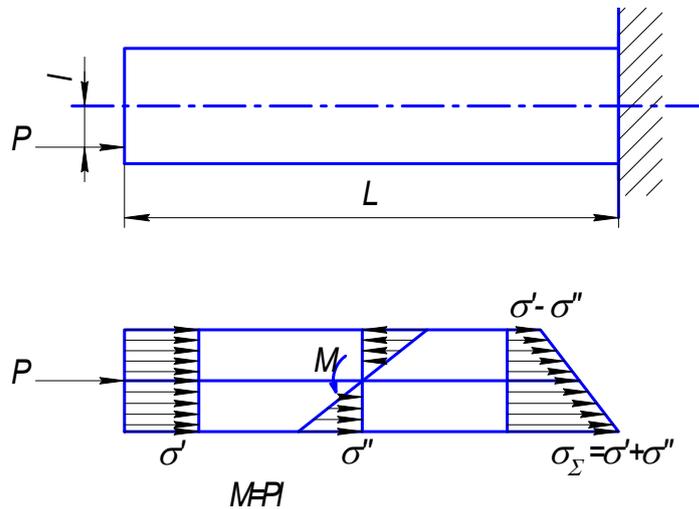


Рис. 8. Схема к расчёту пресс-штемпеля на прочность

где  $F_{II}$  - площадь поперечного сечения пресс-штемпеля,

$$F_{II} = \frac{\pi D_{II}^2}{4},$$

$D_{II}$  - диаметр пресс-штемпеля.

При эксцентрично приложенной нагрузке в пресс-штемпеле возникает дополнительное изгибающее напряжение  $\sigma''$  от изгибающего момента

$$M = P_{np} \cdot l, \quad l = \frac{D_k - D_{II}}{4}, \quad \sigma'' = \frac{M}{W},$$

где  $W$  - момент сопротивления изгибу; для круга  $W = 0,1D_{II}^3$ .

На эпюрах (рис. 8.) видно, что полное напряжение на пресс-штемпеле равно сумме напряжений от силы  $P$  и изгибающего момента  $M$ .

Полное напряжение в пресс-штемпеле сравнивают с допустимым:

$$\sigma_{II} = \sigma' + \sigma'' \leq [\sigma], \quad \text{где } [\sigma] = \sigma_e.$$

Значение предела прочности  $\sigma_e$  определяют при температуре разогрева металла пресс-штемпеля, не превышающей  $250^\circ C$ .

Диаметр пресс-штемпеля выполняют на  $10 \div 20$  мм меньше диаметра втулки контейнера  $D_k$ . Причём меньшие значения назначают для небольших по габаритам контейнеров, большие - для крупногабаритных контейнеров.

Для увеличения сопротивления продольному изгибу пресс-штемпель рекомендуется делать ступенчатым с утолщённой частью рабочего стержня (рис.1).

Пресс-шайба применяется при прессовании и предохраняет пресс-штемпель от теплового воздействия со стороны деформируемого металла. Пример пресс-шайбы приведён на рис. 9.

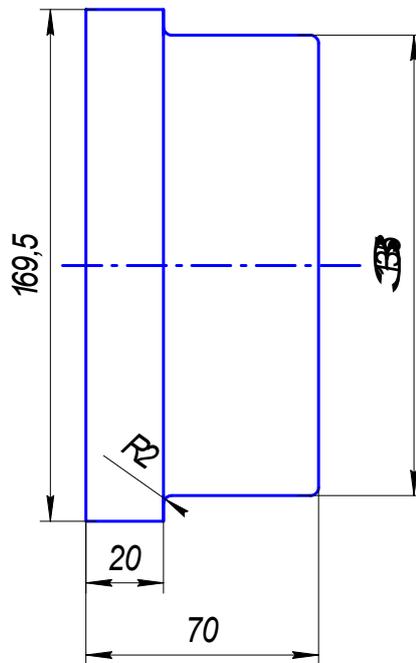


Рис. 9. Пресс-шайба

Основными технологическими размерами пресс-шайбы являются рабочий диаметр  $D_{ш}$  и высота  $h_{ш}$ . Диаметр пресс-шайбы принимают равным диаметру отверстия внутренней втулки  $D_k$  за вычетом величины технологического зазора  $a$ :  $D_{ш} = D_k - a$ , где  $a = 0,1 \div 0,5$  мм. Высота пресс-шайбы принимается  $h_{ш} \leq (0,3 \div 0,5) D_{ш}$ . Пресс-шайбы при конструировании рассчитывают на сжатие. При этом принимают допустимое удельное давление сжатия равным  $(0,9 \div 0,95) \sigma_T$  выбранной стали при заданных температурных условиях.

Контейнер (рис. 1) при прессовании профилей испытывает высокие радиальные нагрузки, уровень которых может достигать 1000 МПа и выше. Для того, чтобы противостоять таким нагрузкам, контейнеры делают сборными (бандажированными), состоящими из двух и более втулок (рис. 10). Втулки вставляются одна в другую с натягом, который достигается горячей посадкой. В многослойных контейнерах сжимающие напряжения от посадки втулок с натягом компенсируют часть рабочих растягивающих напряжений, возникающих при прессовании металла, что повышает прочность контейнера.

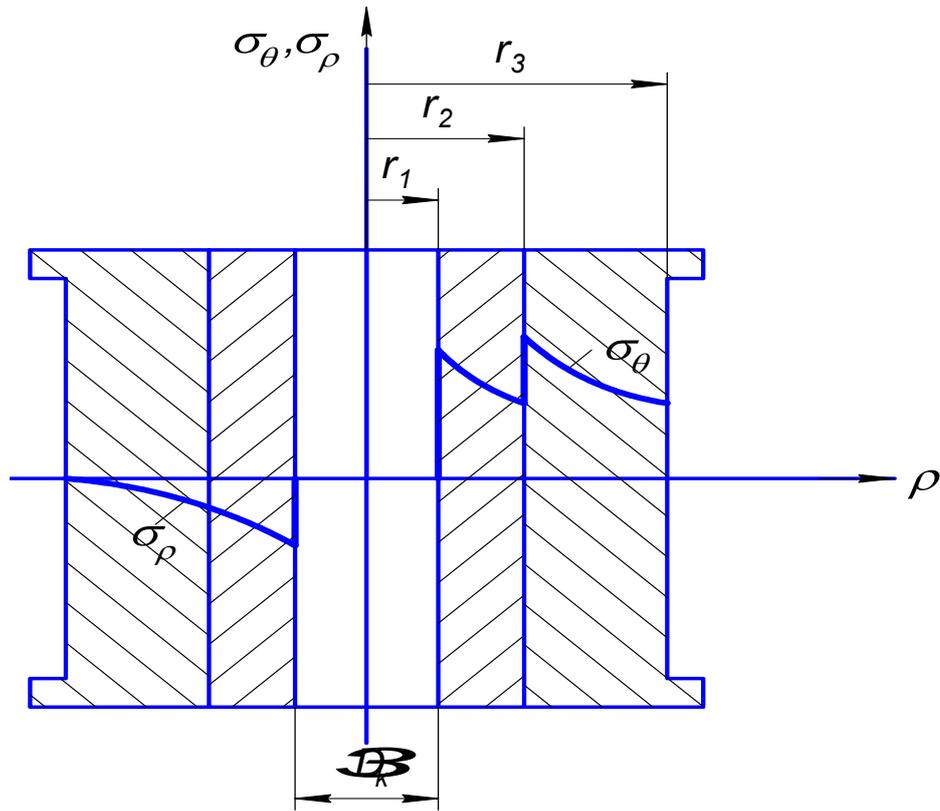


Рис. 10. Распределение суммарных напряжений от внутреннего давления и горячей посадки в двухслойном контейнере

Расчёт контейнера основан на известных методиках определения окружных ( $\sigma_\theta$ ) и радиальных ( $\sigma_\rho$ ) напряжений в толстостенных цилиндрах по формулам Ляме

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_\theta \\ \sigma_\rho \end{array} \right\} = \frac{r_1^2 P_1 - r_2^2 P_2}{r_2^2 - r_1^2} \pm \frac{(P_1 - P_2) r_1^2 r_2^2}{(r_2^2 - r_1^2) \rho^2},$$

где  $r_1$  и  $r_2$  - внутренний и наружный радиусы втулки контейнера соответственно;

$P_1$  и  $P_2$  - внутреннее и внешнее давления соответственно.

1. Втулка нагружена внутренним давлением. В этом случае  $\overline{P}_2 = 0$ .

Формулы Ляме принимают вид

$$\sigma_\rho = \frac{\overline{P}_1 r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( 1 - \frac{r_2^2}{\rho^2} \right),$$

$$\sigma_\theta = \frac{\overline{P}_1 r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( 1 + \frac{r_2^2}{\rho^2} \right).$$

На рис. 11 а показаны эпюры распределения радиального и окружного напряжений по толщине стенки втулки при нагружении внутренним давлением.

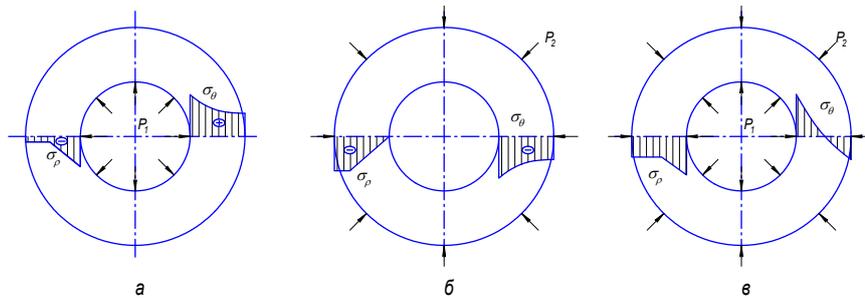


Рис. 11. Распределение радиальных  $\sigma_\rho$  и окружных  $\sigma_\theta$  напряжений по сечению трубы

Окружное напряжение является растягивающим, а радиальное – сжимающим. У внутренней поверхности  $\sigma_\theta$  достигает наибольшего значения

$$\sigma_{\theta(\rho=r_1)} = \overline{P}_1 \frac{r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}.$$

Радиальное напряжение при этом равно -  $\overline{P}_1$ .

2. Втулка нагружена только наружным давлением. В этом случае  $\overline{P}_1 = 0$ . Выражения Ляме принимают такой вид:

$$\sigma_\rho = \frac{\overline{P}_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( 1 - \frac{r_1^2}{\rho^2} \right),$$

$$\sigma_\theta = \frac{\overline{P}_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( 1 + \frac{r_1^2}{\rho^2} \right).$$

Эпюры напряжений по толщине стенки втулки для этого случая нагружения представлены на рис. 11 б. Окружное и радиальное напряжения – сжимающие напряжения.

3. Втулка нагружена одновременно наружным и внутренним давлением. Соотношение между внутренним и наружным давлениями полагаем таким, что внутренний и наружный радиусы втулки увеличиваются. Эпюры напряжений для этого случая нагружения приведены на рис. 11 в. Окружные напряжения около внутренней поверхности – растягивающие, около наружной поверхности – сжимающие.

4.1. Найти рациональное положение канала на зеркале матрицы для профилей с поперечными сечениями (рис. 12).

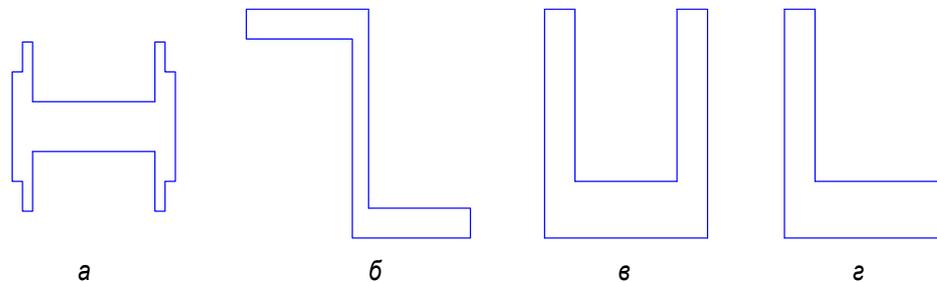
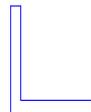
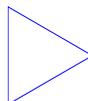
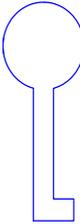
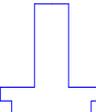
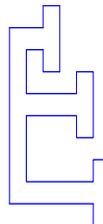


Рис. 12

4.2. Определить рациональное расположение каналов в матрице для многониточного прессования асимметричных профилей, обеспечивающее их симметрию относительно центра матрицы, по табл. 9.

Таблица 9

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

4.3. Разбить сечение профилей (рис. 13) на несколько элементов равной ширины. Среди них найти элементы с наибольшим и наименьшим удельным периметром. Рассчитать длины калибрующих поясков по элементам и дать их развёртку по периметру профиля. Решение 4.3(а).

Разделение сечения профиля на элементы равной ширины I, II, III показано на рис. 14. Удельные периметры по элементам равны:

$$\frac{\Pi_I}{F_I} = \frac{15+15+15+15}{225} = 0,27; \quad \frac{\Pi_{II}}{F_{II}} = \frac{10+10+8+8}{80} = 0,45;$$

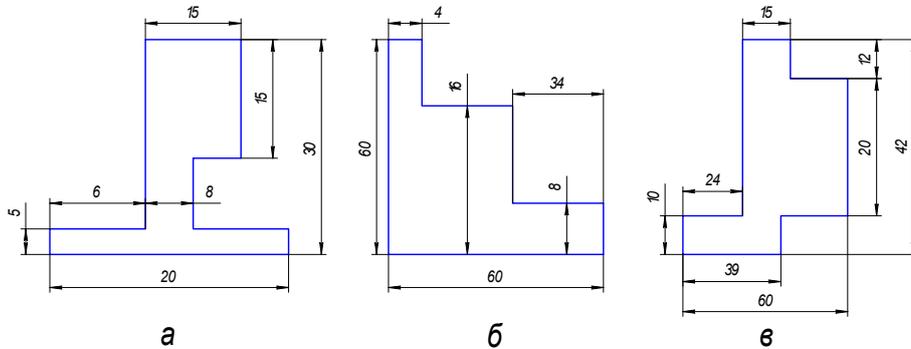


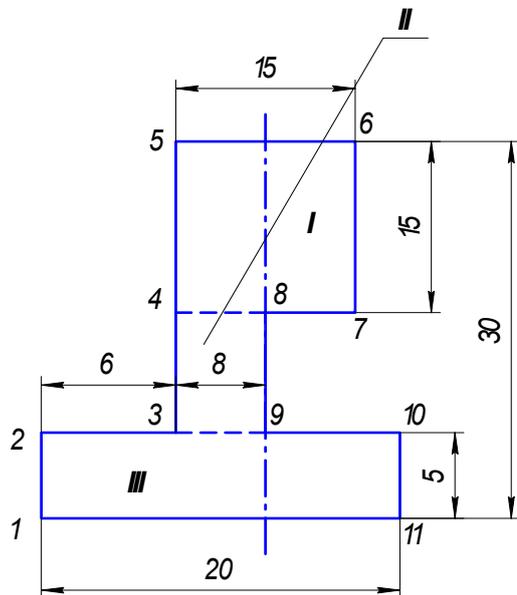
Рис. 13. Поперечные сечения профилей

$$\frac{\Pi_{III}}{F_{III}} = \frac{20+20+5+5}{100} = 0,5.$$

Задавшись длиной калибрующего пояска для элемента с наибольшим удельным периметром в пределах  $3 \div 5$  мм, по формуле Матвеева – Журавского найдём длины калибрующих поясков для остальных элементов. Приняв  $l_{III} = 5$  мм, получим

$$l_I = l_{III} \frac{\Pi_{III} / F_{III}}{\Pi_I / F_I} = 5 \cdot \frac{0,5}{0,27} = 9,3 \text{ мм},$$

$$l_{II} = l_{III} \frac{\Pi_{III} / F_{III}}{\Pi_{II} / F_{II}} = 5 \cdot \frac{0,5}{0,45} = 5,6 \text{ мм}.$$



### Развёртка калибрующих поясков

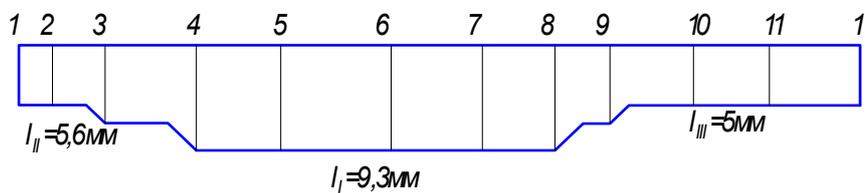


Рис. 14. К расчёту размеров поясков

По найденным значениям строят развёртку калибрующих поясков по контуру канала матрицы. При расчёте по этой методике получается одинаковая длина пояска вдоль всего периметра элемента. При переходе от одного элемента к другому выполняют главный переход с учётом среднего расчётного значения длины пояска.

4.4. Выбрать способы выравнивания скоростей истечения отдельных элементов сечения профиля, представленных в табл. 10.

Таблица 10

Вариант	1	2	3	4
Сечение				

4.5. Провести расчёт контрольного участка матрицы на изгиб для прессования прутков  $\phi 20$  мм при удельном давлении  $p = 750$  МПа,  $l_{\text{кат}} = 5$  мм, диаметре выходной части  $\phi = 24$  мм.

4.6. Провести расчёт консольных элементов матриц на изгиб и срез по данным задачи 4.3, если удельное давление в очаге пластической деформации  $\bar{P} = 600$  МПа,  $D_k = 100$  мм.

4.7. Определить исполнительные размеры очка матрицы для прессования профиля типа «тавр» из сплава Д16 (рис. 15). Материал матрицы – сталь 3Х2В8Ф. Температура нагрева заготовки  $450^\circ\text{C}$ , матрицы  $400^\circ\text{C}$ .

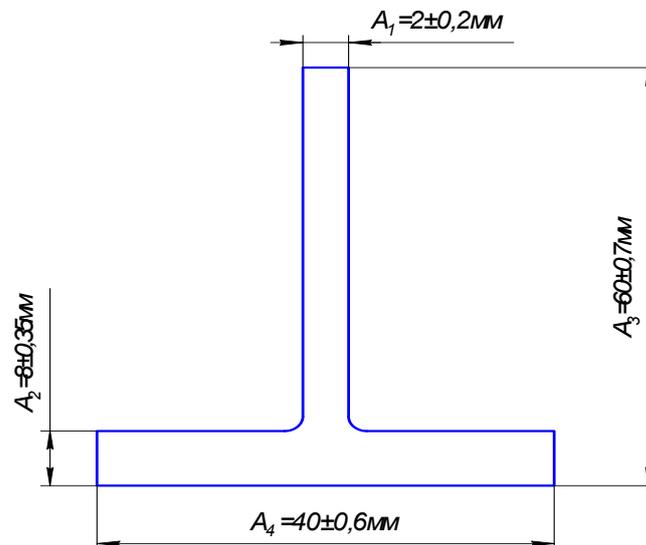


Рис. 15. Поперечное сечение таврового профиля

Решение:

Для сплава Д16:

$$\alpha_{заг} = 25 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C .$$

Для стали 3Х2В8Ф:

$$\alpha_{матр} = 14 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C .$$

Определяем коэффициент  $K_T$ :

$$K_T = T_{заг} \cdot \alpha_{заг} - T_{матр} \cdot \alpha_{матр} .$$

Принимаем  $K_T = 0,006$ .

Определяем исполнительные размеры очка матрицы:

1. Для толщины полки  $A_1 = 2^{\pm 0,2}$

$$A_1 = 2 + 0,2 + (0,02 + 0,02 + 0,006) \cdot 2 = 2,29 .$$

2. Для толщины полки  $A_2 = 8^{\pm 0,35}$

$$A_2 = 8 + 0,35 + (0,01 + 0,01 + 0,006) \cdot 8 = 8,55 .$$

3. Для размера  $A_3 = 60^{\pm 0,7}$

$$A_3 = 60 + 0,7 + (0,0055 + 0,008 + 0,006) \cdot 60 = 61,87 .$$

4. Для размера  $A_4 = 40^{\pm 0,6}$

$$A_4 = 40 + 0,6 + (0,0065 + 0,008 + 0,006) \cdot 40 = 41,4 .$$

Ввиду того, что обычно расчётные размеры очка матрицы округляются с точностью до 0,1 мм, для рассматриваемого профиля можно назначить следующие исполнительные размеры:  $A_1 = 2,3$  мм;  $A_2 = 8,6$  мм;  $A_3 = 61,9$  мм;  $A_4 = 41,4$  мм.

4.8. Указать факторы, определяющие исполнительные размеры очка матрицы. Определить исполнительные размеры для профилей, представленных в задаче 4.3.

4.9. 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  $\sigma_g / T = 450^\circ C = 800$  МПа. Диаметр выходной части канала равен 26 мм, а высота пояска 3 мм. Указать причину выхода матрицы из строя и провести соответствующие расчёты.

4.10. Определить диаметр наименьшего контейнера на прессе усилием 150 МН, если материал пуансона выдерживает напряжение на сжатие 1000 МПа.

4.11. На прессе усилием 12,0 МН установлен пресс-штемпель диаметром 150 мм, изготовленный из высокопрочной стали 3Х2В8Ф с  $\sigma_g = 1300$  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 расчёт на прочность.

4.12. Стальной контейнер, внешний диаметр которого 300 мм и толщина стенки 60 мм, подвергнут внутреннему давлению  $p_1 = 300$  МПа. Определить величину наибольших растягивающих и сжимающих напряжений. Построить эпюры  $\sigma_\theta, \sigma_\rho$ .

4.13. В задаче 4.12 поменять условие, т.е. считать, что действует не внутреннее, а внешнее давление. Определить те же величины.

4.14. Принять, что стальной контейнер (задача 4.12) подвергнут не только внутреннему  $p_1 = 300$  МПа, но и внешнему давлению  $p_2 = 100$  МПа. Определить те же величины.

4.15. Определить напряжения в стальном контейнере, состоящем из втулки ( $r_1 = 80$  мм,  $r_2 = 180$  мм) и корпуса ( $r_3 = 270$  мм). Натяг по диаметру при посадке втулки  $2\delta = 0,3$  мм, а внутреннее давление  $P = 500$  МПа. Построить эпюры напряжений.

4.16. Дана система, состоящая из корпуса и двух втулок с размерами:  $r_1 = 60$  мм,  $r_2 = 80$  мм,  $r_3 = 120$  мм и  $r_4 = 220$  мм. Натяг между первой и второй втулками  $2\delta_1 = 0,2$  мм, а между втулкой и корпусом  $2\delta_2 = 0,3$  мм. Внутреннее давление  $p_1 = 600$  МПа. Корпус и втулка стальные. Определить напряжения и построить их эпюры.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грабарник, Л.М. Прессование цветных металлов и сплавов / Л.М. Грабарник, А.А. Нагайцев. – М.: Металлургия, 1983. – 240 с.
2. Ерманок, М.З Производство профилей из алюминиевых сплавов / М.З. Ерманок, В.И. Фейгин, Н.А. Сухоруков. - М.: Металлургия, 1977. – 264 с.
3. Жолобов, В.В. Инструмент для горячего прессования металлов /В.В. Жолобов, Г.И. Зверев. – М.: Машиностроение, 1965. – 163 с.
4. Жолобов, В.В. Прессование металлов / В.В. Жолобов, Г.В. Зверев. - М.: Металлургия, 1971. – 456 с.
5. Перлин, И.Л. Теория прессования металлов / И.Л. Перлин, Л.Х. Райтбарг. - М.: Металлургия, 1975. – 448 с.
6. Райтбарг, Л.Х. Производство прессованных профилей / Л.Х. Райтбарг. – М.: Металлургия, 1984.
7. Щерба, В.Н. Прессование алюминиевых сплавов / В.Н. Щерба. – М.: Интернет Инжиниринг, 2001 – 768 с.
8. Щерба, В.Н. Технология прессования металлов / В.Н. Щерба, Л.Х. Райтбарг. - М.: Металлургия, 1995.

Учебное издание

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ  
ПО ТЕХНОЛОГИИ ПРЕССОВАНИЯ

*Методические указания к практическим занятиям*

Составители **Каргин Владимир Родионович,**  
**Каргин Борис Владимирович**

Редактор Ю. Н. Литвинова  
Доверстка Ю. Н. Литвинова

Подписано в печать 18.10.2008. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 2,0

Тираж 150 экз. Заказ . Арт. С-63/2008

Самарский государственный  
аэрокосмический университет.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34

---

Изд-во Самарского государственного  
аэрокосмического университета.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34