

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

В.Р. КАРГИН, А.Ф. ГРЕЧНИКОВА, Я.А. ЕРИСОВ,

Ю.С. СТАРОСТИН

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕССОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования укрупненной группы специальностей и направлений 150000 Metallургия, машиностроение и материалобработка

САМАРА
Издательство СГАУ
2015

УДК СГАУ: 6(075)
ББК СГАУ: 623я7
К 218

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. А.П. Быков,
канд. техн. наук, проф. В.К. Моисеев

Каргин, В.Р.

К218 Теория и технология прессования алюминиевых сплавов: учеб. пособие / *В.Р. Каргин, А.Ф. Гречникова, Я.А. Ерисов, Ю.С. Старостин* – Самара: Изд-во СГАУ, 2015. – 80 с.

ISBN 978-5-7883-1007-7

В учебном пособии рассмотрены основы теории и технологии производства профилей из легких сплавов прессованием. Показаны технологические особенности процесса и механизма истечения при выдавливании длинномерных изделий, приведен основной сортамент профилей. Описаны особенности деформирования металлов различными способами прессования. Даны рекомендации по определению основных показателей процесса: размеров заготовки, температурно-скоростных условий, выхода годного, производительности процесса и др. Изложен вывод формул, и приведены развернутые и сокращенные варианты определения усилия прессования. Дана схема выбора пресса. Приведены методики расчета инструмента по условиям технологии, а также прочности (матрица, пресс-штемпель, контейнер и др.).

Пособие предназначено для бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям подготовки «Машиностроение» и «Металлургия».

УДК СГАУ: 6(075)
ББК СГАУ: 623я7

ISBN 978-5-7883-1007-7

© СГАУ, 2015

*Памяти доктора технических наук,
профессора кафедры «Обработка металлов давлением»,
заслуженного изобретателя Российской Федерации
Старостина Юрия Степановича
(к 75-летию со дня рождения)*

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Основные сведения	6
1.1 Сущность процесса прессования. Разновидности процесса	6
1.2 Технологические особенности прессования	7
1.3 Основные показатели процесса прессования	8
2 Прессование как процесс изготовления изделий	12
2.1 Сплавы, используемые при прессовании	12
2.2 Сортамент прессуемых изделий	13
2.3 Классификация способов прессования	14
3 Прессование прутка	15
3.1 Стадии прессования	15
3.2 Характер истечения прутка	18
3.3 Температурно-скоростные условия прессования	21
3.4 Определение сопротивления деформации	23
3.5 Выбор вытяжки и диаметра контейнера	24
3.6 Выбор скорости прессования	25
3.7 Расчет размеров заготовки	27
3.8 Определение выхода годного	28
4 Силовые условия прессования круглого прутка	30
4.1 Напряженно-деформированное состояние	30
4.2 Существующие методы определения усилия прессования	31
4.2.1 Инженерный метод	31
4.2.2 Метод линий скольжения	32
4.2.3 Метод работ	32
4.2.4 Метод конечных элементов	33
4.2.5 Экспериментальный метод	33
4.3 Составляющие усилия прессования	35
4.4 Вывод инженерных формул для усилия прессования	37
4.4.1 Составляющая силы трения о контейнер	37
4.4.2 Составляющая силы трения о поверхность матрицы	37
4.4.3 Составляющая силы трения по калибрующему пояску	39
4.4.4 Составляющая для осуществления собственно деформации пластического очага	40
4.5 Упрощенные формулы определения усилия прессования	43
4.5.1 Первая группа формул	44
4.5.2 Вторая группа формул	44

5 Прессование сплошных профилей	46
5.1 Особенности истечения профилей	46
5.2 Проектирование канала матрицы	49
5.2.1 Выравнивание скоростей истечения	49
5.2.2 Проектирование исполнительных размеров канала матрицы	54
6 Инструмент для прессования сплошных профилей	56
6.1 Общие сведения: разновидности; условия эксплуатации; материалы	56
6.2 Матрица: конструкция и расчет	57
6.2.1 Расчет калибрующего пояса	58
6.2.2 Расчет матрицы на прочность	60
6.3 Пресс-шайба: конструкция и расчет	61
6.4 Пресс-штемпель: конструкция и расчет	63
6.5 Контейнер: конструктивное исполнение и расчет на прочность	65
7 Наладка инструмента для прессования изделий на гидравлическом прессе	72
8 Цикл прессования. Производительность прессов	74
8.1 Элементы цикла прессования	74
8.2 Производительность прессов	76
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	79

1 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Сущность процесса прессования. Разновидности процесса

Прессование – это процесс выдавливания металла из замкнутого объема контейнера через отверстие по форме изделия.

Схема процесса прессования приведена на рис. 1.

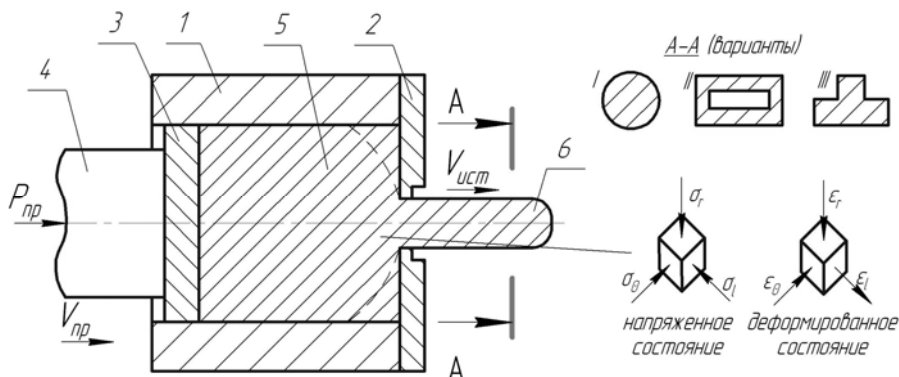


Рис. 1. Прямое прессование: 1 – контейнер; 2 – матрица; 3 – пресс-шайба; 4 – пресс-штемпель; 5 – заготовка (слиток); 6 – изделие; $V_{пр}$ – скорость прессования; $V_{ист}$ – скорость истечения

Контейнер представляет собой толстостенную втулку, выдерживающую давление прессования.

Осуществляя давление на заготовку 5 через пресс-штемпель 4 и пресс-шайбу 3, помещенную в контейнер, по всему объему заготовки создают всестороннее неравномерное сжатие с напряжениями: σ_r – радиальным; σ_θ – тангенциальным; σ_l – осевым. За счет напряжений сжатия металл выдавливается через матрицу 2 в виде профиля 6, получая две деформации сжатия (ϵ_r и ϵ_θ) и одну (наибольшую) деформацию растяжения ϵ_l .

Всестороннее неравномерное сжатие благоприятно для деформирования любых материалов. Поэтому прессованием изготавливают изделия как из пластичных, так и из малопластичных и хрупких мате-

риалов. Схема напряженного состояния – всестороннее неравномерное сжатие – является важнейшим достоинством процесса.

Существуют различные виды процесса выдавливания: прямое, обратное (рис. 2 а) и боковое (рис. 2 б).

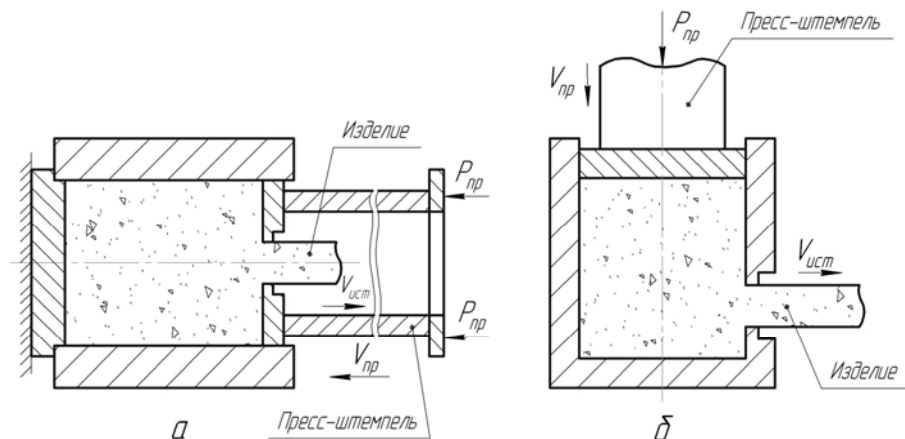


Рис. 2. Виды процесса выдавливания

При прямом прессовании выход (истечение) изделия происходит в направлении движения пресс-штемпеля. При обратном прессовании выход изделия происходит в направлении, обратном движению пресс-штемпеля. При боковом прессовании истечение металла происходит в направлении, перпендикулярном движению пресс-штемпеля.

1.2 Технологические особенности прессования

Исходная заготовка для прессования имеет диаметр меньший, чем у контейнера. Заготовку свободно вводят внутрь контейнера, после чего производят выдавливание заготовки в изделие.

Перед окончанием процесса оставляют пресс-остаток, т.е. часть заготовки недопрессовывают. Этот недопрессованный участок (рис. 3) заготовки в дальнейшем отделяют от отпрессованного изделия. Передний и задний концы изделия отличаются по свойствам от основной части изделия, поэтому их также удаляют. Основную часть изделия разрезают на необходимые сдаточные длины.

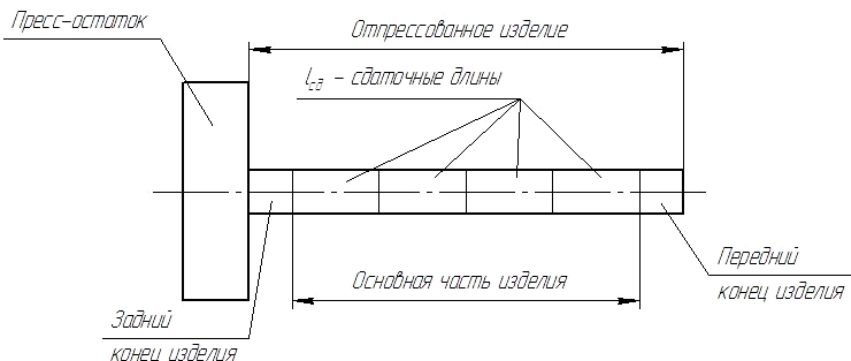


Рис. 3

Таким образом, каждая прессовка сопровождается отходами. Выход годного металла процесса прессования меньше, чем в других процессах получения длинномерных изделий. В этом заключается основной недостаток прессования.

Скорости прессования меньше, чем при прокатке, поэтому съем готовой продукции в единицу времени с единицы оборудования меньше. Это второй недостаток прессования.

Создание всестороннего неравномерного сжатия при прессовании более энергоёмко, чем при других процессах. Это третий недостаток прессования.

Прессование, как правило, ведут с нагревом заготовки. Это четвертый недостаток процесса.

Вместе с тем достоинства процесса превышают его недостатки. Главные достоинства прессования, кроме создания всестороннего неравномерного сжатия: мобильность процесса (возможность легкой смены инструмента); однопроходность схемы деформирования (получение профиля сложного сечения за одну операцию).

1.3 Основные показатели процесса прессования

Показатели процесса прессования выражают через геометрические соотношения размеров очага деформации, показанных на рис. 4. К основным показателям процесса относятся: вытяжка, скорость истечения, скорость прессования, длительность деформации, температура прессования, давление прессования, сопротивление металла деформации, высота пресс-остатка.

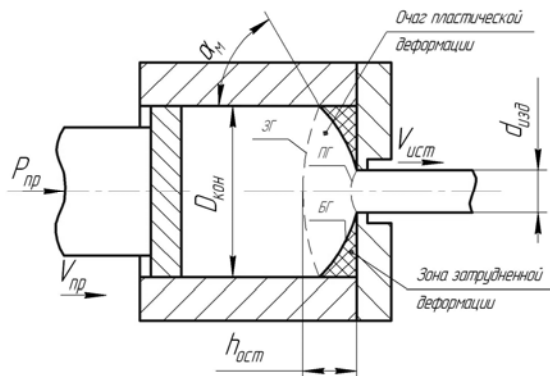


Рис. 4. Соотношение размеров очага деформации

В установившемся процессе прессования в углах контейнера возле матрицы образуются зоны затрудненной деформации (рис. 4). Максимальная высота этих зон определяет **высоту пресс-остатка** $h_{ост}$:

$$h_{ост} = \frac{D_{кон} - d_{изд}}{2 \operatorname{tg} \alpha_m}. \quad (1.1)$$

Основной показатель – **вытяжка**. Это отношение площади сечения распрессованного слитка к площади сечения изделия, или отношение площадей сечения контейнера и изделия:

$$\lambda = \frac{F_{кон}}{f_{изд}}. \quad (1.2)$$

Для конкретных случаев вытяжка выражается формулами:

$$\lambda = \frac{D_{кон}^2}{d_{изд}^2} \quad (\text{круглый пруток}); \quad (1.2a)$$

$$\lambda = \frac{\pi D_{кон}^2}{4 f_{изд}} \quad (\text{некруглый профиль}). \quad (1.2б)$$

В процессе прессования объем, находящийся в состоянии пластического течения, т.е. **очаг пластической деформации** (ОПД), пред-

ставляет собой часть сферы. ОПД ограничен боковой поверхностью, близкой к конусу, и границами входа и выхода из очага в виде сфер разного радиуса, имеющих в плоскости чертежа следы в виде дуг окружностей.

Объем очага пластической деформации может быть вычислен по формуле объема сферического сектора:

$$W_{\text{ОПД}} = \frac{\pi}{12} \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{\sin^3 \alpha} \cdot (D_{\text{кон}}^3 - d_{\text{изд}}^3), \quad (1.3)$$

либо приближенно, как объем усеченного конуса:

$$W_{\text{ОПД}} \cong \frac{1}{3} \pi (R^2 + Rr + r^2) \cdot h_{\text{ост}}, \quad (1.4)$$

где $R = D_{\text{кон}}/2$ и $r = d_{\text{изд}}/2$.

Если сечение изделия представляет собой фигуру, отличную от круга, то считают $d_{\text{изд}} \approx d_{\text{нр}}$ и рассчитывают приведенный диаметр:

$$d_{\text{нр}} = \sqrt{\frac{4f_{\text{изд}}}{\pi}}. \quad (1.5)$$

Деформацию в очаге пластической деформации характеризуют **скоростью деформации**, которую выражают формулой:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\ln \lambda}{\tau_{\text{деф}}} = \frac{i}{\tau_{\text{деф}}}, \quad (1.6)$$

где i – интегральный показатель деформации;

$\tau_{\text{деф}}$ – время перемещения частицы металла по очагу пластической деформации (длительность деформации).

Длительность деформации находят по формуле:

$$\tau_{\text{деф}} = \frac{W_{\text{ОПД}}}{W_{\text{сек}}}, \quad (1.7)$$

где $W_{\text{сек}}$ – объем, вытекающий из матрицы за одну секунду.

$$W_{\text{сек}} = f_{\text{изд}} V_{\text{ист}}, \quad (1.8)$$

$$V_{уст} = V_{пр} \lambda, \quad (1.8a)$$

где $V_{уст}$ – **скорость истечения**, т.е. скорость выхода изделия из матрицы; $V_{пр}$ – **скорость прессования**, т.е. скорость движения пресс-штемпеля.

Приближенно, с учетом формул (1.1), (1.4) и (1.8), можно считать:

$$\tau_{деф} \cong \frac{\pi (R^2 + Rr + r^2) (D_{кон} - d_{изд})}{6 \cdot f_{изд} \cdot V_{уст} \cdot tg \alpha_M}, \quad (1.9)$$

$$\tau_{деф} \cong \frac{(\lambda + \sqrt{\lambda} + 1) (D_{кон} - d_{изд}) \cdot d_{изд}^2}{7,7 \cdot f_{изд} \cdot V_{уст} \cdot tg \alpha_M}. \quad (1.9a)$$

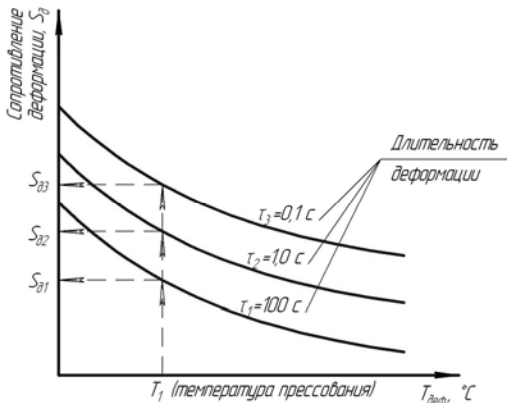


Рис. 5

Значение скорости деформации необходимо для определения сопротивления деформации ОПД в соответствии с динамикой процесса прессования. Величина сопротивления деформации используется при определении усилия прессования и зависит от скорости прессования. При разной скорости деформации сопротивление деформации S_δ различно, что в виде примера показано на рис. 5: с повышением скорости прессования длительность деформации уменьшается, сопротивление деформации металла S_δ увеличивается ($S_{\delta 3} > S_{\delta 2} > S_{\delta 1}$).

2 ПРЕССОВАНИЕ КАК ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ

2.1 Сплавы, используемые при прессовании

Прессованием обрабатывают алюминиевые, медные, магниевые, титановые, цинковые и другие сплавы, а также стали. В данном курсе рассматривается теория и технология получения изделий из алюминиевых сплавов.

Алюминиевые сплавы обладают малой плотностью ($\rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$) при относительно высокой прочности ($\sigma_6^{\max} \approx 700 \text{ МПа}$), поэтому они находят широкое применение в технике и особенно в авиации.

Классификацию алюминиевых сплавов осуществляют по следующим признакам:

1) по прочности: сплавы низкой прочности ($\sigma_6 < 300 \text{ МПа}$) – АД1, АМц, АМг2, АД31, АМг3; средней прочности ($\sigma_6 = 300 \div 450 \text{ МПа}$) – АМг6, Д1, 1915, Д16; высокой прочности ($\sigma_6 > 450 \text{ МПа}$) – АК6, В95, В96ц;

2) по коррозионной стойкости: стойкие к межкристаллитной коррозии (например, АД1, АМц, АД31, АМг2, АМг3, АВ) и нестойкие (например, Д16, В96ц и др.);

3) по свариваемости: легко (хорошо) свариваемые плавлением без потери механических свойств (например, АД1, АМц, АМг2, АМг3, АМг6, АД31); плохо свариваемые, теряющие свойства при сварке (например, Д1, Д16, В95);

4) по склонности к упрочнению при термообработке: термически упрочняемые (например, АД31, Д1, Д16, В95, В96, 1925) и неупрочняемые (например, АД1, АМц, АМг2, АМг3, АМг6).

По условиям прессования целесообразно делить сплавы на две группы:

1) мягкие алюминиевые сплавы (легкопрессуемые) – АД0, АД1, АМц, АМг2 (имеют низкое сопротивление деформации при прессовании $S_0 = 20 \div 40 \text{ МПа}$);

2) твердые алюминиевые сплавы (труднопрессуемые) – АМг5, АМг6, Д1, Д16, В95, В96ц (имеют высокое сопротивление деформации при прессовании $S_0 = 50 \div 100 \text{ МПа}$).

2.2 Сортамент прессуемых изделий

Сортамент прессуемых изделий из алюминиевых сплавов включает более 15 тысяч наименований.

Прессованные профили используют: в качестве силовых элементов в авиа-, автомобиле- и судостроении; в качестве токоведущих элементов, корпусов электродвигателей и теплоотводящих деталей в электро- и теплотехнике; в виде облицовочных конструкций в строительстве, машиностроении и в других областях.

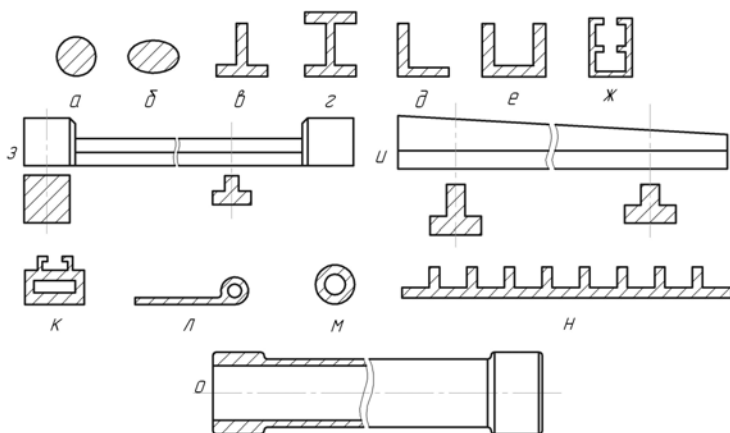


Рис. 6

Сортамент можно разделить на следующие группы:

- 1) прутки круглого и близкого к кругу поперечного сечения (рис. 6 а, б);
- 2) сплошные одноконтурные (открытые) профили: тавр, двутавр, уголок, швеллер, сложный профиль (рис. 6 в, г, д, е, ж);
- 3) сплошные профили переменного сечения: ступенчато-переменного и плавно-переменного (рис. 6 з, и);
- 4) полые профили (рис. 6 к);
- 5) петельные профили (рис. 6 л);
- 6) трубы (рис. 6 м);
- 7) панели (рис. 6 н);
- 8) трубы с законцовками (рис. 6 о).

Сортамент профилей быстро увеличивается, т.к. расширяется применение прессованной продукции.

2.3 Классификация способов прессования

По важнейшим отличительным признакам способов прессования целесообразны следующие варианты классификации.

1. Классификация по контактному взаимодействию с контейнером:

- 1) с сопротивляющимся трением;
- 2) без трения;
- 3) с активным трением.

2. Классификация по температурным условиям прессования:

- 1) Горячее прессование:
 - с равномерным предварительным нагревом;
 - с градиентным (неравномерным по длине) нагревом.

- 2) Теплое прессование:

- с использованием тепла литья;
- с предварительным недогревом всего объема слитка.

- 3) Холодное прессование:

- с ударным выдавливанием;
- с гидростатическим выдавливанием.

3. Классификация по типу получаемых изделий:

- 1) прутки (круглые, многогранные);
- 2) профили сплошного сечения (типа тавра, швеллера);
- 3) профили переменного по длине сечения;
- 4) полые профили;
- 5) панели;
- 6) трубы;
- 7) трубы с законцовками;
- 8) кабельные оболочки.

4. Классификация по характеру истечения металла:

- 1) с прямым истечением;
- 2) с обратным истечением;
- 3) с боковым истечением;
- 4) с равноканальным истечением (угловым и винтовым);
- 5) совмещенное со сдвигающим кручением.

Два последних способа (4.4 и 4.5) представляют собой специфические примеры прессования, предназначенные для осуществления так называемой интенсивной пластической деформации (ИПД), цель которой не формоизменение слитка в изделие, а создание структуры металла с особо мелким зерном (наноструктуры).

3 ПРЕССОВАНИЕ ПРУТКА

3.1 Стадии прессования

Реализацию прессования начинают с нагрева заготовки (называемой также «слиток»), которую помещают затем в контейнер пресса (рис. 7) и распрессовывают.

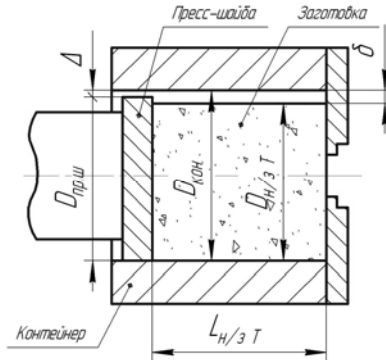


Рис. 7. Контейнер пресса

Нераспрессованный диаметр заготовки $D_{н/з, T}$, нагретой до температуры прессования ($T_{нагр}$), должен быть несколько меньше диаметра контейнера для удобства введения заготовки в контейнер:

$$D_{кон} - D_{н/з, T} = \delta,$$

$$D_{н/з, T} = D_{заг} (1 + \alpha T_{нагр}), \quad (3.1)$$

где α – коэффициент линейного расширения алюминиевого сплава, $\alpha_{Al} = 26 \cdot 10^{-6} \text{ 1/град}$;

$D_{заг}$ – диаметр заготовки до нагрева;

$D_{н/з, T}$ – диаметр нагретой заготовки;

δ – зазор по диаметру заготовки, $\delta = 2 \div 3 \text{ мм}$.

Обычно принимают:

$$D_{н/з} = 0,975D_{кон}. \quad (3.2)$$

В процессе распрессовки воздух из зазора должен быть эвакуирован в сторону пресс-шайбы, для чего выдерживают соотношение:

$$D_{кон} - D_{пр.ш} = \Delta,$$

где Δ – зазор по пресс-шайбе, $\Delta = 0,7 \div 1,0$ мм.

Длину нераспрессованной нагретой заготовки $L_{н/з,Т}$ рассчитывают аналогично диаметру:

$$L_{н/з,Т} = L_{заг} (1 + \alpha T_{нагр}),$$

где $L_{заг}$ – длина заготовки до нагрева.

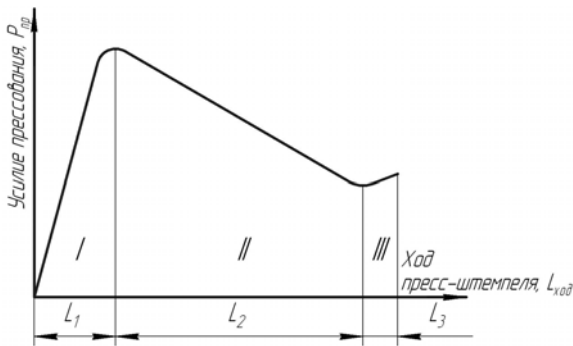


Рис. 8. Стадии прессования

При распрессовке слитка усилие прессования возрастает от нуля до максимального значения. Стадии прессования отражены на диаграмме «усилие прессования – ход пресс-штемпеля» ($P_{пр} \sim L_{ход}$), представленной на рис. 8.

Различают следующие стадии процесса прессования: I – распрессовка, II – установившееся течение, III – выпрессовка.

В стадии распрессовки в зоне матрицы происходит увеличение диаметра заготовки до диаметра контейнера. Затем зона распрессовки распространяется к пресс-шайбе. В момент полной распрессовки начи-

нается истечение изделия, усилие прессования при этом максимально, т.к. максимальна длина слитка.

Чтобы процесс распрессовки шел без нарушений, необходимо выполнение целесообразных соотношений между размерами слитка:

$$\frac{L_{заг}}{D_{заг}} = 1,5 \div 2,5 \text{ (для прямого метода прессования),} \quad (3.3)$$

$$\frac{L_{заг}}{D_{заг}} = 2,0 \div 4,0 \text{ (для обратного метода прессования).} \quad (3.3 \text{ а})$$

Если длина заготовки не соответствует рекомендуемой, эффективность прессования падает: при меньших длинах сокращается выход продукции; при больших происходит захолаживание слитка, также может произойти изгиб заготовки и запрессовка воздуха, который попадает внутрь изделия, вызывая брак.

После распрессовки во время выдавливания изделия усилие падает, т.к. уменьшается длина слитка и падает сила его трения о контейнер. Наименьшее усилие наблюдается в момент подхода пресс-шайбы к задней границе очага пластической деформации. В конце процесса возникает интенсивное трение металла о пресс-шайбу, поэтому часто наблюдается небольшое возрастание усилия в третьей стадии.

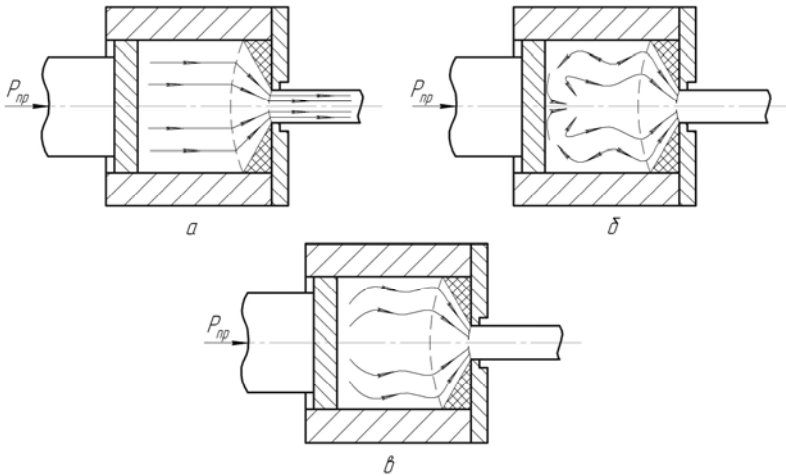


Рис. 9

В стадии установившегося процесса наблюдается три вида истечения (рис. 9):

- 1) ламинарное (рис. 9 а) – слои металла не перемешиваются;
 - 2) турбулентное (рис. 9 б) – слои металла перемешиваются, наблюдается встречное течение, центральные слои перемещаются с трением по пресс-шайбе;
 - 3) смешанное (рис. 9 в) – без встречного движения слоев металла.
- В реальных условиях целесообразно использовать смешанное течение.

3.2 Характер истечения прутка

Деформированное состояние при истечении прутка изучают по координатной сетке, нанесенной на диаметральную плоскость заготовки, составленной из двух полуцилиндров (рис. 10). Прессование ведут через разъемную матрицу. В стадии установившегося течения процесс останавливают. Инструмент разбирают.

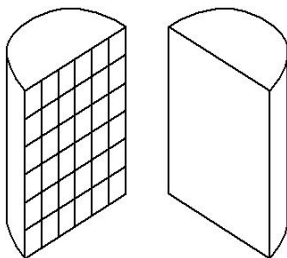


Рис. 10

Из деформации координатной сетки видны особенности процесса прессования (рис. 11). Ячейки координатной сетки с базой «а» (в левой, недеформированной части на рисунке) изменяются в размерах неравномерно по диаметру и длине. В зоне матрицы формируется очаг пластической деформации. Боковые границы близко соответствуют конусу границы входа и выхода, имеют следы на диаметральном разрезе, близкие к дугам окружностей.

Продольные линии до деформации остаются продольными и после неё. Поперечные линии искривляются, искривление начинается до входа в очаг деформации. Это говорит о том, что центральные слои текут быстрее периферийных. На это же указывает выпуклость переднего торца A_1B_1 .

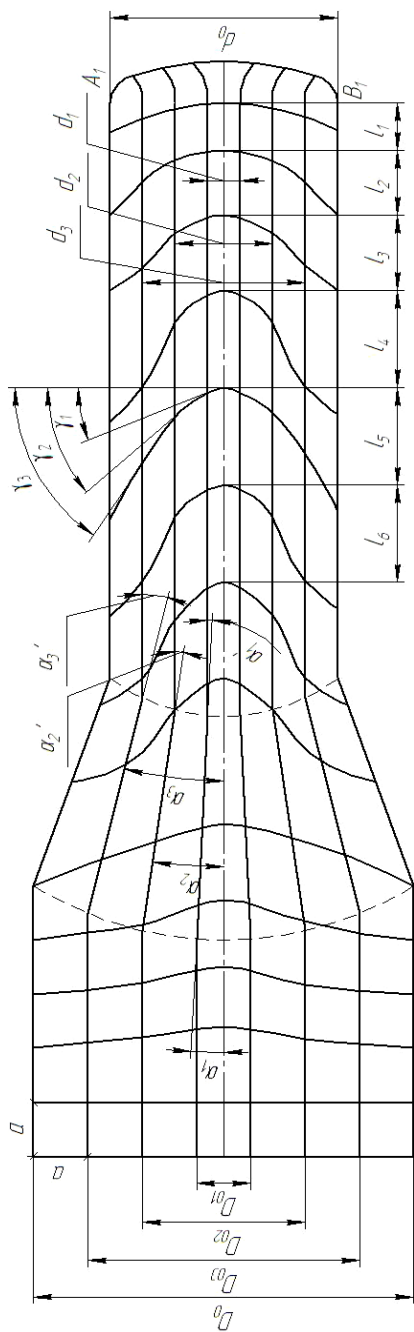


Рис. 11. Деформация координатной сетки

Продольные линии отклоняются в очаге деформации к центру, а по выходе из очага деформации – от центра: углы отклонения и возврата равны по величине, но противоположны по направлению ($\alpha_1 = -\alpha'_1, \alpha_2 = -\alpha'_2, \alpha_3 = -\alpha'_3$). Это характеризует процесс прессования как немонотонный.

Поворот продольных линий от центра к периферии увеличивается: $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$, что говорит о неравномерности деформации по диаметру очага. В выпрессованной части продольные размеры ячеек «а» удлиняются, принимая величины l_1, l_2, \dots, l_6 . Вблизи торца А₁В₁ наблюдается неравномерное удлинение: $l_1 < l_2 < l_3$, что говорит о неустановившемся процессе. Затем размеры стабилизируются: $l_4 \approx l_5 \approx l_6$, что показывает возникновение установившегося течения.

Поперечные линии координатной сетки, прямые до деформации, изгибаются после деформации, приобретая вид парабол. Интенсивность искривления увеличивается от центра к периферии и характеризуется возрастанием углов между касательными к параболам и перпендикуляром к оси: $\gamma_1 < \gamma_2 < \gamma_3$. Искривление линий происходит за счет действия сдвиговых напряжений. Таким образом, напряжения сдвига увеличиваются от центра к периферии.

Указанные качественные закономерности подтверждаются количественно: изменением вытяжек по диаметру λ_{D_i} и длине λ_{l_i} изделия (рис. 12 а, б). На указанных графиках: $\lambda_{D_i} = D_i^2 / d_i^2$, $\lambda_{l_i} = l_i / a$. Сдвиги характеризуются замеренными углами сдвига γ_i по диаметру (рис. 12 в).

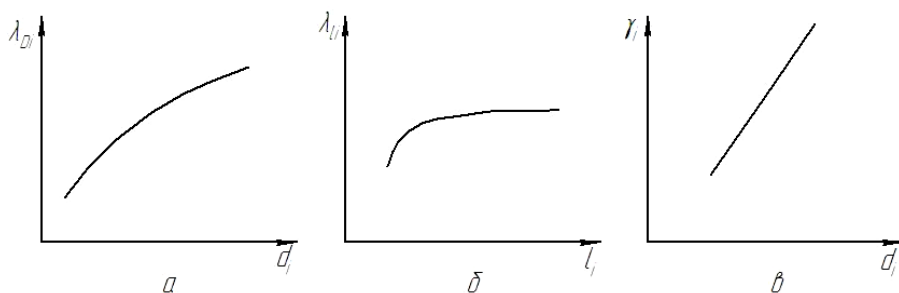


Рис. 12

3.3 Температурно-скоростные условия прессования

Предварительный выбор температуры прессования производят на основании диаграммы состояния (рис. 13), которая рассматривается в виде двойной системы: «алюминий» – «основной компонент системы» (например, «алюминий» – «медь»).

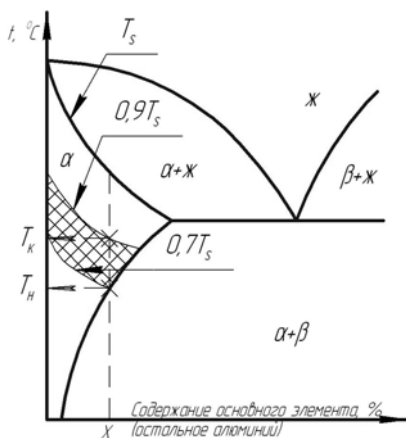


Рис. 13

На рис. 13 изображена часть диаграммы состояния двойной системы. В зависимости от соотношения компонентов и температуры наблюдаются различные агрегатное, фазовое и структурное состояния. Откуда можно найти предварительную температуру обработки в горячем состоянии: так, для сплава с x -содержанием основного элемента начальная температура обработки $T_n = 0,7T_s$, конечная $T_k = 0,9T_s$, где T_s – температура линии солидуса.

Предварительную температуру прессования назначают в интервале обработки: $\Delta T = (0,7 \div 0,9)T_s$.

Уточнение предварительной температуры прессования производят на основании диаграммы пластичности (рис. 14), которая представляет собой зависимость предела текучести от температуры. При статических испытаниях можно считать условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ равным пределу текучести σ_m (обозначается также σ_s), который принимается равным сопротивлению деформации S_D .

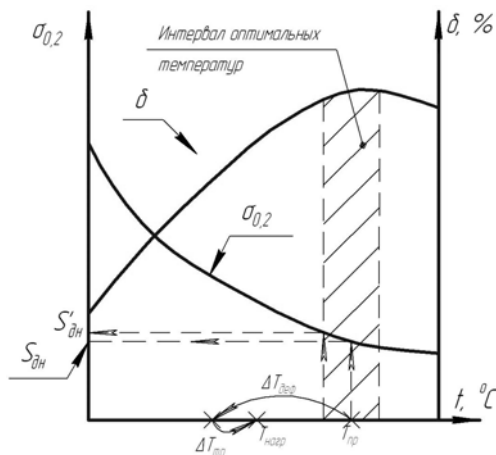


Рис. 14

Оптимальной считается температура, при которой пластичность, выражаемая через относительное удлинение $\delta = (l - l_0)/l_0$, примерно максимальна, а предел текучести $\sigma_{0,2}$ минимален.

Для проведения реального процесса прессования при выбранной температуре необходимо осуществить нагрев до температуры нагрева $T_{нагр}$, которая отличается от температуры прессования.

В процессе прессования происходит выделение тепла от работы деформации. Увеличение температуры выражают формулой:

$$\Delta T_{деф} = \frac{S_{д.ср} \ln \lambda}{c \rho}, \quad (3.4)$$

где $S_{д.ср}$ – среднее по очагу сопротивление деформации;

λ – вытяжка;

c – удельная теплоемкость металла, $c_{Al} = 880$ Дж/кг·град;

1 Дж = 1Н·1м;

ρ – плотность металла.

Кроме того, в процессе перемещения заготовки от нагревающего устройства к прессу происходит охлаждение металла. Температурный перепад транспортировки:

$$\Delta T_{mp} = \delta_{охл} \tau_{mp}, \quad (3.5)$$

где $\delta_{охл}$ – скорость охлаждения, $\delta_{охл} = 0,5 \div 5$ град/с.

Таким образом, температура нагрева металла перед подачей в контейнер будет равна:

$$T_{нагр} = T_{np} - \Delta T_{деф} + \Delta T_{mp}. \quad (3.6)$$

Фактическая температура прессования не должна выходить из интервала оптимальных температур, определенных по диаграмме пластичности. Этот интервал позволяет найти начальное сопротивление деформации $S_{\partialн}$ и сопротивление деформации $S'_{\partialн}$, с которым металл поступает в очаг пластической деформации. Так как значения $S_{\partialн}$ и $S'_{\partialн}$ примерно равны, то можно использовать только одно из них.

3.4 Определение сопротивления деформации

Сопротивление деформации в установившемся процессе по очагу деформации переменено. Металл на входе в очаг пластической деформации имеет начальное значение $S_{\partialн}$, а на выходе вследствие вязкостно-динамического эффекта проявляет сопротивление деформации $S_{\partialк}$, большее начального.

Значение $S_{\partialн}$ считают равным начальному пределу текучести металла $\sigma_{тн}$ при статических испытаниях: $S_{\partialн} = \sigma_{тн}$. Величину сопротивления деформации на выходе $S_{\partialк}$ можно найти из справочных данных для конкретных сплавов, аналогичных графикам на рис. 5, вычислив предварительно длительность деформации $\tau_{деф}$ по формуле (1.9).

Среднее значение $S_{\partial,ср}$ по очагу деформации берут как среднегеометрическое из $S_{\partialн}$ и $S_{\partialк}$:

$$S_{\partial,ср} = \sqrt{S_{\partialн} \cdot S_{\partialк}}. \quad (3.7)$$

В качестве примера приведен случай расчета $S_{\partial,ср}$ для сплава АД31 (рис. 15): $S_{\partial,ср} = \sqrt{S_{\partialн} \cdot S_{\partialк}} = \sqrt{22 \cdot 78} = 42$ (МПа).

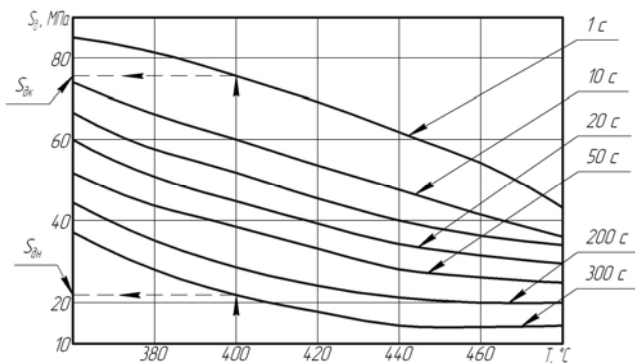


Рис. 15

Требуемый параметр может быть также вычислен с использованием коэффициента вязкостно-динамического упрочнения:

$$S_{\partial.сп} = S_{\partial.сп.н} C_V, \quad (3.8)$$

где C_V – коэффициент динамического упрочнения, принимающий для вытяжек в диапазоне 30...40 значения от 3,5 до 5,0.

3.5 Выбор вытяжки и диаметра контейнера

Критерием выбора вытяжки могут быть следующие факторы:

- 1) пластичность металла;
- 2) производительность прессы;
- 3) усилие прессы;
- 4) качество поверхности;
- 5) структура изделия и другие.

Для основных групп сплавов рекомендованы следующие вытяжки: АД1, АД31, АМц – $\lambda = 30 \div 90$ (оптимальные: $\lambda = 40 \div 50$); АМг2, АМг3, АВ – $\lambda = 30 \div 50$ (оптимальные: $\lambda \approx 40$); Д1, Д16 – $\lambda = 20 \div 40$; В95, В96, АМг6 – $\lambda = 15 \div 30$.

Назначив вытяжку, выбирают диаметр контейнера по общей формуле для вытяжки (1.2), из которой следует:

$$D_{кон} = \sqrt{\frac{4 \cdot \lambda \cdot f_{изд}}{\pi}} = \sqrt{1,25 \cdot \lambda \cdot f_{изд}}. \quad (3.9)$$

Диаметр контейнера берут равным ближайшему к вычисленному из ряда значений, применяемых на выбранном прессе, либо округляют полученное по формуле (3.9) число до значения, кратного пяти. Диаметр контейнера назначают равным округленному расчетному значению.

Приняв диаметр контейнера, уточняют вытяжку в соответствии с его значением.

3.6 Выбор скорости прессования

Скорость прессования зависит от пластичности сплава, давления прессования, сложности профиля, способа прессования, мощности прессы и других факторов.

Скорость прессования является основным параметром, по которому прессовщик контролирует процесс выдавливания металла. Скорость прессования связана со скоростью выдавливания (истечения) формулой (1.8 а), из которой следует:

$$V_{np} = V_{ист} / \lambda.$$

Значения скоростей прессования берут из технологических рекомендаций, приводимых для представителей основных групп сплавов в табл. 1.

Таблица 1. Относительные скорости истечения
алюминиевых сплавов

Показатель	Сплав					
	АД1	АМц	АД31	Д1, Д16	АМГ6	В95
Коэффициент сравнения η	1,8- 2,5	1,7- 2,4	1	0,35- 0,55	0,15- 0,25	0,12- 0,22

Величины скоростей истечения даны в табл. 1 в виде отношений к скорости истечения сплава АД31. Требуемую скорость истечения рассматриваемого сплава ($V_{спл}$) находят по формуле:

$$V_{спл} = \eta \cdot V_{ист АД31}, \quad (3.10)$$

где $V_{ист\ АД31}$ – скорость истечения сплава АД31, $V_{ист\ АД31} = 10 \div 40$ м/мин (для профилей сложных сечений берут $V_{ист\ АД31}$, приближающуюся к минимальному значению, например, $V_{ист\ АД31} = 12$ м/мин).

В соответствии со сказанным, например, подсчитанные скорости истечения сложных профилей из сплавов АМц и В95 будут:

$$V_{ист\ АМц} = (1,7 \dots 2,4) \cdot 12 = 20,4 \dots 28,8 \text{ (м/мин);}$$

$$V_{ист\ В95} = (0,12 \dots 0,22) \cdot 12 = 1,44 \dots 2,64 \text{ (м/мин).}$$

Скорость истечения зависит от давления прессования. Эти зависимости по результатам обработки статистических данных представлены на рис. 16. В связи со множественностью факторов, влияющих на скорость, значения по графикам следует принимать как приближенные.

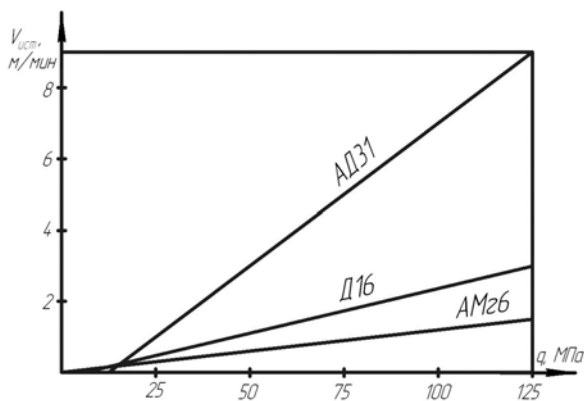


Рис. 16

Давление прессования q рассматривали как отношение усилия прессования к диаметру контейнера:

$$q = P_{пр} / F_{кон} \cdot \quad (3.11)$$

3.7 Расчет размеров заготовки

Длину распрессованной заготовки $L_{рас}$ вычисляют, исходя из общей отпрессованной длины изделия, с учетом длины пресс-остатка (рис. 17):

$$L_{рас} = \frac{(l_{сд}n + l_{обр} + l_{\Sigma ко})m}{\lambda} + h_{ост}, \quad (3.12)$$

где $l_{сд}$ – длина сдаваемого изделия («сдаточная длина»);

n – кратность сдаточных длин, уместяющихся на столе пресса:

$$1 \leq n \leq \frac{l_{см}}{l_{сд}},$$

$l_{см}$ – длина приемного стола пресса, $l_{см} = 16 \dots 20$ м;

$l_{обр}$ – длина образцов для механических испытаний,

$l_{обр} \approx 200$ мм;

$l_{\Sigma ко}$ – суммарная длина концевой обрезки, $l_{\Sigma ко} \approx 600$ мм (включая длину выходного $l_{вых}$ и утяжного $l_{ут}$ конца):

$$l_{\Sigma ко} = l_{вых} + l_{ут},$$

m – количество каналов в матрице;

$h_{ост}$ – длина пресс-остатка, $h_{ост} = 0,25D_{кон}$.

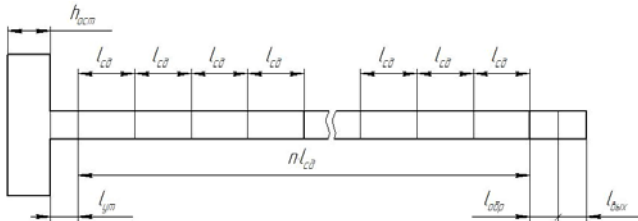


Рис. 17

Длина нераспрессованной заготовки $L_{нрас}$ определяется по формуле:

$$L_{нрас} = \lambda_{рас} L_{рас}, \quad (3.13)$$

где $L_{рас}$ – длина распрессованной заготовки по формуле (3.12);

$\lambda_{рас}$ – коэффициент распрессовки, $\lambda_{рас} = D_{кон}^2 / D_{нрас}^2$;

$D_{нрас}$ – диаметр нераспрессованной заготовки.

Обычно принимают: $\lambda_{рас} = 1,05$, тогда $D_{нрас} = 0,975 D_{кон}$.

После определения $L_{нрас}$ и $D_{нрас}$ находят их отношение: если оно удовлетворяет условиям (3.3) или (3.3 а), то выбранные размеры принимают как целесообразные. В противном случае уточняют размеры до попадания в указанные диапазоны.

Из условия постоянства объема обрабатываемого металла следует:

$$V_{до} = V_{после}, \quad (3.14)$$

где $V_{до}$, $V_{после}$ – объем металла до и после прессования соответственно.

Из формулы (3.14) следует:

$$F_{кон} L_{рас} = f_{изд} l_{нлд}, \quad (3.15)$$

где $l_{нлд}$ – полная длина, выпрессованная из слитка (заготовки) без пресс-остатка.

Окончательно получим:

$$\frac{F_{кон}}{f_{изд}} = \frac{l_{нлд}}{L_{рас}} = \lambda. \quad (3.16)$$

Формула (3.16) показывает возможность представления вытяжки как отношения соответствующих длин.

3.8 Определение выхода годного

Выход годного – показатель, который характеризует, какую часть металла сдают в виде годной продукции из запущенной в производство заготовки:

$$\eta = \frac{G_{годн}}{G_{зап}},$$

где $G_{годн}$ – вес годной продукции, $G_{годн} = \rho V_{годн}$;

$V_{годн}$ – объем годной продукции;

ρ – плотность металла;

$G_{зап}$ – вес запуска, $G_{зап} = \rho V_{зап}$;

$V_{зап}$ – объем металла запуска.

Поскольку объем металла до обработки равен объему после обработки (формула 3.14), получаем равенство, по которому также целесообразно производить расчеты:

$$F_{кон} L_{рас} = f_{изд} \sum l_{омн} + h_{ост} \lambda, \quad (3.17)$$

где $\sum l_{омн}$ – суммарная отпрессованная длина без учета пресс-остатка.

Таким образом, выход годного:

$$\eta = \frac{V_{зап} - V_{омх}}{V_{зап}},$$

$$\eta = 1 - \frac{V_{омх}}{V_{зап}}, \quad (3.18)$$

где $V_{омх}$ – общий объем отходов:

$$V_{омх} = V_{ост} + V_{\Sigma ко} + V_{обр},$$

$V_{ост}$, $V_{\Sigma ко}$, $V_{обр}$ – объемы пресс-остатка, концевой обреси и металла на образцы.

Из формулы (3.18) с учетом формулы (3.16) получим:

$$\eta = 1 - \frac{V_{\Sigma ко} + V_{обр} + h_{ост} \lambda}{L_{рас} \lambda}. \quad (3.19)$$

Деформация удлинения ε_l происходит за счет напряжений сжатия и поэтому является пассивной. Такое деформированное состояние благоприятно для обеспечения целостной бездефектной внутренней структуры изделий.

Напряженное состояние характеризуется действием трех сжимающих напряжений (рис. 18): радиального (σ_r), окружного (σ_θ) и осевого (σ_l). Поскольку наблюдается равенство деформаций $\varepsilon_r = \varepsilon_\theta$, то, очевидно, в силу осевой симметрии очага равны и напряжения: $\sigma_r = \sigma_\theta$. При этом по абсолютной величине эти напряжения больше осевого:

$$|\sigma_r| > |\sigma_l|. \quad (4.1)$$

Как известно, общее уравнение пластического течения в главных напряжениях имеет вид:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = S_\sigma. \quad (4.2)$$

Откуда, с учетом формулы (4.1) и знаков, получаем в общем виде условие пластичности при прессовании:

$$\begin{aligned} -\sigma_l - (-\sigma_r) &= S_\sigma, \\ \sigma_r &= \sigma_l + S_\sigma. \end{aligned} \quad (4.3)$$

4.2 Существующие методы определения усилия прессования

В зависимости от целей расчета применяют следующие основные методы: инженерный, линий скольжения, метод работ, метод конечных элементов и экспериментальный метод.

4.2.1 Инженерный метод

Инженерный метод основан на решении упрощенного уравнения пластичности совместно с уравнением равновесия выделенного элемента. При этом учитывается баланс мощностей со стороны подведения и расхода энергии. Выведенные формулы позволяют определить усредненные значения напряжений по очагу деформации, но не позволяют определить напряжения в конкретной точке очага.

4.2.2 Метод линий скольжения

Метод основан на учете траектории наибольших касательных напряжений. Эти траектории являются линиями скольжения, которые непрерывны и образуют два семейства взаимноперпендикулярных линий. Линии скольжения пересекают траектории главных нормальных напряжений под углом 45° . Изменение среднего нормального напряжения при движении вдоль линии скольжения пропорционально углу ее поворота.

Использование линий скольжения позволяет определять напряжения в любой точке очага деформации.

4.2.3 Метод работ

Метод основан на использовании закона сохранения энергии: при пластической деформации работа внешних (поверхностных) сил $A_{вне}$ равна работе внутренних сопротивлений $A_{вну}$.

$$A_{вне} = A_{вну}. \quad (4.4)$$

Работа внешних сил равна алгебраической сумме работ активных сил A_a , приложенных к пресс-штемпелю, и сил поверхностных сопротивлений, т.е. сил трения по контейнеру $A_{m\text{ кр}}$ и калибрующему пояску $A_{m\text{ п}}$:

$$A_{вне} = A_a - (A_{m\text{ кр}} + A_{m\text{ п}}). \quad (4.5)$$

Работа внутренних сил складывается из работы формоизменения $A_{\phi(R)}$ и работы срезов на границе пластической и упругой (заторможенной) зоны у матрицы $A_{cp(m)}$:

$$A_{вну} = A_{\phi(R)} + A_{cp(m)}. \quad (4.6)$$

Тогда из зависимостей (4.5) и (4.6) получаем:

$$A_a = A_{\phi(R)} + A_{cp(m)} + A_{m\text{ кр}} + A_{m\text{ п}}. \quad (4.7)$$

Для установившегося процесса удобно рассматривать работу в единицу времени, т.е. мощность (N). Закон сохранения энергии в этом случае:

$$N_a = N_{\phi(R)} + N_{cp(m)} + N_{m\text{ кр}} + N_{m\text{ н}}, \quad (4.8)$$

где N_a – мощность активных сил;

$N_{\phi(R)}$, $N_{cp(m)}$ – мощности соответственно формоизменения и среза по границе (заторможенной) зоны и зоны течения;

$N_{m\text{ кр}}$, $N_{m\text{ н}}$ – мощности соответственно сил трения слитка о контейнер и изделия о калибрующий поясok матрицы.

4.2.4 Метод конечных элементов

Метод основан на использовании вариационных принципов механики сплошной среды. Сущность его сводится к замене непрерывной сплошной среды дискретной, что позволяет упростить решение уравнений течения. Дискретное описание среды характеризует среду как систему из конечного числа недеформируемых малых элементов, которые должны удовлетворять определенным условиям совместности на границах.

Использование компьютеров с большой памятью и применение стандартного математического обеспечения МКЭ дает возможность решения разнообразных задач теории прессования.

4.2.5 Экспериментальный метод

Метод заключается в экспериментальном определении численных соотношений параметров в конкретных условиях прессования. При этом получают зависимости, на основе которых создают эмпирические формулы. Учет основных факторов процесса производят посредством введения в формулы коэффициентов, уточняющих влияние фактора.

Напряжение на пресс-штемпеле может быть выражено в виде соотношений:

$$\sigma_{np} = C_1 \cdot C_2 \cdot \dots \cdot C_n \cdot S_{\partial} \cdot \ln \lambda = C_{об} \cdot S_{\partial} \cdot \ln \lambda, \quad (4.9)$$

$$\sigma_{np} = (X + Y \ln \lambda) S_{\partial}, \quad (4.10)$$

где C_i – коэффициенты, учитывающие действие параметров процесса;
 $C_{об}$ – обобщенный коэффициент влияния;
 X, Y – коэффициенты, зависящие от C_i .

На основе формул (4.9) и (4.10) находят общее усилие прессования $P_{пр}$:

$$P_{пр} = \sigma_{пр} F_{кон}. \quad (4.11)$$

Для определения силовых характеристик применяют месдозы с наклеенными тензодатчиками. Деформированное состояние изучают методом координатной сетки, нанесенной в разъем образцов, либо методом муарового эффекта.

Количественный анализ экспериментальной информации для научных целей может быть осуществлен также методом «визиопластичности», позволяющим определять интересующие исследователя зависимости в любой точке очага деформации.

Следует учитывать, что эмпирические зависимости применимы только для условий, близких к эксперименту.

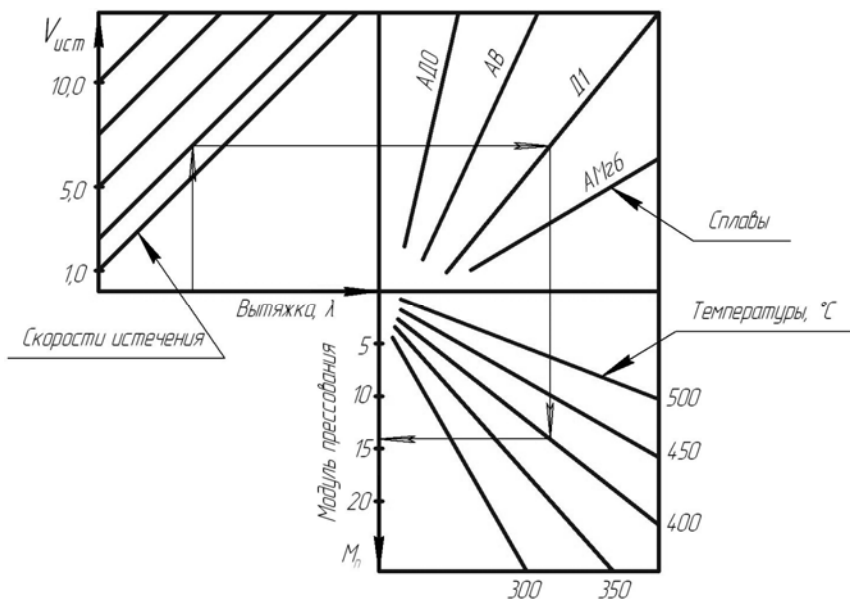


Рис. 19

Для ускорения расчета по эмпирическим формулам строят номограммы, подобные представленной на рис. 19.

Найденный по номограмме модуль M_n используют для определения усилия прессования P_{np} :

$$P_{np} = M_n F_{кон} \ln \lambda, \quad (4.12)$$

где M_n – модуль прессования, кг/мм².

4.3 Составляющие усилия прессования

Для осуществления процесса прессования к пресс-штемпелю необходимо приложить усилие, равное сумме сил, возникающих в контейнере: 1 – силы сопротивления металла в очаге пластической деформации; 2 – силы трения слитка о боковую поверхность контейнера; 3 – силы трения истекающего металла по матричной воронке течения; 4 – силы трения изделия по калибрующему пояску.

Силы, как схематизированные действующие факторы, в обработке металлов давлением не обладают свойством аддитивности, т.е. не подлежат сложению подобно независимо действующим векторным величинам в механике. Сумма перечисленных сил может быть найдена как алгебраическая величина, на основании баланса работ (мощностей), затрачиваемых на осуществление процесса.

Воспользуемся общей формулой (4.8):

$$N_a = N_{\phi(R)} + N_{cp(M)} + N_{m\ kр} + N_{m\ n}.$$

Поскольку мощность – это произведение силы на скорость ($N_a = P_{np} V_{np}$), то из формулы (4.8) следует формула усилия прессования в общем виде:

$$P_{np} = \frac{N_a}{V_{np}} = \frac{N_{\phi(R)}}{V_{np}} + \frac{N_{cp(M)}}{V_{np}} + \frac{N_{m\ kр}}{V_{np}} + \frac{N_{m\ n}}{V_{np}}. \quad (4.13)$$

Сопротивления по месту их проявления на прессовом инструменте отличаются от усилий, приложенных к пресс-штемпелю для их пре-

одоления, так как, несмотря на равенство работ, скорости движения металла на различных участках различны.

Усилие на пресс-штемпеле, выраженное через усилия на различных участках инструмента, с учетом скоростей на этих участках описывается формулой:

$$P_{np} = R'_m \frac{V_{Rm}}{V_{np}} + T'_m \frac{V_m}{V_{np}} + T'_{кр} \frac{V}{V_{np}} + T_n \frac{V_{ист}}{V_{np}}, \quad (4.14)$$

где R'_m – усилие на преодоление сопротивления деформации металла в очаге пластической деформации;

V_{Rm} – скорость перемещения металла в очаге пластической деформации, так как $V_{Rm} > V_{np}$, то $V_{Rm}/V_{np} > 1$;

T'_m – сила трения о боковую поверхность (воронки истечения) очага пластической деформации, $V_m/V_{np} > 1$.

Сила прессования на пресс-штемпеле выражается общей формулой:

$$P_{np} = R_m + T_{кр} + T_m + T_n, \quad (4.15)$$

где R_m – часть общего усилия прессования, действующего на пресс-штемпеле, идущая на осуществление деформации;

T_m – часть общего усилия прессования, действующего на пресс-штемпеле, идущая на преодоление силы трения металла по боковой поверхности очага пластической деформации (по воронке течения либо матрице);

$T_{кр}$ – часть общего усилия прессования, действующего на пресс-штемпеле, идущая на преодоление силы трения металла о контейнер;

T_n – часть общего усилия прессования, действующего на пресс-штемпеле, идущая на преодоление силы трения изделия о калибрующий поясok матрицы.

Формула (4.15) показывает правомерность алгебраического сложения сил, действующих на различных участках инструмента при условии вычисления этих сил из общего баланса работ деформации.

4.4 Вывод инженерных формул для усилия прессования

4.4.1 Составляющая силы трения о контейнер

Скорость перемещения металла заготовки по внутренней поверхности контейнера равна скорости прессования V_{np} . Уравнение баланса работ имеет вид:

$$T'_{кр} V_{np} = T_{кр} V_{np},$$

следовательно, $T'_{кр} = T_{кр}$.

Составляющая общего усилия на пресс-штемпеле равна силе противодействия по месту на данном участке инструмента (рис. 18):

$$T_{кр} = F_{\delta_{кр}} \tau_{кр} = \pi D_{кон} (L_{рас} - h_{ост}) S_{\delta_{кр}} f_{кр}, \quad (4.16)$$

где $F_{\delta_{кр}}$ – площадь боковой поверхности втулки контейнера;

$D_{кон}$ – диаметр контейнера;

$L_{рас}$ – длина распрессованной заготовки;

$h_{ост}$ – высота пресс-остатка;

$S_{\delta_{кр}}$ – сопротивление деформации прессуемого металла в кон-

тейнере;

$f_{кр}$ – коэффициент трения заготовки о контейнер.

4.4.2 Составляющая силы трения о поверхность матрицы

В процессе прессования в металле, скользящем по поверхности матрицы (а при использовании плоской матрицы по поверхности воронки течения, ограничивающей мертвые зоны), действуют напряжения трения τ_m (рис. 20). Определим величину силы, возникающей на поверхности трения очага пластической деформации, и, соответственно, составляющую усилия прессования T_m , идущую на преодоление этой силы.

где $z = \frac{D_z - d_{уз\partial}}{2tg\alpha_M}$ или $dz = \frac{dD_z}{2tg\alpha_M}$;

f_M – коэффициент трения по матрице;

$S_{\partial M}/2$ – сопротивление пластического сдвига.

Полная мощность реактивных сил трения по матрице после интегрирования уравнения (4.19) имеет вид:

$$\begin{aligned}
 N_z &= \int_F \pi D_z \frac{dD_z}{2 \sin \alpha_M} V_{np} \frac{D_{кон}^2}{D_z^2} f_M \frac{S_{\partial M}}{2} = \\
 &= \frac{\pi}{2} f_M \frac{S_{\partial M}}{2} \frac{V_{np}}{\sin \alpha_M} D_{кон}^2 \int_{D_{кон}}^{d_{уз\partial}} \frac{dD_z}{D_z}, \\
 N_z &= \frac{S_{\partial M}}{2} f_M V_{np} \frac{\pi D_{кон}^2}{4 \sin \alpha_M} \ln \frac{D_{кон}^2}{d_{уз\partial}^2} = \\
 &= \frac{S_{\partial M}}{2} f_M V_{np} \frac{\pi D_{кон}^2}{4 \sin \alpha_M} \ln \lambda.
 \end{aligned} \tag{4.20}$$

Уравнение баланса работ имеет вид:

$$T_M V_{np} = N_z,$$

откуда, с учетом формулы (4.20), составляющая на пресс-штемпеле, идущая на преодоление трения по поверхности матрицы, равна:

$$T_M = \frac{S_{\partial M}}{2} f_M \frac{\pi D_{кон}^2}{4 \sin \alpha_M} i, \tag{4.21}$$

где $i = \ln \lambda$ – интегральный показатель деформации.

4.4.3 Составляющая силы трения по калибрующему пояску

Уравнение баланса мощностей:

$$T_n V_n = T'_n V_{исм}, \tag{4.22}$$

где T'_n – сила трения в зоне калибрующего пояска, которая определяется зависимостью:

$$T'_n = \Pi_{kn} l_{kn} \frac{S_{\partial kn}}{2} f_{kn}. \quad (4.23)$$

Составляющая T_n на пресс-штемпеле с учетом формул (4.22) и (4.23) определяется выражением:

$$T_n = \Pi_{kn} l_{kn} \frac{S_{\partial kn}}{2} f_{kn} \lambda, \quad (4.24)$$

где Π_{kn} – периметр канала матрицы в зоне калибрующего пояска;

l_{kn} – длина калибрующего пояска, $l_{kn} = 4 \div 20$ мм;

$S_{\partial kn}$ – сопротивление деформации металла в зоне калибрующего пояска;

f_{kn} – коэффициент трения в зоне калибрующего пояска, $f_{kn} \approx 0,25$.

4.4.4 Составляющая для осуществления собственно деформации пластического очага

При определении R_m рассматриваем идеальный случай: считаем, что деформация происходит только за счет взаимного перемещения слоев сферического сегмента деформируемого металла, осуществляемого посредством выдавливания этих слоев в сужающееся коническое отверстие матрицы. Этот подход по результатам экспериментов дает значения, близкие к получаемым другими методами, и поэтому приемлем для инженерных решений.

Рассмотрим очаг пластической деформации $A_0C_0C_kA_k$ и выделим внутри него, на расстоянии z от начала координат O , элементарный объем толщиной dl . Проекцию dl на ось $z-z$ обозначим dz (рис. 21). Выделенный объем ограничен в плоскости чертежа следами шаровых поверхностей – дугами ABC и $A_1B_1C_1$ и боковыми границами матрицы AA_1 и CC_1 .

На элементарный объем по дуге сферы действуют продольные напряжения σ_{lz} и $\sigma_{lz} + d\sigma_{lz}$, по радиусу сферы – радиальные напряже-

ния σ_{rz} , по периметру сферы – тангенциальные напряжения σ_θ , равные радиальным ($\sigma_\theta = \sigma_{rz}$), которые на рис. 21 не показаны.

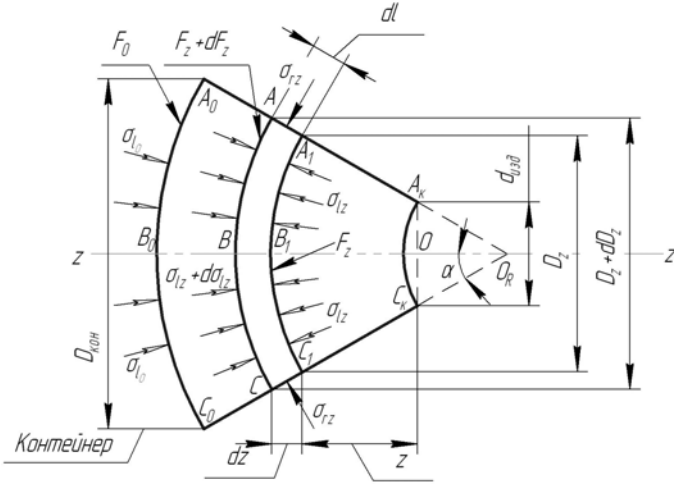


Рис. 21

Уравнение равновесия элементарного объема имеет вид:

$$\begin{aligned}
 & (\sigma_{lz} + d\sigma_{lz}) \frac{\pi}{4} (D_z + dD_z)^2 - \\
 & - \sigma_{lz} \frac{\pi}{4} D_z^2 - \sigma_{rz} D_z \frac{dz}{\cos \alpha} \sin \alpha = 0
 \end{aligned} \tag{4.25}$$

условие пластичности:

$$\sigma_{rz} = \sigma_{lz} + S_{oc} \tag{4.26}$$

Принимая во внимание, что $dz = \frac{dD_z}{2 \operatorname{tg} \alpha}$, и отбрасывая бесконечно

малые второго порядка, получаем:

$$\frac{d\sigma_{lz}}{S_{oc}} = \frac{2dD_z}{D_z} \tag{4.27}$$

Учитывая граничные условия, на выходе из очага пластической деформации при $D_z = d_{изд}$ продольные напряжения равны нулю ($\sigma_{lz} = 0$), на входе в очаг пластической деформации при $D_z = D_{кон}$ – $\sigma_{lz} = \sigma_{l_0}$, величина продольного напряжения на входе будет равна:

$$\sigma_{l_0} = S_{\partial c} \ln \frac{D_{кон}^2}{d_{изд}^2} = S_{\partial c} i. \quad (4.28)$$

Элементарная сила на поверхности давления F_{ABC} в направлении z-z на любой элементарной площадке dF_z равна: $dR_{z (ABC)} = \sigma_{lz} dF_z$.

Элементарная сила на поверхности давления $F_{A_0B_0C_0}$ равна: $dR_{z (A_0B_0C_0)} = \sigma_{l_0} dF_0$.

Суммируя элементарные силы по поверхности давления $F_{A_0B_0C_0}$, получим искомую силу:

$$R_M = \sum_{A_0B_0C_0} (\sigma_{l_0} dF_0) = \sigma_{l_0} F_0. \quad (4.29)$$

Поскольку

$$F_0 = \frac{\pi D_{кон}^2}{4 \cos^2 \frac{\alpha}{2}} = \frac{1}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}} F_{кон},$$

учитывая (4.28), формула R_M для прутка будет иметь вид:

$$R_M = \frac{1}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}} F_{кон} S_{\partial c} i \approx \frac{0,785}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}} D_{кон}^2 S_{\partial c} i. \quad (4.30)$$

Прессование некруглых профилей имеет особенность: течение металла в очаге деформации происходит со смещением от радиального сферического для формирования сложного контура профиля. Это учи-

тывается введением в формулу (4.30) дополнительной составляющей деформации $i_{\partial on}$; считают:

$$\ln \lambda = i + i_{\partial on},$$

где i – интегральный показатель деформации прутка равновеликого сечения;

$i_{\partial on}$ – интегральный показатель дополнительной деформации.

Интегральный показатель дополнительной деформации определяют по формуле:

$$i_{\partial on} = \ln 4 \sqrt{\frac{f_{n\phi}}{f_{cp}}} = \ln \sqrt[4]{n},$$

где f_{cp} – средняя площадь одного участка профиля:

$$f_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{i\ n\phi}}{n},$$

$f_{i\ n\phi}$ – площадь i -го участка профиля;

n – число i -х участков профиля;

$f_{n\phi}$ – площадь поперечного сечения профиля.

Итак, формула R_m для некруглого прутка имеет вид:

$$R_m \approx \frac{0,785}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}} D_{кон}^2 S_{\partial c} (i + i_{\partial on}). \quad (4.31)$$

4.5 Упрощенные формулы определения усилия прессования

Быстрое ориентировочное определение усилия прессования прутков удобно производить по упрощенным формулам. Рассмотрим две группы формул.

4.5.1 Первая группа формул

Для наиболее распространенных условий горячего прессования прутков ($\alpha_m = 60^\circ$, $f_{тр. м} \approx 0,5$, $f_{тр. кр} \approx 0,5$, $L_{сл}/D_{сл} \approx 3$) выражения для составляющих R_m , T_m и $T_{кр}$ упрощаются и имеют вид:

$$R_m \approx 1,04D_{кон}^2 S_{\delta c} i, \quad (4.32)$$

$$T_m \approx 0,46D_{кон}^2 S_{\delta c} i, \quad (4.33)$$

$$T_{кр} \approx \pi D_{кон} L_{сл} \frac{S_{\delta n}}{2}. \quad (4.34)$$

Значение составляющей трения по калибрующему пояску (формула 4.24) для распространенных условий прессования не превышает 10 % от общего усилия прессования, и им можно пренебречь.

Величину среднего сопротивления деформации $S_{\delta c}$ можно выразить через коэффициент упрочнения C , который изменяется от 1 до 4,8. Приняв усредненное $C \approx 2$, получим:

$$P_{пр} = R_m + T_m + T_{кр} \approx (2i + 5) D_{кон}^2 S_{\delta n}. \quad (4.35)$$

Упрощенными формулами (4.32)–(4.35) целесообразно пользоваться для ориентировочного определения усилия прессования при подборе оборудования. Для технологических целей необходимо производить расчеты по более точным формулам (4.16)–(4.31).

4.5.2 Вторая группа формул

Учитывая относительно малое влияние составляющей T_n , формулу полного усилия прессования можно записать в виде

$$P_{пр} \approx T_{кр} + (R_m + T_m)$$

и представить как сумму

$$P_{пр} = \tau_{кр} F_{кр} \bar{\sigma} + M_n i F_{кон}, \quad (4.36)$$

где M_n – модуль напряжений прессования (определяется по номограмме, рис. 19);

$\tau_{кр}$ – напряжение трения прессуемого металла о стенки контейнера.

Величина $\tau_{кр}$, выраженная через напряжение пластического сжатия $\sigma_{s\ cж} = S_{\delta\ кр}$, равна:

$$\tau_{кр} = f_{кр} S_{\delta\ кр},$$

где $f_{кр}$ – коэффициент трения по контейнеру.

Для алюминиевых сплавов, прилипающих к поверхности контейнера:

$$\tau_{кр} = \tau_{\max} = \sigma_s / 2,$$

при отсутствии прилипания (например, при прессовании со смазкой):

$$\tau_{кр} = f_{кр} \tilde{p} k_{кж\delta},$$

где \tilde{p} – нормальное давление на пресс-шайбу, $\tilde{p} = P_{пр} / F_{кон}$;

$k_{кж\delta}$ – коэффициент, учитывающий квазижидкостный характер распределения давления по контейнеру.

Коэффициент трения по контейнеру $f_{кр}$ при скольжении металла по контейнеру без прилипания принимает значения: $f_{кр} = 0,25 \div 0,45$.

Исходя из приведенных объяснений, усилие прессования можно представить в виде формулы:

$$P_{пр} = 1,6 D_{кон} L_{сл} + 0,8 M_n D_{кон}^2 i, \quad (4.37)$$

или

$$P_{пр} = 2 D_{кон} L_{сл} + M_n D_{кон}^2 i. \quad (4.38)$$

5 ПРЕССОВАНИЕ СПЛОШНЫХ ПРОФИЛЕЙ

5.1 Особенности истечения профилей

Профили сплошных сечений по конструктивным признакам могут быть разделены на следующие виды (рис. 22):

- 1) симметричные профили с двумя осями симметрии (рис. 22 а);
- 2) симметричные профили с одной осью симметрии (рис. 22 б);
- 3) несимметричные профили с равнотолщинными элементами (рис. 22 в);
- 4) несимметричные профили с разнотолщинными элементами (рис. 22 г).

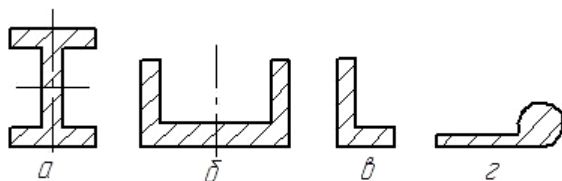


Рис. 22

Проектирование технологии прессования профилей требует учета следующих особенностей истечения металла.

Прессование характеризуется неравномерностью истечения по сечению контейнера. Центральные слои текут быстрее периферийных. Температура нагрева оказывает существенное влияние на истечение. С повышением температуры сопротивление деформации металла уменьшается, скорость истечения увеличивается. Участки с большей толщиной истекают быстрее, чем тонкие.

Дополнительно специфические особенности истечения профиля вызваны: **размерами сечения; видом сечения; различием толщин элементов; требованиями к качеству.**

Назначаемые условия прессования должны обеспечивать для различных элементов профиля как можно более близкие по значениям скорости истечения, при которых гарантирована целостность изделия, его геометрия и структура.

Разность скоростей истечения элементов не должна вызывать между истекающими слоями этих элементов напряжений, превышающих допустимое напряжение прессуемого металла на сдвиг. Тогда неиз-

бежно возникающие сдвиговые напряжения перейдут в остаточные напряжения выпрессованного металла, но целостность сечения будет сохранена. В случае нарушения указанного условия появляются трещины.

Размеры сечения требуют такого размещения профиля на зеркале матрицы, чтобы канал (каналы) вписывался в круг с диаметром D_{on} :

$$D_{on} = 0,8D_{кон}. \tag{5.1}$$

Вид сечения и разнотолщинность элементов учитывают таким образом, что более узкие элементы канала располагают ближе к центру контейнера. Это вызвано тем, что относительное влияние сил трения о стенки канала матрицы в узких участках больше, чем в широких, а в центральных слоях металл более разогрет и имеет меньшее сопротивление деформации, чем облегчается его истечение.

Для обеспечения равномерности истечения элементов крупных профилей профиль размещают так, чтобы отношение площадей проекций питающих объемов элементов на зеркало матрицы к площадям сечений этих элементов было примерно одинаковым (рис. 23):

$$\frac{F_1}{f_1} \approx \frac{F_2}{f_2} = const. \tag{5.2}$$

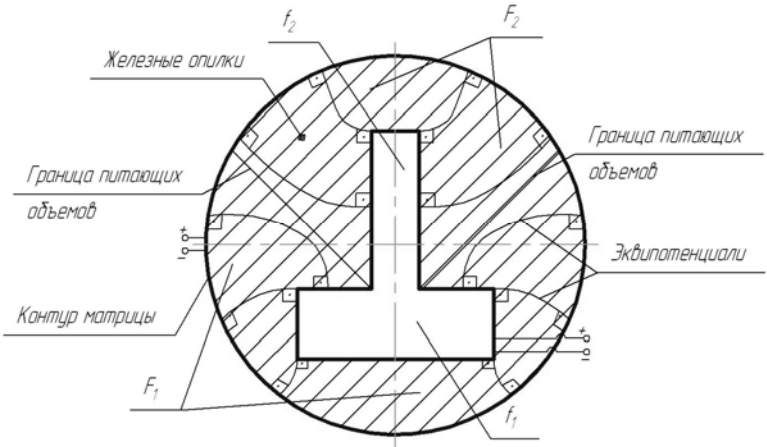


Рис. 23

Этого добиваются, используя электропроводную бумагу с нанесенными на ее поверхность железными опилками и подводя напряжение к профилю, выполненному из проволоки (рис. 23). Эквипотенциалы (линии равных напряжений) укажут границы зон питающих объемов, т.е. расположение очка профиля. Того же добиваются, перемещая профиль по зеркалу матрицы и вычисляя F_i/f_i .

Реальная картина скоростей истечения по диаметру матрицы является, если поверхность зеркала матрицы разбить на кольцевые зоны и в каждой зоне выполнить отверстие для истечения (рис. 24). После прессования в такую многоканальную матрицу длины прутков будут различны, следовательно, скорости истечения по различным кольцевым зонам различны.

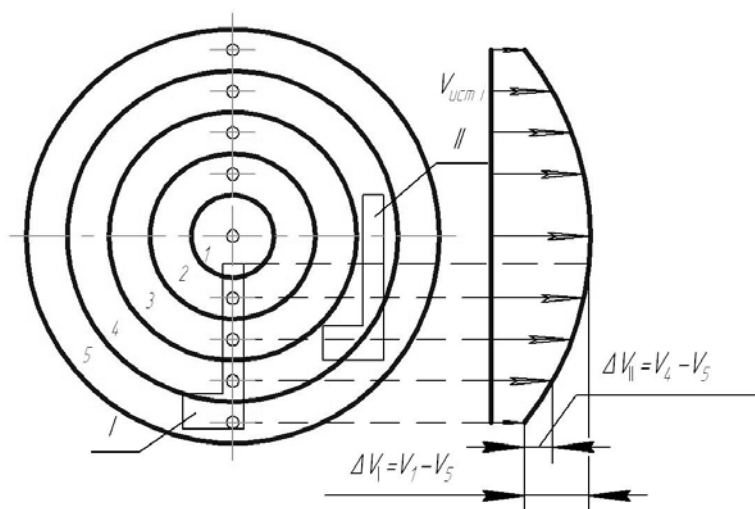


Рис. 24

Общая картина истечения представлена на рис. 24 в виде эпюры скоростей истечения $V_{уст i}$. Скорость в центральной зоне 1 больше, чем в зоне 5 на периферии примерно в 3 раза.

Профиль, располагаемый на зеркале матрицы, для получения минимального различия скоростей на участках должен пересекать как можно меньшее число кольцевых зон. Так, например, расположение канала для прессования уголка в положении II предпочтительней, чем в положении I, так как разность скоростей истечения его участков

$\Delta V_{II} = V_4 - V_5$ меньше разности скоростей истечения $\Delta V_I = V_1 - V_5$:
 $\Delta V_{II} < \Delta V_I$.

Температура металла по кольцевым зонам различна, что сказывается на структуре и качестве изделий. Выравнивание скоростей за счет расположения профиля улучшает качество изделий.

5.2 Проектирование канала матрицы

Матрица является основным инструментом, влияющим на качество изделий. Для этой цели ее конструкция должна обеспечивать:

- выравнивание скоростей истечения элементов профиля до значений, гарантирующих цельность сечения;
- получение требуемых конечных размеров профиля с учетом утяжки на прессовании и последующей правке.

5.2.1 Выравнивание скоростей истечения

Скорости выравнивают применением следующих приемов:

- расположением канала на зеркале матрицы;
- использованием калибрующих поясков различной длины;
- тормозными и направляющими конусами на входе в канал.

Критерием правильности решения (гарантии цельности) является получение прямолинейного профиля без каких-либо локальных нарушений его геометрии.

Расположение каналов: каналы на зеркале матрицы должны вписываться в круг диаметром, вычисляемым по формуле (5.1).

Наиболее общими рекомендациями по расположению каналов являются:

1. Симметричный по двум осям профиль располагают симметрично обеим осям контейнера (рис. 25 а).
2. Профиль, симметричный относительно одной оси, располагают со смещением по оси симметрии (рис. 25 б):

$$a \approx (0,2 \div 0,5)b. \quad (5.3)$$

3. Несимметричный профиль располагают с удалением массивного элемента от центра контейнера (рис. 25 в).

4. Универсальным способом выравнивания скоростей истечения является создание центрально-симметричного многоочкового истече-

ния. Для этого профили произвольного сечения располагают симметрично относительно центра контейнера с удалением их массивных элементов на периферию (рис. 25 з).

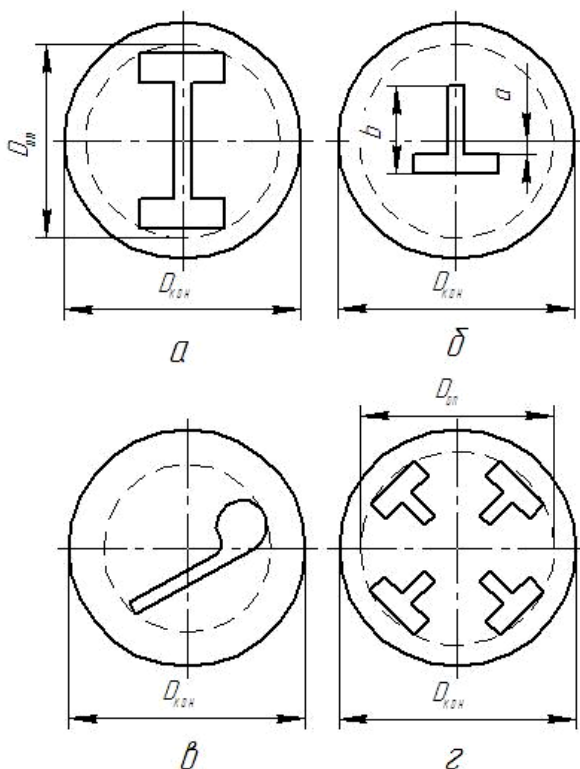


Рис. 25. Приемы выравнивания скоростей истечения профилей расположением каналов

При любых вариантах расположения профилей необходимо, чтобы силы выпрессовки отдельных профилей, приложенные в центрах тяжести сечений их каналов, создавали уравновешивающиеся относительно центра контейнера моменты. То же относится к профилям сложных сечений: силы выдавливания частей профиля должны уравновешиваться относительно центра контейнера.

Проектирование длин калибрующих поясков имеет целью выравнивать скорости истечения по участкам сечения. Прессовая матрица

представляет собой толстую металлическую шайбу со сквозным каналом в центральной части для прессования профиля. Канал матрицы выполняют ступенчатым (рис. 26). Со стороны зеркала матрицы располагают участок, формирующий и калибрующий сечение профиля, называемый участком калибрующего пояска (поясков). Далее по каналу следует участок, называемый распушкой. Профиль проходит по калибрующему участку, преодолевая значительные силы трения. Длину калибрующего пояска и размеры поперечного сечения канала в зоне калибрующего участка рассчитывают с учетом действия прессовых и послепрессовых факторов.

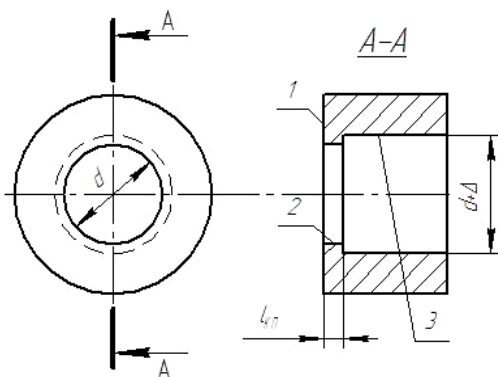


Рис. 26. Матрица для прессования прутка:
 1 – зеркало; 2 – калибрующий поясок; 3 – распушка;
 Δ – расширение размера; $l_{кп}$ – длина калибрующего пояска

Силы трения в зоне калибрующего пояска влияют на скорость истечения профиля. Для простых профилей, например прутка (рис. 26), поясок выполняют постоянной длины по всему периметру профиля. В случае сложных профилей, элементы которых имеют различную толщину, длины калибрующих поясков для различных элементов профиля выполняют различными, чем и выравнивают скорости истечения элементов.

Зону распушки выполняют с увеличенными поперечными размерами канала по отношению к участку калибрующих поясков. Расширение размера (рис. 26) назначают в диапазоне $\Delta = 1 \div 4$ мм. Распушка необходима для устранения излишнего трения профиля по каналу.

Рассмотрим методологию проектирования калибрующих поясков. Участки большей толщины истекают с большей скоростью, чем тонкие участки, поэтому торможение металла на участках большей толщины производят калибрующими поясками большей длины.

Минимальная длина калибрующего пояска назначается равной $2 \div 4$ мм. Предельные максимальные длины поясков ограничиваются $15 \div 20$ мм, так как металл профиля, остывая, отходит от пояска, и дальнейшее увеличение пояска не влияет на истечение. Матрицы для массивных профилей (например, панелей) снабжают поясками длиной более 20 мм.

Для полосы постоянной толщины, канал которой проходит через центр матрицы, калибрующий поясок выполняют плавно увеличивающимся к центру (рис. 27 а), где металл более разогрет и скорость истечения больше, чем на периферии.

Для полосы плавнопеременной толщины длину пояска увеличивают к широкой части профиля (рис. 27 б). Закономерность увеличения пояска определяют в указанных случаях опытным путем.

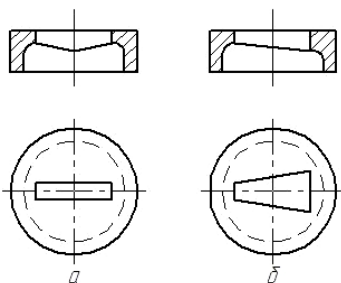


Рис. 27

Для профилей с резко отличающимися толщинами элементов назначение длин калибрующих поясков производят по соотношению:

$$l_{кн\ i} \Pi_i^{y\delta} = const, \quad (5.4)$$

где $\Pi_i^{y\delta}$ – удельный периметр;

$$\Pi_i^{y\delta} = \frac{\Pi_i}{F_i},$$

Π_i , $l_{kn i}$, F_i – соответственно периметр, длина калибрующего пояска и площадь поперечного сечения i -го участка профиля.

Рассмотрим назначение поясков для конкретного профиля – тавра (рис. 28 а):

$$l_{kn1}\Pi_1^{y\delta} = l_{kn2}\Pi_2^{y\delta},$$

$$\Pi_1^{y\delta} = \frac{l_{2-1-8-7}}{F_1}, \quad \Pi_2^{y\delta} = \frac{l_{7-6-5-4-3-2}}{F_2}.$$

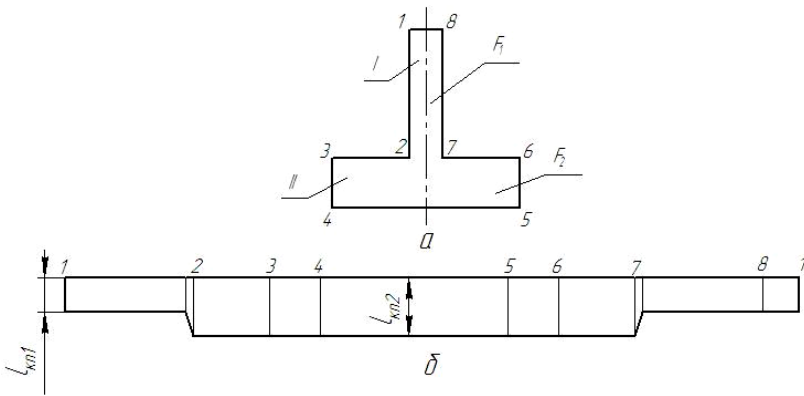


Рис. 28

При расчете соблюдают следующую последовательность: назначают минимальный поясок для наиболее узкой части, затем определяют длину пояска для более широкого участка:

$$l_{kn2} = l_{kn1} \frac{\Pi_1^{y\delta}}{\Pi_2^{y\delta}}. \quad (5.5)$$

Для наглядности вычерчивают развертку длин калибрующих поясков (рис. 28 б). Проекция зеркала матрицы на плоскость чертежа является прямой линией. На этой линии откладывают части периметра, соответствующие отрезкам между узловыми точками: 1-2, 2-3 и т.д. до замыкающего периметр отрезка (8-1). От узловых точек вниз отклады-

вают длины найденных расчетом по формуле (5.5) калибрующих поясков. В точках, относящихся к двум участкам (т. 2 и 7), длины калибрующих поясков изменяются практически скачкообразно. По всему периметру профиля длины поясков изменяются в пределах 2÷15 мм.

В случаях, когда действия сил трения о калибрующие пояски оказывается недостаточно, назначают тормозные углы на входе в канал (рис. 29 а; угол А). Наиболее эффективны углы торможения $A = 3 \div 4^\circ$.

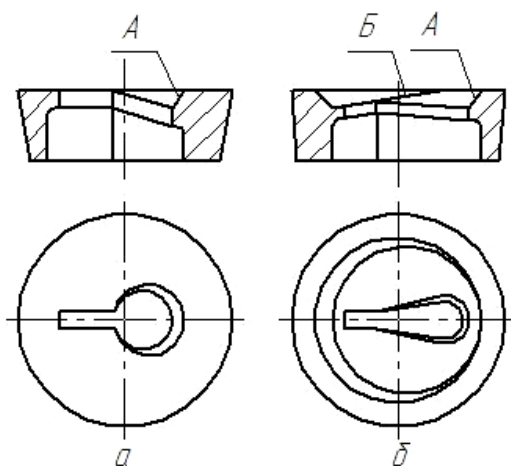


Рис. 29

В случаях, когда профиль имеет длинные тонкие полки, металл направляют в сторону тонкой полки наклонной проточкой Б с углом наклона к горизонтالي $3 \div 10^\circ$, а со стороны толстой части выполняют тормозной конус А (рис. 29 б).

5.2.2 Проектирование исполнительных размеров канала матрицы

Геометрические размеры канала матрицы при комнатной температуре должны быть выполнены с учетом факторов прессования и послепрессовой правки. Для соблюдения требований по геометрии профиля матрицу выполняют с размерами большими, чем номинальные размеры профиля:

$$L_i^{ucn} = L_n + M + L_n (K_y + K_p + K_T), \quad (5.6)$$

где L_n – номинальный размер (по чертежу изделия);

M – допуск на размер, $M \approx (0,03 \div 0,05)L_n$;

K_y – коэффициент утяжки при прессовании, $K_y \approx 0,002 \div 0,02$;

$z = 4 \div 6$ – коэффициент учета растяжения при правке,
 $K_p \approx 0,02 \div 0,05$;

K_T – коэффициент температурной усадки (показывает разницу линейного расширения материала профиля и матрицы: профиль увеличивается, а канал уменьшается от увеличения температуры), $h_{\text{бур}} = 20$.

6 ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ СПЛОШНЫХ ПРОФИЛЕЙ

6.1 Общие сведения: разновидности; условия эксплуатации; материалы

Для прессования используются следующие разновидности инструмента: матрицы, контейнеры, пресс-шайбы, иглы, прошивники, пресс-штемпели, матрицедержатели, иглодержатели, матричные доски, направляющие проводки.

Матрица, контейнер, пресс-шайба, игла, прошивник являются инструментом непосредственного контакта с прессуемым металлом и относятся к инструменту первой группы (основному инструменту). Пресс-штемпель, матрицедержатель, иглодержатель, матричная доска, направляющая проводка относятся ко второй инструментальной группе.

Условия эксплуатации инструмента первой группы характеризуются:

- высокой температурой (для алюминиевых сплавов – 400÷600°C; для тяжелых цветных сплавов – до 1200°C);
- значительными контактными давлениями (до 2000 МПа);
- значительными силами трения;
- воздействием химически активных элементов, привносимых поверхностными слоями прессуемых заготовок.

Указанные специфичные условия вызывают большой износ и расход инструмента первой группы, затраты на который составляют до 90 % общих затрат на инструментарий.

В качестве материала используют специальные инструментальные стали, которые должны иметь высокую теплопрочность и теплоустойчивость. Наиболее широко применяют следующие жаропрочные стали аустенитного класса, легированные хромом, вольфрамом, никелем, молибденом: 5ХНМ, 5ХНВ ($\sigma_b^{400^\circ C} = 1250$ МПа); 3Х2В8Ф ($\sigma_b^{400^\circ C} = 1400$ МПа); 3Х3М3Ф ($\sigma_b^{400^\circ C} = 1600$ МПа); 4Х3М2ВФГС ($\sigma_b^{400^\circ C} = 1800$ МПа). Для условий, требующих наибольшей теплопрочности, применяют мартенситные стали, легированные кобальтом: 2Х8В8М2К8 ($\sigma_b^{750^\circ C} = 1000$ МПа, $\sigma_b^{400^\circ C} = 2000$ МПа).

6.2 Матрица: конструкция и расчет

Используемые матрицы по входной части разделяют на следующие виды: плоские (рис. 30 а), конические (рис. 30 б), радиальные (рис. 30 в).

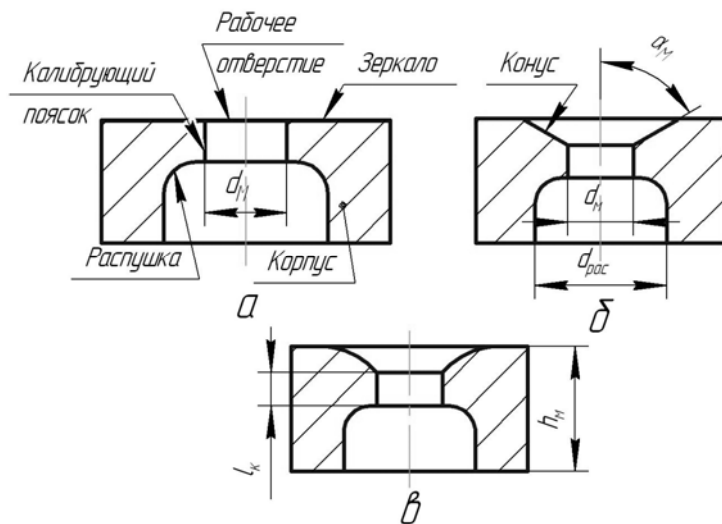


Рис. 30

Элементы матрицы: зеркало, калибрующий пояс ($l_{кп}$), конус (α_M), корпус ($h_M = 0,1 \dots 0,5 D_{кон}$), распушка ($d_{рас} = d_M + \delta$).

Наибольшее распространение получили плоские матрицы, дающие лучшее качество поверхности отпрессованного изделия. Для труб распространены конические матрицы.

С учетом наружной поверхности и монтажа матрицы делят на следующие группы: с прямым конусом (рис. 31 а); с обратным конусом (рис. 31 б); с цилиндрическим буртом (рис. 31 в); с прямым конусом в обойме (рис. 31 г); с обратным конусом в обойме (рис. 31 д); цельные, усиленные по корпусу (рис. 31 е).

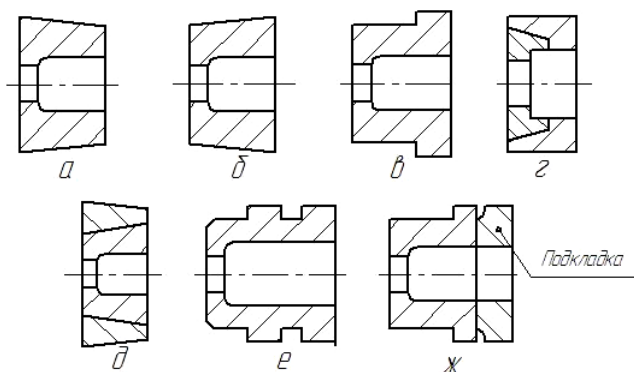


Рис. 31

Если по толщине матрица оказывается недостаточно прочной, сборку матричного узла выполняют с возможностью установки упрочняющей подкладки под матрицу (рис. 31 ж).

По числу каналов матрицы делят на одноканальные и многоканальные. При использовании последних уменьшается вытяжка, повышается производительность труда, поэтому многоканальное прессование часто предпочтительней.

Расчет матриц на прочность осуществляется по толщине калибрующего пояска и общей толщине корпуса.

6.2.1 Расчет калибрующего пояска

Матрица нагружена давлением прессования q (рис. 32 а). Мысленно разрежем матрицу радиальным сечением и развернем по прямой калибрующий поясок (рис. 32 б).

Удельная нагрузка (давление на матрицу) определяется по формуле:

$$q = k_{квжс} \frac{P_n}{F_k}, \quad (6.1)$$

где $k_{квжс}$ – коэффициент квазижидкостного давления, $k_{квжс} = 0,8$.

Поясок можно рассматривать как консоль, длина которой:

$$l_{конс} = (d_{рас} - d_m) / 2.$$

Сила, действующая на поясок:

$$P_{\text{поя}} = q \cdot f_{\text{зер. конс}},$$

где $f_{\text{зер. конс}}$ – площадь выступа пояска в плоскости зеркала (площадь AA_1B_1B). Силу считаем приложенной в точке пересечения диагоналей прямоугольника AA_1B_1B (рис. 32 б).

Тогда расчетную схему силовой нагрузки представим как консольную балку длиной $l_{\text{конс}}$, нагруженную сосредоточенной силой $P_{\text{поя}}$ в середине длины: $l_{\text{пл}} = l_{\text{конс}}/2$ (рис. 32 в).

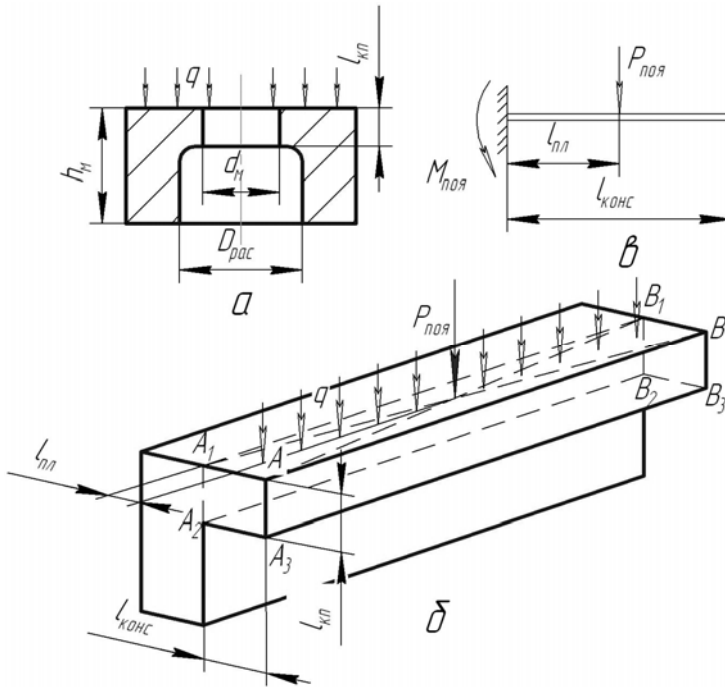


Рис. 32

Усилие $P_{\text{поя}}$, действующее в плоскости «зеркала» на поверхность выступа калибрующего пояска, создает в опасном сечении $A_1B_1B_2A_2$ момент:

$$M_{\text{поя}} = P_{\text{поя}} l_{\text{пл}} = P_{\text{поя}} \frac{l_{\text{конс}}}{2}.$$

Возникающие напряжения изгиба будут равны:

$$\sigma_{из} = \frac{M_{поя}}{W_{A_1B_1B_2A_2}} = \frac{6P_{поя}l_{пл}}{l_{AB}l_{кп}^2} = \frac{3ql_{конс}^2}{l_{кп}^2}.$$

Условие прочности пояска:

$$\sigma_{из} \leq [\sigma_{из}],$$

где $[\sigma_{из}]$ – допускаемое напряжение на изгиб материала матрицы:

$$[\sigma_{из}] = \sigma_b / K_{зан};$$

σ_b – предел прочности материала матрицы в условиях прессования (для матриц из стали 3Х2В8 $\sigma_b^{400^{\circ}C} = 1400$ МПа);

$K_{зан}$ – коэффициент запаса, $K_{зан} = 1,01 \div 1,6$.

6.2.2 Расчет матрицы на прочность

Произведем расчет на прочность матрицы, имеющей канал для прессования швеллера (рис. 33 а). Калибрующий поясок во внимание не принимаем.

Выступ АА₂В₂В («язык») можно рассматривать как консоль (рис. 33 б), на которую действует сила:

$$P_{яз} = F_{яз}q,$$

где $F_{яз}$ – площадь «языка», $F_{яз} = L_A L_B$;

q – давление прессования (формула 6.1).

Схемой нагружения является нагружение консольной балки (рис. 33 в). Усилие, приложенное к «языку», создает изгибающий момент $M_{яз}$:

$$M_{яз} = P_{яз} \frac{L_A}{2}.$$

Опасным сечением является сечение АВВ₁А₁, в котором возникают напряжения изгиба:

$$\sigma_{uz} = \frac{M_{\text{я3}}}{W_{ABB_1A_1}},$$

где $W_{ABB_1A_1}$ – момент сопротивления сечения ABB_1A_1 ,

$$W_{ABB_1A_1} = L_B h_m^2 / 6.$$

Условие прочности: $\sigma_{uz} \leq [\sigma_{uz}]$ (см. п. 6.2.1).

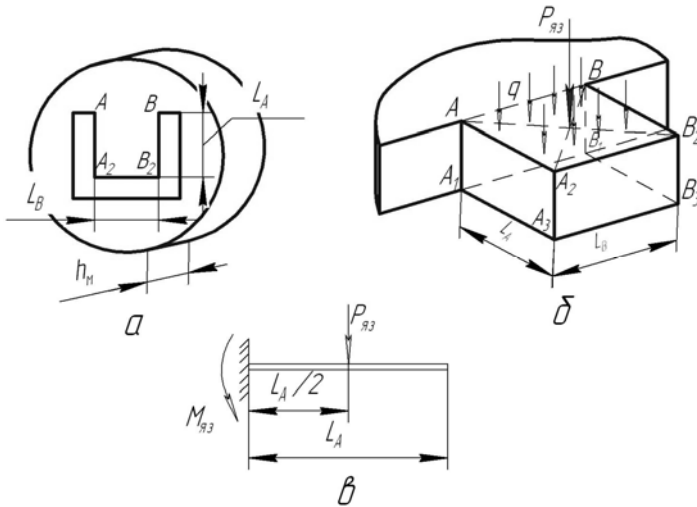


Рис. 33

В случае, если условие прочности не выполняется, берут большую толщину матрицы, либо применяют упрочняющую подкладку (рис. 31 ж), либо изменяют марку стали и назначают сталь большей прочности.

6.3 Пресс-шайба: конструкция и расчет

Пресс-шайба предназначена для передачи давления пресс-штемпеля на металл. Она контактирует с горячим металлом при высоких удельных нагрузках, т.е. работает в тяжелых условиях. Для обеспечения достаточного охлаждения используют одновременно несколько пресс-шайб, чередуя их в работе. Пресс-шайбы изготавливают из теплостойких сталей 5ХНМ, 5ХНВ.

Конструктивно пресс-шайбу для прессования алюминиевых сплавов выполняют (рис. 34) в виде цилиндра. Высоту цилиндра берут не менее половины диаметра, чтобы пресс-шайба не могла «заклиниться» в контейнере. На передней части пресс-шайбы выполнен бурт длиной 20÷25 мм. Диаметр пресс-шайбы в зоне бурта (рабочий диаметр) должен быть на 1÷2 мм меньше диаметра контейнера для обеспечения эвакуации воздуха при распрессовке слитка. На остальной части (на «теле» пресс-шайбы) диаметр выполняют меньше рабочего диаметра на 4÷6 мм.

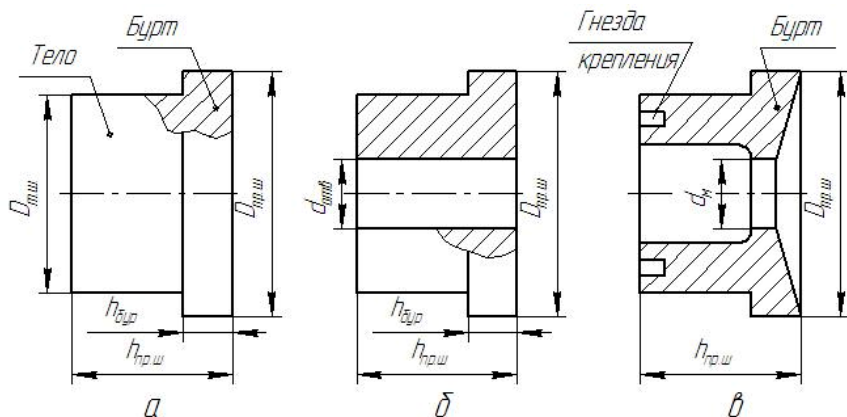


Рис. 34. Конструкция пресс-шайб: *a* – пресс-шайба пруткового пресса ($D_{пр.ш} = D_{кон} - \delta$; $\delta = 1 \div 2$ мм; $D_{т.ш} = D_{пр.ш} - z$; $z = 4 \div 6$ мм; $h_{бур} = 20$ мм; $h_{пр.ш} = \varphi D_{пр.ш}$; $\varphi = 0,5 \div 0,55$); *б* – пресс-шайба трубного пресса для прямого прессования ($d_{отв} = d_{из} + \delta_{из}$; $\delta_{из} = 0,5 \div 1$ мм); *в* – пресс-шайба-матрица трубного пресса для обратного прессования ($d_{м}$ – рабочий диаметр матрицы)

Пресс-шайбу трубного пресса выполняют с центральным отверстием под иглу (рис. 34 б). Пресс-шайба для обратного прессования снабжена гнездами крепления к пресс-штемпелю (рис. 34 в).

Расчет пресс-шайбы осуществляют по напряжениям сжатия:

$$\sigma_{сж} = \frac{P_n}{F_{пр.ш}} \leq [\sigma_{сж}],$$

где $F_{пр.ш}$ – торцовая площадь пресс-шайбы;

$$F_{np.ш.} = \pi D_{np.ш.}^2 / 4 \quad (\text{для пруткового прессы});$$

$$F_{np.ш.} = \pi (D_{np.ш.} - d_{уз})^2 / 4 \quad (\text{для трубного прессы});$$

$[\sigma_{сж}]$ – допускаемое напряжение сжатия, $[\sigma_{сж}] = \sigma_b / K_{зан}$;

$K_{зан}$ – коэффициент запаса ($K_{зан} = 2 \div 5$).

6.4 Пресс-штемпель: конструкция и расчет

Пресс-штемпель передает на слиток все усилие, развиваемое главным плунжером прессы, поэтому в прессе пресс-штемпель работает с наибольшей нагрузкой. Материалом пресс-штемпеля являются стали 5ХНМ, 5ХНВ и др.

Пресс-штемпель (рис. 35) состоит из двух цилиндров, соединенных конусом. Радиусы переходных зон выполняются плавными, чтобы не возникало концентраторов напряжений.

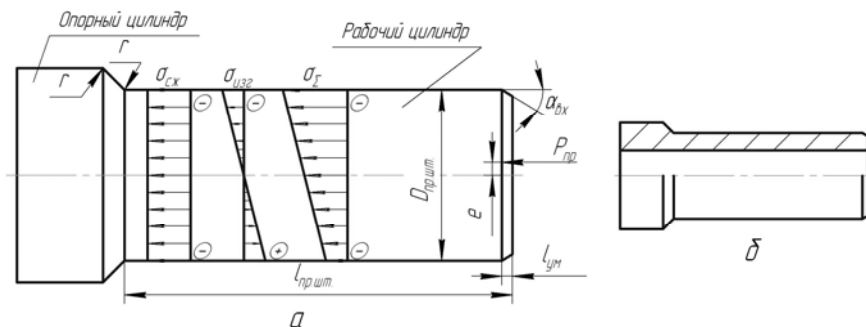


Рис. 35

Диаметр пресс-штемпеля меньше диаметра контейнера, длина – больше длины контейнера. Имеет место следующее соотношение размеров:

$$D_{пр.шт.} = D_{кон} - \delta \quad (\delta = 5 \div 10 \text{ мм});$$

$$l_{пр.шт.} = l_{кон} + h_{пр.ш.} + \Delta l ;$$

где $l_{кон}$ – длина контейнера;

$h_{пр.ш}$ – высота пресс-шайбы;

Δl – избыток длины ($\Delta l = 20 \div 50$ мм).

Переднюю часть пресс-штемпеля на длине $l_{ум} \approx 20$ мм выполняют с незначительной конусностью $\alpha_{вх} = 2 \div 10^0$, что облегчает ввод пресс-штемпеля в контейнер.

Пресс-штемпели трубных прессов выполняют полыми (рис. 35 б), так как по оси проходит иглодержатель и игла.

Расчет пресс-штемпеля производят на сжатие и на изгиб. Сила прессования не совпадает, как правило, с осью пресс-штемпеля. Появляется эксцентриситет (e), и возникает необходимость учитывать напряжения от изгиба, вызванного эксцентриситетом.

Значения действующих напряжений определяются по формулам:

$$\sigma_{сж} = \frac{P_{пр}}{F_{пр.шт}} = \frac{4P_{пр}}{\pi D_{пр.шт}^2},$$

$$\sigma_{из} = \frac{M_{из}}{W_{из}} \cong \frac{P_{пр}e}{0,1D_{пр.шт}^3},$$

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_{сж} + \sigma_{из},$$

где $W_{изг}$ – момент сопротивления изгибу ($W_{изг} \approx 0,1D_{пр.шт}^3$).

Условие прочности:

$$\sigma_{\Sigma} \leq [\sigma_{сж}],$$

где $[\sigma_{сж}]$ – допускаемое напряжение сжатия, $[\sigma_{сж}] = \sigma_b / K_{зан}$;

σ_b – предел прочности материала пресс-штемпеля в условиях прессования, $\sigma_b^{400^0C} \approx 800 \div 1000$ МПа;

$K_{зан}$ – коэффициент запаса, $K_{зан} = 1,05 \div 1,2$.

Эпюры возникающих напряжений показаны на рис. 35 а.

6.5 Контейнер: конструктивное исполнение и расчет на прочность

Контейнер служит для удерживания заготовки при прессовании. Контейнер (рис. 36) имеет цилиндрическую форму, состоит из нескольких втулок цилиндрической формы, собранных концентрично.

Внутренняя втулка называется рабочей. В наружной втулке могут быть электрические нагреватели, поддерживающие температуру предварительно нагретого в индукторе металла.

В процессе прессования втулки контейнера испытывают значительные напряжения. Давление прессования может быть таким, что развиваемые во втулках напряжения могут превышать предел прочности лучших сталей. Контейнер работает при высокой температуре (для алюминиевых сплавов более 400°C), поэтому стали должны быть теплостойкими и теплопрочными, не деформироваться пластически. Чтобы увеличить возможности контейнерных втулок оказывать сопротивление давлению прессования, их собирают с натягом: каждая наружная втулка за счет натяга развивает сжимающие напряжения во внутренних втулках, тем самым уменьшая действие растягивающих напряжений, вызываемых давлением прессования.

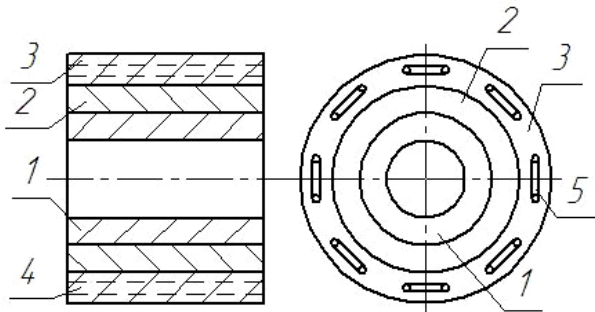


Рис. 36. Конструкция контейнера:

- 1 – рабочая втулка; 2 – промежуточная втулка; 3 – наружная втулка;
- 4 – электрические нагреватели; 5 – соединение нагревателей

Расчет системы «втулка-контейнер» заключается в подборе таких натягов, которые обеспечат длительную прочность контейнера. Контейнер является дорогостоящей деталью, поэтому необходимо обеспечение длительности его работы.

Алгоритм расчета контейнера на прочность состоит из следующих шагов.

1. Выбор количества втулок.

Существует определенное целесообразное количество втулок в зависимости от развиваемого давления прессования q . Рациональное число втулок для соответствующего давления и допускаемого напряжения втулочных сталей приведено в табл. 2.

Таблица 2. Соотношение количества втулок от относительного давления

$a = q/\sigma_A$	0,3	0,31-0,55	0,56-0,75	0,76-1,0	1,01-1,21	1,22-1,5
Число втулок, n_{op}	1	2	3	4	5	6

Целесообразное количество втулок не превышает шести. Если требуется сдерживать большие давления, чем позволяют шесть втулок, то применяют контейнер с намоткой по наружной поверхности центральной втулки особопрочной нагартованной металлической ленты.

Для определения ориентировочного числа втулок n_{op} :

- 1) находят давление прессования q по формуле (3.11);
- 2) назначают марки сталей для втулок (рабочая втулка – особопрочные стали: 3Х2М2Ф – $\sigma_b = 1300$ МПа, 4Х4МНВФ – $\sigma_b = 1500$ МПа; наружные – стали марок: 5ХНВ – $\sigma_b = 800$ МПа, 5ХНМ – $\sigma_b = 1000$ МПа);
- 3) определяют относительное давление a по формуле:

$$a = q/\sigma_b ;$$

- 4) выбирают ориентировочное количество втулок n_{op} из табл. 2.

Для выбранных сталей определяют допускаемые напряжения:

$$[\sigma_i] = \sigma_b / K_{зан} ,$$

где $K_{зан} = 1,4 \div 1,5$ – для рабочей втулки, $K_{зан} = 1,1 \div 1,3$ – для наружных втулок.

По допускаемым напряжениям уточняют число втулок – находят σ_A :

$$\sigma_A = \frac{\sum [\sigma_i]}{n_{op}},$$

затем – $a = q/\sigma_A$. Если значению a соответствует число втулок, большее n_{op} , то увеличивают количество втулок.

2. Определение среднего геометрического значения допускаемых напряжений:

$$\sigma_{\text{гсг}} = \sqrt[n]{[\sigma_1] \cdot [\sigma_2] \cdot \dots \cdot [\sigma_n]}.$$

3. Определение коэффициента толстостенности контейнера (отношение внутреннего диаметра системы к наружному):

$$K_{\text{тол к}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_A}{\sigma_{\text{гсг}}} - \frac{2\tilde{p}}{n\sigma_{\text{гсг}}} \right)^n},$$

где \tilde{p} – общее обозначение давления на поверхности (для внутренней поверхности рабочей втулки $\tilde{p} = q$).

4. Определение коэффициента толстостенности каждой втулки:

$$K_{\text{тол } i} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_A}{[\sigma_i]} - \frac{2\tilde{p}}{n[\sigma_i]} \right)}.$$

5. Определение радиусов втулок (рис. 37):

$$K_{\text{тол } i} = r_{\text{вн } i} / r_{\text{нар } i},$$

где $r_{\text{вн } i}$ – внутренний радиус i -й втулки;

$r_{\text{нар } i}$ – наружный радиус i -й втулки.

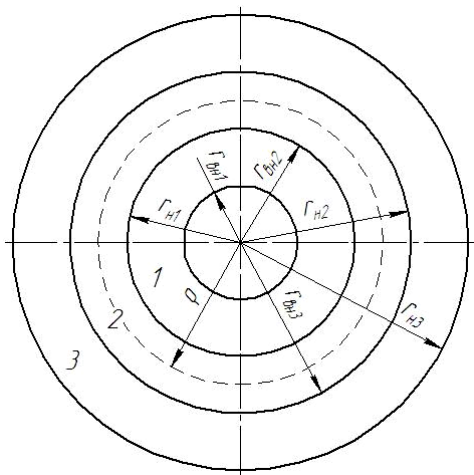


Рис. 37

6. Определение напряжений в контейнере, возникающих от внутреннего давления прессования (используются формулы Лямэ в общем виде):

$$\sigma_r = \frac{\tilde{p}_{вн} r_{вн}^2 - \tilde{p}_{нар} r_{нар}^2}{r_{нар}^2 - r_{вн}^2} - \frac{(\tilde{p}_{вн} - \tilde{p}_{нар}) r_{вн}^2 r_{нар}^2}{(r_{нар}^2 - r_{вн}^2) \rho^2},$$

$$\sigma_t = \frac{\tilde{p}_{вн} r_{вн}^2 - \tilde{p}_{нар} r_{нар}^2}{r_{нар}^2 - r_{вн}^2} + \frac{(\tilde{p}_{вн} - \tilde{p}_{нар}) r_{вн}^2 r_{нар}^2}{(r_{нар}^2 - r_{вн}^2) \rho^2},$$

где σ_r , σ_t – радиальные и тангенциальные напряжения;

$\tilde{p}_{вн}$ – давление на внутренней поверхности втулки;

$\tilde{p}_{нар}$ – давление на наружной поверхности втулки;

ρ – произвольный радиус сечения втулки.

Эпюры распределения напряжений σ_r и σ_t во втулках контейнера от действия давления прессования $\tilde{p} = q$ приведены на рис. 38 а.

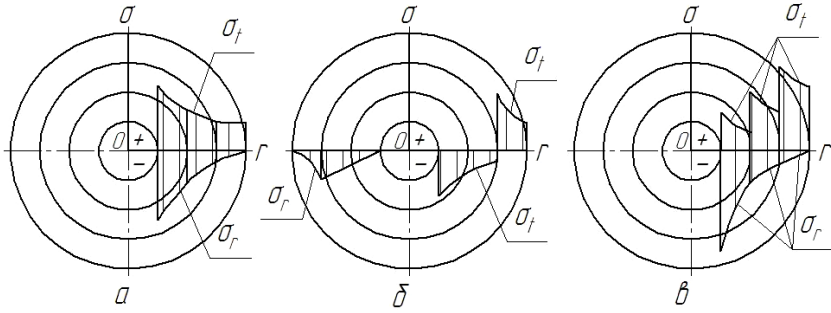


Рис. 38. Эпюры напряжений, возникающих во втулках контейнера: *a* – напряжения от внутреннего давления; *б* – напряжения от посадки 3-й втулки; *в* – суммарные напряжения

Сборку втулок производят изнутри, т.е. на каждую внутреннюю втулку (систему втулок) свободно «набрасывают» с зазором наружные втулки. Зазор создают разогревом наружных втулок. После охлаждения наружные втулки охватывают внутренние втулки и создают напряжения сжатия.

7. Определение эквивалентных напряжений от посадки наружной (*n*-й) втулки на блок внутренних:

$$\sigma_{\text{экв}}^{\tilde{p}_n} = [\sigma_n] - \left(\sigma_{\tau_n}^{\tilde{p}_n} - \sigma_{r_n}^{\tilde{p}_n} \right).$$

8. Определение контактного давления \tilde{p}_n на блок из (*n*-1)-втулок от посадки *n*-й втулки:

$$\tilde{p}_n = \frac{1 - K_{\text{тол } n}^2}{2} \sigma_{\text{экв}}^{\tilde{p}_n}.$$

9. Определяют натяг на радиус *n*-й втулки:

$$\delta_n = \rho_n \frac{\tilde{p}_n}{E} \left(\frac{\rho_n^2 + r_{\text{вн}}^2}{\rho_n^2 - r_{\text{вн}}^2} + \frac{1 + K_{\text{тол } n}^2}{1 - K_{\text{тол } n}^2} \right),$$

где *E* – модуль Юнга, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

10. Определение температурного перепада для сборки втулок с натягом δ_n :

$$\Delta T = \frac{\delta_n}{\alpha_l \rho_n} + (100 \div 150)^\circ\text{C},$$

где α_l – коэффициент линейного расширения металла контейнера, $\alpha_l = 12,5 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$.

11. Определение напряжений от посадки n -й втулки на блок из $(n-1)$ -втулок:

$$\sigma_r = \frac{(-\tilde{p}_{нар}) r_{нар}^2}{r_{нар}^2 - r_{вн}^2} - \frac{(-\tilde{p}_{нар}) r_{вн}^2 r_{нар}^2}{(r_{нар}^2 - r_{вн}^2) \rho^2},$$

$$\sigma_t = \frac{(-\tilde{p}_{нар}) r_{нар}^2}{r_{нар}^2 - r_{вн}^2} + \frac{(-\tilde{p}_{нар}) r_{вн}^2 r_{нар}^2}{(r_{нар}^2 - r_{вн}^2) \rho^2}.$$

12. Каждая наружная втулка при посадке ее на блок внутренних сама находится под действием внутреннего давления, и возникающие в ней напряжения вычисляются по формулам:

$$\sigma_r = \frac{\tilde{p}_{вн} r_{вн}^2}{r_{нар}^2 - r_{вн}^2} - \frac{\tilde{p}_{вн} r_{вн}^2 r_{нар}^2}{(r_{нар}^2 - r_{вн}^2) \rho^2},$$

$$\sigma_t = \frac{\tilde{p}_{вн} r_{вн}^2}{r_{нар}^2 - r_{вн}^2} + \frac{\tilde{p}_{вн} r_{вн}^2 r_{нар}^2}{(r_{нар}^2 - r_{вн}^2) \rho^2}.$$

Эпюры напряжений от посадки наружной (в данном случае третьей) втулки на блок внутренних показаны на рис. 38 б.

Последовательное определение напряжений от посадки наружных втулок на внутренние и вычисление напряжений по п.п. 11 и 12 дает для каждого случая эпюры, аналогичные рис. 38 б.

13. Суммируя напряжения от внутреннего давления прессования (рис. 38 *a*) и посадок втулок (рис. 38 *б*), находят их суммарные значения для наружной и внутренней поверхности каждой втулки.

Вид эпюр суммарных напряжений приведен на рис. 38 *в*.

14. По найденным значениям суммарных напряжений определяют по третьей гипотезе прочности эквивалентные напряжения:

$$\sigma_{\text{эkv}}^{\text{III}} = \sigma_{ti}^{\Sigma} - \sigma_{ri}^{\Sigma}.$$

При этом учитываются знаки: радиальные напряжения являются всегда сжимающими и учитываются со знаком «минус».

15. Эквивалентные напряжения сравнивают с допускаемыми для данной втулки. Условием прочности является соотношение:

$$\sigma_{\text{эkv}}^{\text{III}} \leq [\sigma_i],$$

где $[\sigma_i]$ – допускаемое напряжение в *i*-й втулке, $[\sigma_i] = \frac{\sigma_b}{K_{\text{зан}}}$;

σ_b – предел прочности материала втулки;

$K_{\text{зан}}$ – коэффициент запаса, $K_{\text{зан}} = 1,05 \div 1,2$.

В случае выполнения условия прочности контейнер является работоспособным.

7 НАЛАДКА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПРЕССЕ

Для прессования необходимо смонтировать инструмент в абсолютно жесткой системе крепления на период прессования, который потом может быть удален из положения прессования для отделения пресс-остатка. При смене матрицы система должна быть легко разбираема для освобождения гнезда, в которое вставляется новая матрица.

С целью обеспечения жесткости системы на период прессования наладку запирают в горловине пресса, находящейся на передней траверсе, специальным клином. При этом клиновой затвор должен выдерживать усилие прессования без деформации. Клиновой затвор должен быть легко извлекаем из положения «заперто» и легко восстанавливаемым в это положение.

Наладка инструмента для прессования на гидравлическом прессе приведена на рис. 39. На схеме контейнер находится в положении, прижатом к мундштуку. Прижим осуществляется посредством цилиндров контейнера (на схеме не изображены). Контейнер имеет возможность перемещаться в положение 25. Прижим контейнера должен быть таким, чтобы давление прижима превышало давление прессования. Только в этом случае не будет затечек металла между контейнером и матрицедержателем, а произойдет выпрессовывание в канал матрицы. Сборка инструмента в рабочее состояние осуществляется путём последовательного вставления матрицедержателя, матрицы, подкладного кольца в мундштук при снятой крышке 26 и отсутствии упорного кольца 6. После этого в мундштук вставляется упорное кольцо. Рым-болт 22 служит для транспортировки упорного кольца.

Всю сборку матричного узла производят вне рабочего положения мундштука, за пределами станины пресса. Затем мундштук вдвигают в горловину станины пресса и заклинивают затвором. Далее производят прессование перемещением пресс-штемпеля в крайнее переднее положение с сокращением длины слитка до размера пресс-остатка. После чего процесс выдавливания останавливают, поднимают клин, мундштук с матрицедержателем, пресс-остатком и изделием перемещают за пределы станины пресса. Вне станины отделяют пресс-остаток, убирают изделие, возвращают мундштук в рабочее положение и опускают клиновой затвор. Далее цикл прессования повторяется.

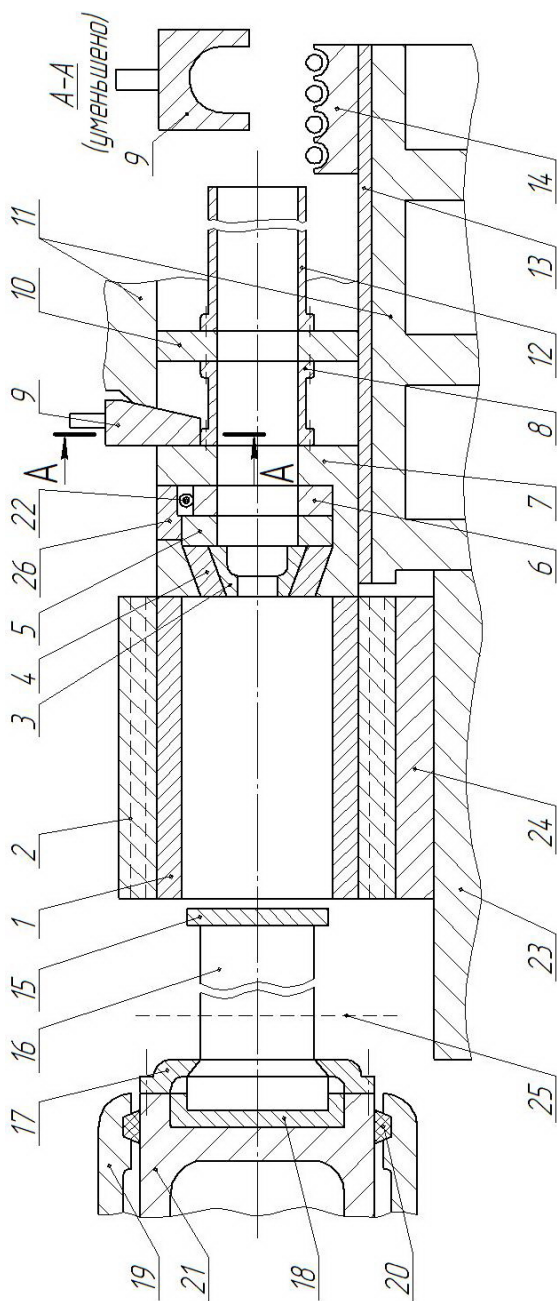


Рис. 39. Наладка инструмента для прессования на гидравлическом прессе: 1 – рабочая втулка контейнера;

2 – наружная втулка контейнера с нагревателями; 3 – матрица для прессования; 4 – матрицедержатель;

5 – опорное кольцо матрицедержателя; 6 – опорное кольцо; 7 – мундштук (передняя головка);

8 – соединительная труба; 9 – клиновидная труба; 10 – мундштук (задняя головка); 11 – неподвижная траверса (станина пресса); 12 – выходная труба; 13 – направляющая мундштука; 14 – ролик; 15 – пресс-шайба; 16 – пресс-штемпель; 17 – прижимное кольцо пресс-штемпеля; 18 – опорная плита пресс-штемпеля; 19 – главный цилиндр пресса; 20 – уплотнение главного цилиндра пресса; 21 – главный плунжер; 22 –

рым-болт; 23 – салазки станины движения контейнера; 24 – контейнеродержатель;

25 – заднее положение контейнера; 26 – крышка матрицедержателя

8 ЦИКЛ ПРЕССОВАНИЯ. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРЕССОВ

8.1 Элементы цикла прессования

Прессование является процессом, осуществляемым циклически. Элементом цикла прессования являются следующие действия (рис. 40):

1. Подача нагретого в печи нагрева слитка на лоток-податчик; следом за слитком помещают пресс-шайбу. Затем производят заталкивание слитка и пресс-шайбы в контейнер. Слиток помещается в контейнер с зазором. Эту операцию осуществляют либо специальным толкателем (на рисунке не показан), либо непосредственно пресс-штемпелем (как на рис. 40 б).

2. Распрессовка слитка (рис. 40 в). В этом элементе цикла усилие прессования достигает максимального значения, т.к. слиток имеет наибольшую длину: $P_{рас} = P_{np\max}$. Распрессовку следует производить медленно, т.к. в это время происходит эвакуация воздуха из зазора между слитком и контейнером.

3. Установившийся процесс выдавливания (рис. 40 г, д) продолжается от начала выхода изделия до положения, характеризующегося размером недопрессованного слитка, равным длине пресс-остатка. В этот момент прессование останавливают.

4. Подготовка к отделению пресс-остатка начинается с момента остановки выдавливания. Давление на пресс-штемпель, передаваемое главным плунжером пресса, сбрасывают; контейнер отодвигают за пределы прессшайбы (рис. 40 е). После чего отодвигают назад пресс-штемпель (рис. 40 ж). Пресс-остаток с «прилипшей» к нему пресс-шайбой консольно удерживается относительно зеркала матрицы. Пресс-шайба сцеплена с пресс-остатком как за счет проникновения мягкого алюминиевого сплава во впадины микрорельефа прессшайбы, так и за счет тонких затечек, которые имеют место по всей окружности пресс-шайбы, поскольку между пресс-шайбой и контейнером существует исходный зазор для эвакуации воздуха. Прочности указанного сцепления достаточно для удержания пресс-шайбы на весу в фиксированном состоянии, что необходимо для отделения пресс-остатка.

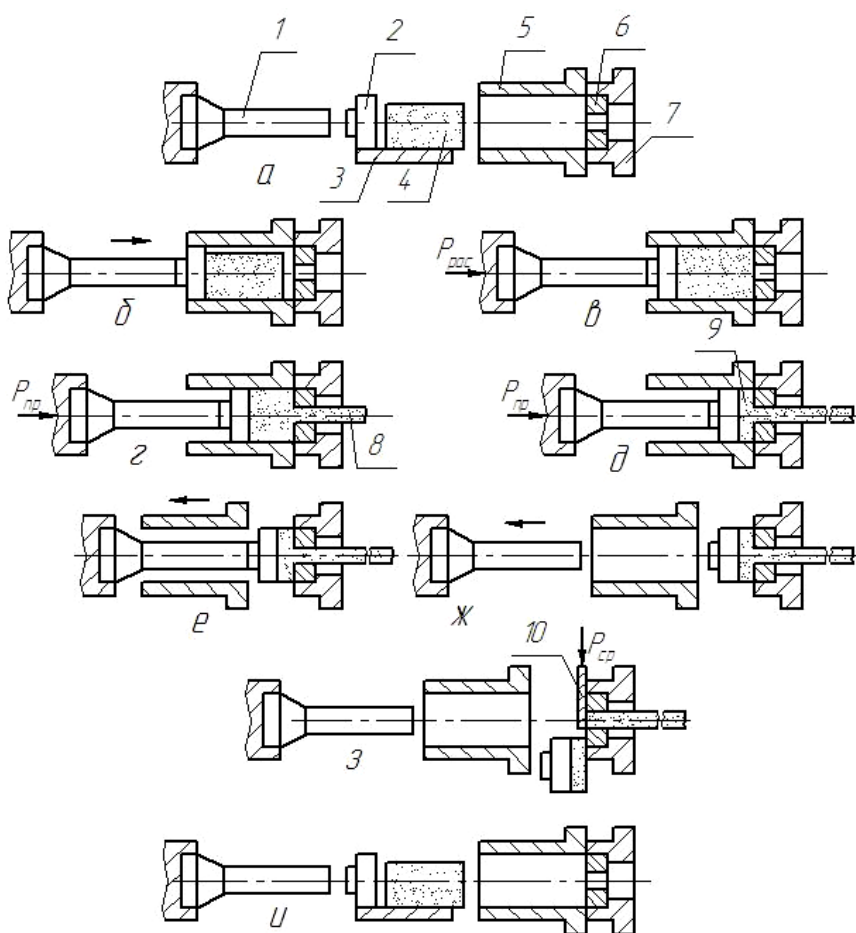


Рис. 40. Схема осуществления элементов цикла прессования:
а, б – подача слитка; *в* – распрессовка; *г, д* – прессование;
е, ж – подготовка к отделению пресс-остатка; *з* – отделение пресс-остатка
срезом; *и* – подача нового слитка; *1* – пресс-штемпель; *2* – пресс-шайба;
3 – податчик слитков; *4* – слиток; *5* – контейнер; *6* – матрица;
7 – матрицедержатель; *8* – изделие; *9* – пресс-остаток;
10 – нож среза пресс-остатка

5. Отделение пресс-остатка (рис. 40 з) осуществляется ножом с плоской поверхностью непосредственного контакта с пресс-остатком. Нож приводится в движение гидроцилиндром усилием до 20 тс. После отделения пресс-остаток с пресс-шайбой падают в приемник (на рисунке не показан), откуда транспортируются на вспомогательный гидрпресс, отделяющий пресс-остаток от пресс-шайбы. Свободная пресс-шайба возвращается на лоток подачи для осуществления нового цикла прессования (рис. 40 и).

8.2 Производительность прессов

Часовая производительность пресса определяется по формуле:

$$Q_{\text{час}} = \frac{K_{\text{вр}} M_{\text{заг}} \eta_{\text{год}}}{K_{\text{прц}} (t_{\text{маш}} + t_{\text{вспом}})}, \quad (8.1)$$

где $M_{\text{заг}}$ – масса заготовки;

$\eta_{\text{год}}$ – выход годного (%);

$t_{\text{маш}}$ – машинное время выдавливания заготовки (мин);

$$t_{\text{маш}} = l_{\text{пр}} / V_{\text{ист}},$$

$V_{\text{ист}}$ – скорость истечения профиля из канала матрицы (м/мин);

$l_{\text{пр}}$ – общая длина профиля, отпрессованного из заготовки;

$t_{\text{вспом}}$ – вспомогательное время на одну прессовку (мин);

$K_{\text{вр}}$ – коэффициент размерности времени, $K_{\text{вр}} = 60$;

$K_{\text{прц}}$ – коэффициент размерности по выходу годного, $K_{\text{прц}} = 100$.

С учетом коэффициентов размерностей формула (11.1) принимает вид:

$$Q_{\text{час}} = 0,6 \frac{M_{\text{заг}} \eta_{\text{год}}}{\left(\frac{l_{\text{пр}}}{V_{\text{ист}}} + t_{\text{вспом}} \right)}. \quad (8.2)$$

Анализ формулы (11.2) показывает, что при неизменном вспомогательном времени часовая производительность будет увеличиваться при увеличении скорости истечения, массы заготовки и выхода годно-

го и при уменьшении длины отпрессованного профиля. Отсюда вытекают следующие рекомендации по воздействию на перечисленные факторы с целью повышения производительности:

1. По скорости: увеличение скорости истечения возможно посредством использования смазки; обеспечения температурно-скоростных режимов в строго оптимальном диапазоне; использования прессуемого металла в пределах ГОСТа с химсоставом наилучшей технологичности.

2. По массе заготовки: увеличение массы заготовки возможно осуществить за счет снижения усилия прессования, например повышением температуры прессования; применением обратного прессования; использованием многоочкового прессования.

3. По выходу годного: увеличение показателя $\eta_{год}$ возможно посредством применения обратного прессования; сокращения длины пресс-остатка; применения полунепрерывного прессования со сваркой слитков в торец; прессования без пресс-остатка «слиток – за слитком».

4. По длине профиля: уменьшение длины отпрессованного профиля, неоднозначно влияющее на производительность, возможно за счет использования многоочкового прессования и прессования с заниженными вытяжками.

Все алюминиевые сплавы делятся на две большие группы: легкопрессуемые и труднопрессуемые. Время вспомогательных операций $\tau_{всп}$ по-разному влияет на часовую производительность этих групп металлов (рис. 41):

– для легкопрессуемых сплавов увеличение $\tau_{всп}$ существенно снижает производительность прессы (в 2,5-4 раза);

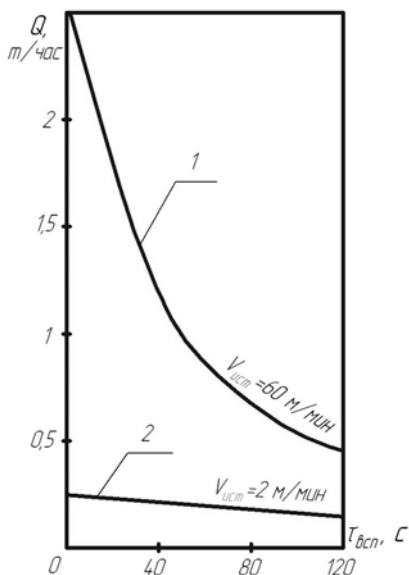


Рис. 41. Зависимость часовой производительности от времени вспомогательных операций:

1 – легкопрессуемые;
2 – труднопрессуемые металлы

– для труднопрессуемых сплавов повышение $\tau_{всп}$ практически не влияет на производительность прессы.

Таким образом:

– для легкопрессуемых сплавов следует улучшать механизацию, обслуживающую пресс, снижать время вспомогательных операций;

– для труднопрессуемых сплавов следует работать над мероприятиями по повышению скорости их истечения.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старостин, Ю. С. Элементы теории и технологии прессования профилей из алюминиевых сплавов для авиационной техники / Ю. С. Старостин. – Самара: СГАУ, 2007. – 72 с.
2. Каргин, В. Р. Проектирование прессовых цехов / В. Р. Каргин. – Самара: СГАУ, 2005. – 187 с.
3. Щерба, В. Н. Прессование алюминиевых сплавов / В. Н. Щерба. – М.: Интермет инжиниринг, 2002. – 768 с.
4. Грабарник, Л. М. Прессование цветных металлов и сплавов / Л. М. Грабарник, А. А. Нагайцев. – М.: Металлургия, 1983. – 240 с.
5. Гильденгорн, М. С. Прессование со сваркой полых изделий из алюминиевых сплавов / М. С. Гильденгорн, В. Г. Керов, Г. А. Кривонос. – М.: Металлургия, 1975. – 238 с.
6. Производство полуфабрикатов из алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1971. – 493 с.
7. Колпашников, А. И. Гидропрессование металлов / А. И. Колпашников, В. А. Вялов. – М.: Металлургия, 1973. – 294 с.
8. Жолобов, В. В. Прессование металлов / В. В. Жолобов, Г. И. Зверев. – М.: Металлургия, 1971. – 454 с.
9. Ерманок, М. З. Производство профилей из алюминиевых сплавов / М. З. Ерманок, В. И. Фейгин. – М.: Металлургия, 1972. – 272 с.
10. Старостин, Ю. С. Элементы теории и технологии прессового и трубного производства / Ю. С. Старостин. – Куйбышев: КуАИ, 1975. – 195 с.
11. Зарапин, Ю. Л. Стали и сплавы в металлургическом производстве: справочник / Ю. Л. Зарапин, В. Д. Попов, Н. А. Чиченев – М.: Металлургия, 1980. – 144 с.
12. Райтбарг, Л. Х. Производство прессованных профилей / Л. Х. Райтбарг. – М.: Металлургия, 1984. – 296 с.
13. Ерманок, М. З. Прессование труб из алюминиевых сплавов / М. З. Ерманок, Л. С. Каган, М. Ф. Головинов. – М.: Металлургия, 1976. – 247 с.
14. Ерманок, М. З. Прессование панелей из алюминиевых сплавов / М. З. Ерманок. – М.: Металлургия, 1974. – 231 с.
15. Мастеров, В. А. Теория пластической деформации и обработка металлов давлением / В. А. Мастеров, В. С. Берковский. – М.: Металлургия, 1970. – 296 с.
16. Перлин, И. Л. Теория прессования металлов / И. Л. Перлин. – М.: Металлургия, 1964. – 344 с.
17. Мюллер, Э. Гидравлические прессы и их приводы. Прессы для прессования легких и цветных металлов / Э. Мюллер. – М.: ГНТИ, 1962. – 325 с.
18. Тихонов, А. С. Элементы физико-химической теории деформируемости сплавов / А. С. Тихонов. – М.: Наука, 1972. – 228 с.
19. Шмаков, Ю. В. Высокоскоростная кристаллизация – путь для создания алюминиевых сплавов нового поколения / Ю. В. Шмаков // Технология легких сплавов. – 2001. – №5-6. – С. 25-32.
20. Гарибов, Г. С. Будущее технологии металлургии гранул / Г. С. Гарибов // Технология легких сплавов. – 2006. – №1-2. – С. 27-51.

Учебное издание

Каргин Владимир Родионович
Гречникова Анна Фёдоровна
Ерисов Ярослав Александрович
Старостин Юрий Степанович

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕССОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Учебное пособие

Редактор Ю.Н. Литвинова
Доверстка Л.Р. Дмитриенко

Подписано в печать 03.03.2015. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ. л. 5,00.
Тираж 100 экз. Заказ . Арт. 12/2015.

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С.П.Королева
(национальный исследовательский университет)»
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во СГАУ. 443086 Самара, Московское шоссе, 34.