

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕССОВАНИЯ ПРОФИЛЕЙ ИЗ ЛЕГКИХ СПЛАВОВ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний*

САМАРА
Издательство СГАУ
2012

УДК СГАУ: 669.15(075)

Составители: ***В.Р. Каргин, Б.В. Каргин, Е.В. Арышенский***

Рецензент: канд. техн. наук, доц. А.П. Б ы к о в

Технология прессования профилей из легких сплавов: метод. указания / сост. : *В.Р. Каргин, Б.В. Каргин, Е.В. Арышенский.* - Самара: Изд-во СГАУ, 2012. - 54 с.

Даны рекомендации для проектирования технологических процессов прессования профилей из алюминиевых сплавов, широко применяемых в авиационной технике. Приведен необходимый справочный материал при определении размеров заготовки и энергосиловых параметров. Описана методика расчета на прочность основных деталей инструментальной наладки на прессе.

Предназначены для студентов старших курсов инженерно-технологического факультета при выполнении курсовых проектов по дисциплине «Теория и технология прессования». Выполнены на кафедре обработки металлов давлением.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОРГАНИЗАЦИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	4
1.1. Состав и объем курсового проекта.....	4
1.2. Оформление и защита курсового проекта.....	5
2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	8
2.1. Конструктивно-технологический анализ профиля.....	8
2.2. Характеристика прессуемого сплава.....	9
2.3. Обоснование выбора оптимальной технологии изготовления.....	9
2.4. Выбор коэффициента вытяжки и размеров заготовки.....	13
2.5. Определение температурно-скоростного режима прессования.....	17
2.6. Расчет энергосиловых параметров.....	20
2.7. Характер и последовательность технологических операций.....	25
3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРЕССОВОГО ИНСТРУМЕНТА.....	29
3.1. Состав прессового инструмента.....	29
3.2. Выбор материала.....	30
3.3. Контейнер.....	31
3.4. Матрица.....	38
3.5. Пресс-штемпель и пресс-шайба.....	46
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	50
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	52

1. ОРГАНИЗАЦИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1. Состав и объем курсового проекта

Курсовой проект по дисциплине «Теория и технология прессования» состоит из пояснительной записки и графической части.

Структурными элементами пояснительной записки в порядке их расположения в документе являются: титульный лист; задание; реферат; содержание; обозначение и сокращения; введение; основная часть; заключение; список использованных источников; приложение.

Для титульного листа нужно использовать обложку по форме, представленной в приложении А.

Реферат содержит сведения о количестве страниц пояснительной записки, рисунков, таблиц, использованных источников, приложения, объеме графической части проекта, перечень ключевых слов и текст, в котором описан объект разработки, цель и результаты работы. Объем 1 с.

Содержание включает введение, наименование всех разделов, подразделов, заключение, список использованных источников и приложений с указанием номеров страниц. Объем: 1-2 с.

Введение освещает значимость и преимущество прессования среди других технологических процессов; роль науки в развитии прессования; перспективные направления развития процесса прессования в будущем. Объем: 1-2 с.

Основная часть записки состоит из технологического и конструкторского частей проекта.

Технологическая часть проекта посвящена разработке технологии прессования профилей, включая следующие вопросы:

- а) конструктивно-технологический анализ профиля;
- б) характеристики прессуемого сплава;
- в) обоснование выбора оптимальной технологии изготовления;
- г) определение температурно-скоростного режима прессования;
- д) расчет размеров заготовки;
- ж) определение энергосиловых параметров;
- з) характер и последовательность технологических операций.

В качестве исходных данных служат: чертеж профиля; технические условия согласно заданию на курсовой проект; данные о свойствах материала, принятая технология согласно данным литературы [1-12]. Объем 15-20 с.

В конструкторской части проекта разрабатываются конструкции прессового инструмента: контейнера, матрицы, матричного узла, пресс-штемпеля, пресс-шайбы. Важными моментами являются правильный выбор материала инструмента и допуски на размеры инструмента.

При выполнении конструкторской части рекомендуется ознакомиться с конструкциями аналогичного назначения по технической литературе: альбомами, описаниями патентов изобретений.

Конструирование прессового инструмента включает следующие этапы: определяют тип инструмента (например: матрица плоская или коническая); оценивают прочность инструмента; выбирают конструктивные параметры инструмента; разрабатывают чертежи наладки под выбранное оборудование; производят детализовку в соответствии с требованиями ЕСКД.

На чертежах инструментальной наладки должны быть представлены: весь прессовый инструмент, необходимый для осуществления процесса деформирования, крепежные детали и основные части оборудования, находящиеся в непосредственном контакте с инструментом.

Детализовка элементов наладки прессового инструмента должна содержать: пресс-штемпель, матрицу, все втулки контейнера, мундштук, пресс-шайбу.

Окончательно графический материал, представляемый на листах, уточняется с руководителем проекта.

Объем: чертежи наладки - один лист (А3); детализовка инструмента – восемь листов (А4); пояснительная часть записки - 12-15 с.

В разделе «заключение» формируются окончательные выводы, характеризующие итог работы студента по решению задач, поставленных в задании на выполнение курсового проекта. Объем: 1-2с.

В список использованных источников включаются книги, учебные пособия, монографии, статьи, патенты и т.п. источники, сведения о которых располагают в порядке их упоминания в тексте. Объем: 1-2 с.

В приложение вносятся технико-экономическая карта, чертежи инструмента, спецификация, справочный материал, чертеж профиля.

1.2. Оформление и защита курсового проекта

Пояснительная записка должна быть оформлена в текстовом редакторе WORD на стандартных машинописных листах формата А4 и представлена в сброшюрованном виде. Текст располагают на одной

стороне листа. Размер шрифта основного текста- 14 пунктов с полуторным интервалом. Формулы рекомендуется набирать в редакторе Microsoft Equation. Предпочтительно использовать шрифт Times New Roman. Размер левого поля - 30 мм, правого 10 мм, верхнего и нижнего – по 20мм. Выравнивание текста справа не требуется.

Страницы пояснительной записки следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту. Номер страницы проставляется в середине нижней части листа без точки. Титульный лист и задание не нумеруются, но их порядковый номер (1,2) подразумевается.

Содержание, введение, реферат, разделы записки, список использованных источников и каждое приложение должны начинаться с новой станицы.

Иллюстрации должны иметь порядковый номер и подрисуночные надписи. На каждую иллюстрацию необходимо давать соответствующую ссылку в тексте. В тексте записки следует помещать итоговые таблицы расчета параметров техпроцесса. Таблицы, содержащие исходные первичные данные, помещают в качестве приложения в конце записки.

В тексте записки литературные ссылки приводятся в виде порядкового номера источника по списку. Этот номер указывается в квадратных скобках. Например: «Согласно литературным данным оптимальная вытяжка для сплава Д1 составляет 20 [5]».

Остальные требования к оформлению пояснительной записки приведены в СТО СГАУ 02068410-004-2007[13].

Графическая часть проекта должна быть выполнена грамотно и аккуратно в соответствии с ГОСТ 2.107-68,2.108-68,2.109-68.

Выполнение чертежей целесообразно проводить в программном продукте «КОМПАС». Кроме чертежей элементов наладки необходимо в приложении представить их 3D модели.

Разрешение на защиту курсового проекта дается руководителем проекта после представления студентом пояснительной записки и графической части.

Защита проекта осуществляется перед комиссией, состоящей из 2-3 преподавателей кафедры обработки металлов давлением.

В начале защиты студент делает краткий доклад (5-8 мин), который строится примерно следующим образом:

- 1) обоснование принятого варианта оптимального технологического процесса;

- 2) характер и последовательность технологических операций;
- 3) принцип работы инструментальной наладки прессового инструмента;
- 4) обоснование выбора конструктивных параметров элементов наладки;
- 5) выводы по работе.

По окончании доклада студенту задаются вопросы.

Вопросы для самоконтроля перед защитой курсового проекта

1. Назовите преимущества и недостатки прямого (обратного) прессования.
2. По какой технологической схеме изготавливают профили из алюминиевых сплавов при прессовании?
3. Какие печи используют для нагрева заготовок перед прессованием?
4. Как отделяют пресс-остаток от профиля?
5. Почему при прессовании профилей из алюминиевых сплавов используют плоские матрицы?
6. Зачем при прессовании оставляют пресс-остаток?
7. Как выравнивают скорости истечения отдельных элементов сечения профиля?
8. Как получить точный профиль при прессовании?
9. Как выбрать коэффициент вытяжки при прессовании?
10. Какие отходы возникают при прессовании?
11. Что такое выход годного?
12. Как выбрать температурный режим прессования?
13. Как рассчитать на прочность консольные участки канала матрицы?
14. Из чего складывается объем заготовки при прессовании?
15. В чем сущность закалки алюминиевых сплавов?
16. Какие виды правки используют при изготовлении прессованных профилей?
17. Как выбрать размеры пресс-штемпеля, обеспечивающие его прочность?

2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Прессованные профили из алюминиевых сплавов подразделяются на четыре вида: профили сплошного сечения; пустотелые (полые) профили; профили переменного сечения; панели.

Далее даны методические указания по технологии прессования профилей первого вида, так как они составляют более 70% от всего сортамента прессуемых профилей.

По состоянию поставки профили разделяют на следующие виды:

- а) закаленные и естественно состаренные - Т (Д1Т, АД31Т и др.);
- б) закаленные и искусственно состаренные - Т1 (АВТ1, АД31Т1 и др.);
- в) отожженные - М (Д1М, АМг6М и др.);
- г) без термической обработки - горячепрессованные (дополнительного обозначения не имеют).

2.1. Конструктивно-технологический анализ профиля

В этом разделе записки необходимо дать чертеж поперечного сечения прессованного профиля с указанием всех размеров, площади поперечного сечения и веса одного погонного метра, а также тип изделия и область его применения. Исходя из формы поперечного сечения привести краткое описание конфигурации данного профиля (наличие ребер, полостей, стенок различной толщины, симметричность относительно геометрического центра, сплошность и т.д.) и показать возможные трудности при прессовании. Привести технические условия на прессованные изделия. Описать требования, предъявляемые к профилю (геометрия; допуски на размеры; требования к продольной кривизне, к скрутке вокруг продольной оси, к поперечной кривизне, радиусам скругления и угловым размерам; качество поверхности; состояние поставки, механические свойства; методы испытаний; маркировка), с соответствующих ГОСТов на поставку: профилей ГОСТ 8617-81 и прутков ГОСТ 21488-76. Объем: 1-2с.

2.2. Характеристика прессуемого сплава

В этом разделе записки должны найти отражение следующие вопросы: химический состав сплава, роль компонентов и примесей; диаграмма состояния и механизм фазовых превращений; режимы термической обработки (отжиг, гомогенизация, закалка, старение); физико-механические и технологические свойства прессуемого металла; диаграмма пластичности; влияние на пластичность скорости деформации.

С учетом свойств, химического состава, структуры и требований заказчика необходимо выбрать температуру начала T_n и конца T_k прессования, режимы и параметры окончательной (промежуточной) термической обработки, обеспечивающие соответственно максимальную пластичность и заданные свойства.

Описание свойств прессуемого металла и его термообработку производят на основе справочных пособий и литературы [14,15].
Объем: 3-6с.

2.3. Обоснование выбора оптимальной технологии изготовления

Оптимальную технологию прессования определяют следующие показатели: метод прессования, размеры слитка, температурный интервал, скорость прессования, форма каналов и их расположение на матрице, вид контактного трения, силовые параметры. Ниже приведены основные положения, обеспечивающие правильное установление перечисленных показателей.

С учетом конфигурации изделия и современного состояния технологии прессования необходимо дать критический анализ существующей технологии.

Технологическую схему производства рассмотрим на примере прессования сплошных профилей из алюминиевых сплавов. В этом случае прессование производится по схемам прямого, обратного, изотермического прессования, с активными силами трения и другими способами.

Чаще всего сплошные профили из алюминиевых сплавов получают горячим прессованием на горизонтальных гидравлических прессах с прямым и обратным истечением металла без технологической смазки в одно- и многоканальные матрицы.

Основные достоинства этого метода:

- простота конструкции матрицы с плоским торцом, что важно при изготовлении профилей со сложной формой поперечного сечения;

- затормаживание периферийных слоев заготовки в контейнере вследствие высоких сил трения, что способствует получению чистой поверхности изделий.

Прессование со смазкой контейнера используют в небольшом объеме. Несмотря на такие преимущества, как повышение скорости прессования при производстве профилей из труднодеформируемых сплавов в 2-3 раза и снижение энергозатрат на 35 - 40%, ограниченное применение этого процесса связано с тем, что использование матриц с плоским торцом и маслографитовой смеси в качестве смазки не обеспечивает высокого качества поверхности изделия.

Прессование с обратным истечением резко уменьшает неравномерность деформации и потери на контактное трение, что позволяет увеличить длину заготовок, а следовательно, и длину получаемых изделий. Необходимость применения полого пресс-штемпеля и трудность отделения пресс-остатка на прессах существующих конструкций не позволяют этому методу конкурировать с методом прямого истечения. Однако вследствие существенных усовершенствований конструкций прессов применение этого метода в последние годы все более расширяется.

Весьма перспективны для прессования некоторых видов изделий из алюминиевых сплавов следующие разрабатываемые методы:

1. Гидропрессование с непрерывным вводом жидкости высокого давления в длинный контейнер, в который можно поместить слиток длиной в несколько метров.

2. Выдавливание одной заготовки за другой с обеспечением их сварки по поверхности сочленения при использовании вакуумированных контейнеров, что позволит получать профили практически неограниченной длины.

3. Выдавливание одной заготовки за другой без их сварки с применением смазки контейнера, что повышает производительность прессов и облегчает их автоматизацию.

4. Холодное прессование профилей.

Следует учитывать, что одного какого-то «универсального» метода прессования, наиболее предпочтительного для всех видов выпускаемых изделий из алюминиевых сплавов, не существует. Поэто-

му к выбору метода прессования необходимо подходить дифференцированно и специализировать производство и оборудование на отдельных группах изделий.

Таблица. 1. Технологические схемы производства профилей

Название операции	Технологическая схема			
	1	2	3	4
Нагрев	•	•	•	•
Прессование	•	•	•	•
Закалка в процессе прессования	•	•	•	•
Правка растяжением	•	•	•	•
Обрезка концов	•	•	•	•
Правка в роликовых машинах	•	•	•	•
Правка на прессах	•	•	•	•
Местная ручная правка	•	•	•	•
Закалка с нагревом в печах	•	•	•	•
Искусственное старение	•	•	•	•
Отжиг	•	•	•	•
Резка на мерные длины	•	•	•	•
Контроль качества	•	•	•	•
Анодирование	•	•	•	•
Консервация	•	•	•	•
Упаковка	•	•	•	•

Процесс прессования состоит из технологически однотипных элементов, которые в основном определяют состав и компоновку оборудования для прессования металлов. Обобщенная схема технологического процесса производства профилей включает следующие операции: приемку и складирование заготовок, нагрев, прессование, резку пресс-изделий, термообработку, правку и калибровку, отделку поверхности, контроль и складирование готовой продукции. В табл. 1 приведены широко используемые технологические схемы производства профилей. Схема № 1 применяется для сплавов с низкой скоростью охлаждения при закалке, по которой закалка проводится непосредственно в процессе прессования путем обдува профиля на столе пресса водно-воздушной смесью.

Последовательность выполнения операций на данной и других схемах показана линиями, соединяющими точки, которыми отмечены соответствующие операции.

Разветвления указывают на возможные подварианты данной схемы, которые понятны из таблицы. Схема № 2 является типовой для профилей из сплавов, подвергающихся закалке в вертикально-закалочных печах и искусственному старению. Эта схема обеспечивает изготовление профилей с термообработкой и без нее. Схема № 3 используется для производства профилей, прутков и труб в отожженном состоянии. Схема № 4 является типовой для производства профилей периодического по длине поперечного сечения. Характерным для нее является использование операции правки на правильных прессах утолщенной (законцовочной) части профиля.

После прессования или термической обработки профили, как правило, имеют нарушения продольной и поперечной геометрии в виде кривизны, скрутки. Нарушение поперечной геометрии проявляется в искривлении полок профиля, искажении углов в поперечном сечении, непараллельности отдельных элементов профиля.

Нарушения продольной геометрии профилей исправляется растяжением и раскруткой в правильно-растяжных и раскруточных машинах, а также гибкой в роликовых правильных машинах с шахматным расположением роликов. Нарушения поперечной геометрии исправляются в процессе гибки на роликовых правильных машинах фасонными роликами с соосным расположением верхнего и нижнего роликов. В ряде случаев дополнительная правка профилей крупного поперечного сечения осуществляется гибом на гидравлических прессах, а мелкого - в ручную с помощью специальных приспособлений.

При растяжении и кручении профиля с остаточной деформацией в процессе пластической деформации устраняются, главным образом плавные искажения продольной геометрии и скрутка. Необходимое усилие для правки растяжением P_p определяется произведением площади поперечного сечения профиля f на величину предела текучести материала профиля σ_T . Для раскрутки профиля требуется крутящий момент M , равный:

$$M=J_n\sigma_T/2,$$

где J_n - полярный момент инерции сечения профиля относительно центра тяжести сечения.

Технологический режим правки определяется величиной остаточной деформации удлинения профиля $\varepsilon_{ост}$, которая контролируется по величине абсолютного перемещения ΔL тянущего захвата правильно-растяжной машины под нагрузкой. Для алюминиевых сплавов обычно рекомендуется $\varepsilon_{ост}$ порядка 2-4%.

В пояснительной записке следует представить схему и краткое описание выбранного способа прессования и перечень последующих технологических операций (правки, термообработки, контроля и т.д.).

2.4. Выбор коэффициента вытяжки и размеров заготовки

Коэффициент вытяжки и размеры заготовки являются важнейшими технологическими параметрами, от которых зависит технико-экономическая эффективность всего процесса прессования. Исходным условием для их определения являются заданные форма и размеры пресс - изделия.

При прессовании профилей обычно используются сплошные цилиндрические заготовки круглого сечения диаметром D и длиной L . Оба эти параметра выбираются с учетом обеспечения высокого качества изделия и технико-экономических показателей процесса: производительности, выхода годного и т.д.

Для всех видов прессования целесообразно применять заготовки максимального объема. Чем больше объем заготовки, тем больше соответственно длина пресс-изделия. При этом для прямого метода прессования должно выполняться эмпирическое условие

$$2,0 < L/D < 4,5. \quad (1)$$

Для обратного метода отношение L/D берется не более 6 и ограничивается длиной контейнера L_K ($L < 0,75L_K$), а диаметр D - усилием пресса.

Рекомендуется в первую очередь увеличивать длину заготовки. При слишком большой длине заготовки увеличивается вероятность захлаживания металла к концу прессования, а при слишком малой - уменьшается выход годного и появляется вероятность образования пресс - утяжины.

Основным параметром процесса прессования, определяющим размер заготовки, является коэффициент вытяжки λ или просто вы-

тяжка. Выбор λ производится на основе литературных сведений

$$\lambda_{min} \leq \lambda \leq \lambda_{max}.$$

При $\lambda_{min} \geq 10$ обеспечивается выравнивание механических свойств материала профиля по всему объему. Для компактных по форме профилей, которые не подвергаются дальнейшей деформации, минимальная вытяжка λ_{min} должна быть не менее четырех. Вместе с тем прессование с большими вытяжками более производительнее, но требует применение больших усилий и вызывает высокие напряжения в прессовом инструменте. В связи с этим λ_{max} ограничивается усилием пресса. Чем выше пластичность металла, тем больше λ_{max} .

Качество тонкостенных профилей обеспечивается практически любой вытяжкой. Ограничивающим условием в этом случае является расстояние от поверхности рабочей втулки контейнера до ближайшей точки канала на матрице.

Как показывает практика, коэффициент λ назначают из опыта и интуиции инженера. Для профилей из алюминиевых сплавов коэффициент вытяжки обычно берут в пределах 15-60. Причем меньшие значения используют для труднодеформируемых сплавов, большие - для легкодеформируемых сплавов (табл. 2).

Таблица 2. Основные параметры прессования алюминиевых сплавов с прямым истечением без смазки

Сплав	Рекомендуемая вытяжка	Скорость истечения $V_{ист}$, м/мин
AD1	до 200	30-150
AMц	до 200	20-150
AMг1	до 200	20-100
AD31	25-100	8-60
AB	25-100	8-60
1915	20-60	8-40
1925	20-60	8-40
D1	15-45	2,5-5
AK4-1	15-45	2,5-5
DI6	15-45	1,8-3
B95	15-45	1,8-3
AMг6	15-45	1,5-2

Зная площадь поперечного сечения профиля f , коэффициент вытяжки λ и задавшись числом каналов в матрице n , определяют ориентировочную площадь поперечного сечения контейнера $F_{к0}$ и его ориентировочный диаметр $D_{к0}$:

$$D_{к0} = 1.13 \sqrt{\frac{F_{к0}}{n}},$$

$$F_{к0} = n \lambda f.$$

По расчетному значению $D_{к0}$ выбирают ближайший стандартный $D_к$ по табл. 3. Далее определяют значение фактического коэффициента вытяжки:

$$\lambda = \frac{F_{к0}}{F_к}, \quad (2)$$

где $F_к$ — действительная площадь поперечного сечения контейнера,

—.

Диаметр заготовки должен обеспечить свободный ввод ее в контейнер. Увеличение диаметра заготовки от нагрева составляет $(0,01-0,12)D$, зазор между контейнером и заготовкой $(0,008-0,01)D$, плюсовой допуск на заготовку $(0,007-0,013)D$. С учетом перечисленного $D \approx (0,965-0,975) D_к$.

Длину заготовки определяют из условия постоянства объема по формуле

$$L = \frac{F_{к0}}{\lambda} + H, \quad (3)$$

где l — длина готового профиля, мм;

Δ — припуск на длину $\Delta = (100-300)$ мм;

$l_{к0}$ — длина концевой обрезки, $l_{к0} = (350 - 600)$ мм;

H — высота пресс-остатка (выбирается в зависимости от диаметра контейнера по табл. 3).

Коэффициент распрессовки заготовки

$$\lambda_p = F_к / F,$$

где F – площадь поперечного сечения заготовки,

$$F = D^2/4.$$

Кратность готовых профилей в одной заготовке

$$m \leq \frac{L_{\max \text{ пр}}}{L_{\text{заг}}},$$

где $L_{\max \text{ пр}}$ - максимально прессуемая длина изделия, определяемая длиной стола пресса по табл. 3.

Таблица 3. Исходные данные для выбора пресса и размеров заготовки

Усилие пресса $P_{\text{пр}}$, МН	Диаметр контейнера D_k , мм	Минимальное расстояние до крайней точки профиля A , мм	Высота пресс-остатка H , мм	Максимальная длина заготовки L_{\max} , мм	Максимальная прессуемая длина $L_{\max \text{ пр}}$, мм
7,5	83	15	25(15)	400 (520)	19000 (25000)
	95	15	25(15)		
	105	15	25(15)		
	115	20	25(15)		
12	115	20	30(25)	580 (750)	25000 (33000)
	130	20	30(25)		
20	170	25	40(30)	700 (910)	22000 (30000)
	200	25	40(30)		
25	200	25	50(40)	800 (1100)	30500 (40000)
	225	25	50(40)		
30	225	25	50(40)	800 (1100)	23000 (30000)
	250	30	55(40)		
	270	30	60(45)		
50	300	30	75(60)	1000 (1300)	23000 (30000)
	360	35	80(65)		
	420	35	100(75)		
120	500	50	120(125)	1800 (2300)	25000 (35000)
	650	65	160(125)		
	800	80	200(155)		
200	650	65	160(125)	1850 (2300)	40000 (51000)
	800	80	200(155)		
	950	95	250(195)		
	1100	110	300(230)		

Далее следует проверка: выдержано ли наиболее рациональное отношение (1). В случае невыполнения изменяют в формулах (2), (3) λ , n , m и расчет размеров заготовки повторяют.

Масса заготовки $G = V \cdot \rho$, где ρ - плотность материала прессуемого профиля, V - объем заготовки, $V = FL$.

2.5. Определение температурно-скоростного режима прессования

Температурный интервал прессования представляет разность минимальной и максимальной температур заготовки, при которых обеспечивается необходимый комплекс технико-экономических показателей процесса и характеристик качества изделий.

Температурный интервал прессования зависит от физической природы и состава сплавов; состояния заготовки; способа прессования; температурного режима; степени и скорости деформации; допустимых давлений на инструмент; требований к качеству поверхности изделий, к их макро- и микроструктуре, механическим и физико-химическим свойствам; формы поперечного сечения изделий и их размеров; требований к производительности прессов и др.

Даже из этого неполного перечня факторов, влияющих на выбор температурного интервала, видно, что ряд из них характеризует противоположные тенденции в выборе температуры прессования.

Температурный интервал прессования выбирают так, чтобы при верхних предельных температурах не происходило перегрева или пережога металла, а при нижних - усилие прессования оказалось меньше предельного (паспортного) усилия пресса и обеспечивало требуемое качество структуры прессового изделия. Интервал нагрева, приводящий к оптимальным условиям прессования, выбирают, уменьшая максимально допустимую температуру на величину, равную разогреву от тепла деформации, с учетом охлаждения заготовки при переносе в контейнер.

В настоящее время еще не найдены методы аналитического отыскания оптимума температурного интервала с учетом влияния всех факторов и предъявляемых требований. Вопрос решается в каждом конкретном случае отдельно. Выбор температурного интервала производится большей частью по диаграммам состояния и пластичности (рис. 1).

Максимальная температура прессования T_{max} должна соответствовать максимальному значению относительного сужения Ψ и относительного удлинения δ при минимальном (или близком к нему) значении предела текучести σ_T . Причем значение температуры не должно превышать $0,9 T_s$, где T_s - температура линии солидуса для данного сплава.

В табл. 4 приведены установленные многолетней практикой типовые режимы нагрева заготовок для основных марок алюминиевых сплавов, где кроме температурного режима нагрева заготовок указаны режим нагрева контейнера и предельно допустимая температура нагрева заготовок.

Для алюминиевых сплавов в применяемых интервалах температур горячего прессования скорость истечения в зависимости от состава и вида прессуемых изделий колеблется в очень широком диапазоне, от 0,5 до 100 м/мин и более (см. табл. 2).

Критериями, определяющими допустимую скорость истечения металла, служат: начало появления поверхностных трещин, образование рисок, налипов и других поверхностных дефектов, устойчивость геометрических размеров поперечного сечения изделия, начало появления гофров, волнистости и других дефектов.

На скорость истечения, кроме того, влияют состав и температура металла в пластической зоне, исходное состояние заготовки, неравномерность деформации, форма и размеры поперечного сечения изделия и соотношение размеров отдельных элементов профиля, конструкция инструмента, способ прессования, условия контактного трения.

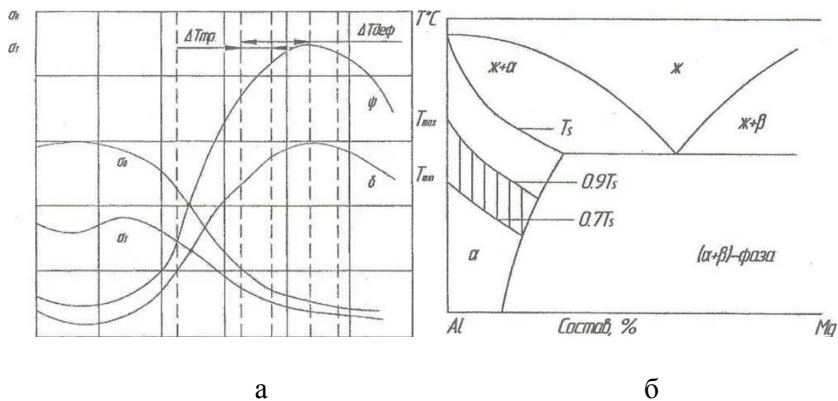


Рис. 1. Выбор температуры прессования по диаграммам пластичности (а) и состояния (б)

Таблица 4. Температура нагрева заготовок алюминиевых сплавов и контейнера

Марка сплава	Профили	Температура, °С		Предельно допустимая температура, °С
		контейнера	заготовки	
Д16	Сплошные и полые общего назначения Повышенной прочности Прессуемые со смазкой	350-430	400-460	490
		380-430	430-460	490
		300-350	250-350	490
В95	Общего назначения Периодического сечения Прессуемые со смазкой	360-430	370-430	480
		370-430	410-450	480
		300-350	250-350	480
Д1, Д19 АК6, АК8	Все профили	350-430	400-460	490
АК4-1, АК4	То же	350-430	360-440	535
1925, 1915	>>>>	350-430	400-450	470
АМг2, АМг3 АМг5, АМг6	>>>>	350-430	400-450	490
АД0, АД1	>>>>	350-430	400-450	550
Амц	>>>>	400-430	440-480	550
АВ, АДЗ3	>>>>	400-450	480-510	550
АД31	Общего назначения без закалки на прессе С закалкой на прессе	350-430	370-500	550
		400-450	450-520	550
В93	Все профили	300-320	320-350	550
АК6	С регламентированным крупнокристаллическим ободком	420-440	440-460	490

С учетом охлаждения во время транспортировки от нагревательного устройства к прессу температура нагрева заготовки подсчитывается по формуле

$$T_{\text{НАГР}} = T_{\text{МАКС}} - \Delta T_{\text{ДЕФ}} + \Delta T_{\text{ТР}},$$

где $\Delta T_{\text{ДЕФ}}$ – тепловой эффект деформации.

Разогрев металла до деформации можно найти по приближенной формуле

$$\Delta T_{\text{ДЕФ}} = \frac{\sigma}{c},$$

где σ – предел текучести при температуре $T_{\text{НАГР}}$ (берется по диаграмме пластичности), c – средняя удельная теплоемкость, $c = 870 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$.

Падение температуры при транспортировке находится из выражения

$$\Delta T_{\text{ТР}} = V_{\text{охл}} \tau_{\text{ТР}},$$

где $\tau_{\text{ТР}}$ – время транспортировки, $\tau_{\text{ТР}} = 10\text{-}30 \text{ с}$, $V_{\text{охл}}$ – средняя скорость охлаждения, $V_{\text{охл}} = 2\text{-}5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$.

Скорость истечения $V_{\text{ист}}$ зависит от множества факторов. Завышенная скорость приводит к надрывам, трещинам, гофрам волнистостям. Допустимые значения $V_{\text{ист}}$ для профилей из алюминиевых сплавов приведены в табл.2.

Меньшие скорости из этих интервалов относятся к прессованию профилей сложных сечений. Указанные величины скоростей являются ориентировочными. Например, снижение температур прессования с 400 до $200 \text{ }^\circ\text{C}$ дает возможность увеличить скорость истечения в 3-5 раз, но вместе с тем это резко повышает требуемое усилие прессования. Скорость прессования $V_{\text{пр}}$ и скорость истечения $V_{\text{ист}}$ связаны между собой соотношением $V_{\text{ист}} = \lambda V_{\text{пр}}$.

2.6. Расчет энергосиловых параметров

Усилие прессования рекомендуется находить по наиболее распространенной формуле И.Л. Перлина

$$P = R_M + T_{\text{КР}} + T_M + T_n,$$

где R_M – усилие, необходимое для осуществления деформации без учета внешнего трения; $T_{\text{кр}}$, T_M , T_n – усилия, необходимые для преодоления сил трения по боковой поверхности контейнера, матрицы и калибрующего пояса соответственно.

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

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

$$R_M = \frac{0.785(i + i_{доп})}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}} D_k^2 \sigma_{TC};$$

$$T_M = \frac{0.785}{\sin a} i D_K^2 \mu_M \sigma_{TC};$$

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

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

$$i_{доп} = \ln^4 \sqrt{\frac{nf}{a^2_{CP.PP}}},$$

где $a_{CP.PP} = (a_1 + a_2 + \dots + a_N) / N$; f - площадь сечения профиля; n - число каналов матрицы.

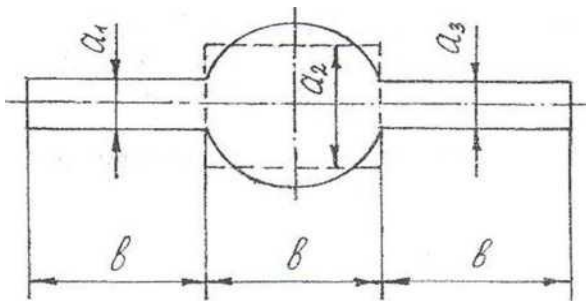


Рис. 2. Определение средней толщины профиля

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

Произвольность подхода в определении “ b ” приводит в ряде случаев к затруднениям. Поэтому при необходимости определения $i_{доп}$ для профилей, типа показанного на рис. 2 (некомпактного сече-

ния), целесообразно вычислять среднюю площадь участков, составляющих сечение профиля $F_{CP,IP}$ (рис.3).

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

$$i_{доп} = \ln \sqrt[4]{\frac{f}{f_{cp,ip}}},$$

$$f_{cp,ip} = (f_1 + f_2 + \dots + f_N) / N.$$

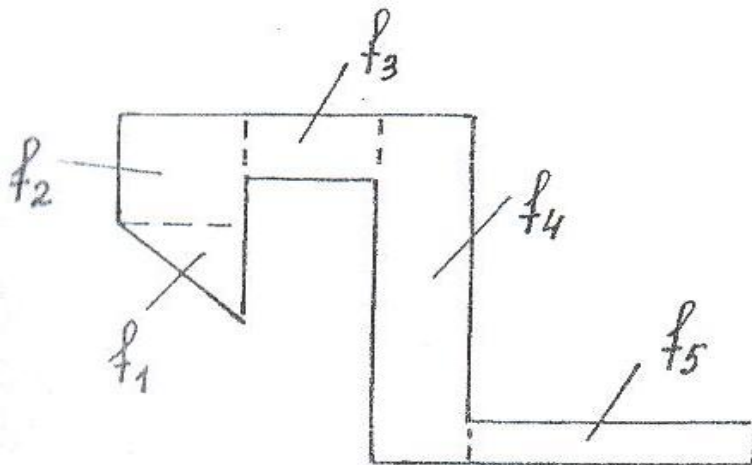


Рис. 3. Определение средней площади участка профиля

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

h – высота очага деформации, $h=(0,3-0,5)D_K/2$;

α – угол наклона образующий канала матрицы к ее оси (для плоских матрицы принимается $\alpha=60^\circ$ из-за образования «мертвой» зоны);

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

Π – периметр профиля;

l_{max} – длина калибруемого пояска;

$\mu_M, \mu_{П}, \mu_{КР}$ – коэффициенты трения на контактных поверхностях матрицы, калибрующем пояске и боковой поверхности контейнера (табл. 5).

Таблица 5. Значения коэффициентов трения

Условие прессования	μ_M	$\mu_{П}$	$\mu_{КР}$
Со смазкой	0,15	0,10	0,12
Без смазки	0,45	0,20	0,50

$\sigma_{ТН}, \sigma_{ТК}, \sigma_{ТС}$ – истинные пределы текучести соответственно в начале и конце очага пластической деформации и среднее по очагу деформации,

$$\sigma_{ТС} = \frac{\sigma_{ТН} + \sigma_{ТК}}{2}.$$

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

Значения $\sigma_{ТН}$ и $\sigma_{ТК}$ определяют с учетом $T_{НАГР}$ и длительности пребывания металла в очаге деформации τ (рис. 4):

$$\tau = \frac{W_{ОД}}{W_c},$$

где $W_{ОД}$ – объем очага деформации,

$$W_{ОД}$$

W_c – секундный объем, вытекающий из каналов в матрице,

$$W_c = fV_{исп}n.$$

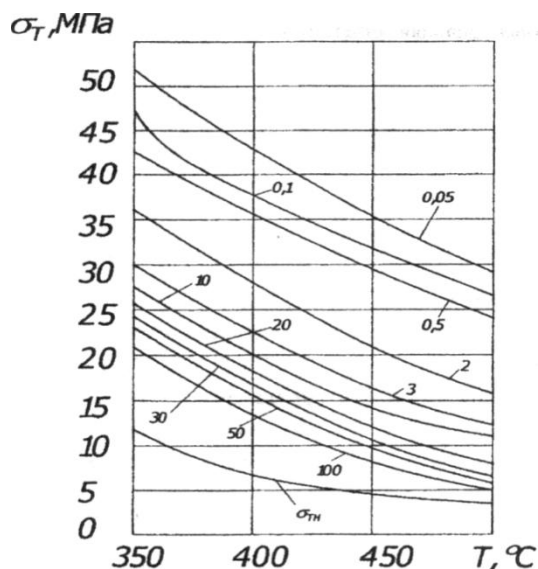


Рис. 4. Зависимость предела текучести от температуры нагрева заготовки T_H , длительности деформации τ для сплава АД 1

При прессовании сплошных некруглых профилей d_k рассчитывают как приведённый размер равновеликого по сечению прутка по формуле

Номинальное усилие является условной характеристикой гидравлического пресса, так как не учитывает гидравлические потери, потери на преодоление сил трения в уплотнениях и направляющих подвижных частей и т.п. Это усилие пресс может развивать только в этот момент, когда скорость прессующей траверсы равна нулю и главный цилиндр пресса соединён с источником рабочей жидкости, давление которого имеет максимальную величину.

Действительное рабочее усилие пресса, которое он развивает при процессе прессования, составляет часть номинального усилия.

Поэтому величина номинального усилия находится по формуле

$$P_{np} = K_3 P,$$

где K_3 – коэффициент запаса по усилию, $K_3 = 1,3$. Найденное расчетное значение усилия пресса сравнивается с предварительно выбран-

ным по табл. 3. Если расчетное усилие меньше, чем номинальное усилие выбранного пресса, то пресс выбран правильно, если же расчетное усилие больше выбранного, то выбирают другой пресс, с большим номинальным усилием, при том же диаметре контейнера.

2.7. Характер и последовательность технологических операций

Типовая схема производства профилей из алюминиевых сплавов состоит из следующих этапов: подготовка заготовок, нагрев, прессование, термическая обработка, правка, отделка, контроль.

Подготовка заготовок. В этом разделе записки необходимо дать требования, предъявляемые к заготовкам, описать вид заготовок, способ их получения.

Нагрев заготовок. При описании этой операции особое внимание обратить на порядок нагрева заготовок, контроль регулирования, температуры и производительность печи, дефекты при нагреве.

При выборе печи для нагрева заготовок следует иметь в виду, что чаще всего для нагрева круглых заготовок диаметром от 82 до 1080 мм из алюминиевых сплавов используют индукционные нагревательные печи. Основные характеристики печи приведены в табл. 6.

Таблица 6. Индукционные печи для нагрева заготовок

Марка печи	ИН-51	ИН-52	ИН-31	ИН600	ИН800	ИН1100
Диаметр заготовки, мм	82-215	110-165	190-430	410-560	480-700	630-1000
Длина заготовок, мм	200-700	200-700	280-1000	400-1100	700-1800	700-1900
Максимальная температура нагрева, °С	570	570	570	550	550	550

При нагреве в индукционных печах возможен большой перепад температуры между периферией и центром $\Delta T_{\text{пц}}$, который может привести к недопустимым термическим напряжениям и возникновению трещин в заготовке. Для высоколегированных сплавов установлено, что $\Delta T_{\text{пц}}$ допустимо в пределах 20-40°С, для малолегированных сплавов $\Delta T_{\text{пц}}$ допустимо до 40-100°С. Величина $\Delta T_{\text{пц}}$ регулируется временем нагрева (табл. 7).

Таблица 7. Минимальное время нагрева до 500 °С в индукционных печах в мин

При $\Delta T_{пл}$ °С	Минимальное время нагрева, мин, заготовок различных диаметров, мм							
	100	125	165	195	240	350	400	600
20	3,1	5,1	10,3	15,5	25,0	51,5	86,0	177
40	1,5	2,4	5,1	7,5	12,0	27,5	41,3	85
60	0,95	1,5	3,3	4,8	8,7	17,5	26,3	54
80	0,68	1,1	2,4	3,5	5,5	12,6	19,0	39
100	0,52	0,8	1,8	2,6	4,2	9,6	14,5	30

Прессование – основная технологическая операция. При ее описании дается порядок работы наладки прессового инструмента, указывается величина пресс-остатка и способы его отделения от пресс-изделия, режимы прессования профилей и возможные при этом дефекты. Следует помнить, что при прессовании алюминиевых сплавов технологическая смазка чаще всего отсутствует.

Термическая обработка. После прессования профили из алюминиевых сплавов чаще всего подвергают термической обработке – закалке и старению (естественному или искусственному) или отжигу. В этом разделе необходимо дать режимы термической обработки и характеристику применяемого при этом оборудования, краткое описание этой операции и возможные дефекты.

Для отжига используют камерные электрические печи с принудительной циркуляцией воздуха. Профили загружаются с помощью кассет, в которые устанавливают корзины с профилями. Закалка прессованных изделий проводится в основном на вертикальных закалочных агрегатах, состоящих из нагревательной печи и закалочного бака, заполненного водой. Время выдержки в минутах при нагреве под закалку определяется максимальной толщиной элементов поперечного сечения изделий. Изменение времени выдержки в зависимости от максимальной толщины полки изделий приведено в табл. 8.

Таблица 8

Толщина, мм, время выдержки	До 1,2 10-20	1,3-3,0 15-30	3,1-5,0 20-45	5,1-10,0 30-60
Толщина, мм, время выдержки	11-20 35-75	21-30 45-90	31-50 60-120	51-75 100-150
Толщина, мм, время выдержки	76-10 120-200	101-150 150-200	151-200 180-240	– –

Для искусственного старения используют электрические камерные печи по конструкции аналогичные печам отжига.

Правка необходима для придания профилям необходимой продольной и поперечной геометрии. Для исключения дефектов прессования и термической обработки (кривизны, саблевидности, скрутки, искривления полок и т.д.) правку профилей осуществляют в основном на правильно-растяжных, раскруточных и роликотправильных машинах.

Технические характеристики растяжных машин малых и средних усилий для правки прессованных изделий приведены в табл. 9.

В данном разделе записки необходимо выбрать тип машины, степень деформации и кратко описать процесс правки на этих машинах. При этом следует помнить, что профили, поставляемые в горячепрессованном и отожжённом состоянии, подвергаются правке после прессования, в закалённом и естественном или искусственно состаренном состоянии после закалки.

Таблица 9. Технические характеристики растяжных машин

Параметры	Усилия растяжной машины, МН				
	0,3	0,5	0,63	4,0	7,0
Длина пресс-изделий, м	7-33	1,5-8,5	6-36	4-9	2,8-20,0

Наибольший диаметр описанной окружности или поперечное сечение пресс-изделия, мм	180x120	100	175	250x160	700x350
Максимальный ход передней головки, мм	1750	1500	1500	1500	1500
Скорость растяжения, мм/с	10-100	5-25	100	31,6	12

Отделка необходима для повышения коррозионной стойкости и улучшения качества поверхности профилей. Она включает процессы травления и анодирования.

Контроль. На профилях контролируют размеры и допуски на размеры, качество поверхности, макро- и микроструктуру, механические свойства. В этом разделе необходимо описать существующие методы контроля указанных параметров и применяемые при этом приборы и инструмент.

Для оценки экономичности выбранного варианта необходимо подсчитать выход годного в процентах по формуле

$$\eta = \left(1 - \frac{V_{\text{отх}}}{V_{\text{сл}}} \right) 100(\%),$$

где $V_{\text{сл}}$ – объём слитка;

$V_{\text{отх}}$ – общий объём отходов:

$$V_{\text{отх}} = V_{\text{н}} + V_{\text{вых}} + V_{\text{ум}} + V_{\text{обр}} + 2V_{\text{захв}};$$

$V_{\text{н}}$ – отходы на пресс-остаток;

$V_{\text{вых}}$, $V_{\text{ум}}$ – отходы на обрезку выходных и утяжных концов;

$V_{\text{обр}}$ – отходы на образцы;

$V_{\text{захв}}$ – отходы на захваты для растяжной правильной машины.

Далее подсчитывается объём (вес) запуска металла на одну тонну готовых изделий:

$$G = 1000 / \eta \text{ (кг)}.$$

В завершение расчетов техпроцесса целесообразно составление технологической карты. В технологической карте указываются харак-

теристика прессуемого изделия и материал, наименование операций, тип оборудования и его усилие, тип инструмента, режимы нагрева и термообработки, приложение Б.

После оформления карту технологического процесса размещают в конце расчетно-пояснительной записки в качестве приложения.

3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРЕССОВОГО ИНСТРУМЕНТА

3.1. Состав прессового инструмента

В состав прессового инструмента (инструментальной наладки) обычно входят: матрица, контейнер, пресс-штемпель, пресс-шайба, подкладка под матрицу, матрицедержатель. При прессовании труб используется игла.

На рис. 5 представлена типовая инструментальная наладка для прессования профилей сплошного поперечного сечения с прямым истечением. Матрицу 6 и подкладку под матрицу 7 устанавливают в матрицедержатель 5. Фиксацию матрицы с подкладкой осуществляют с помощью штифта, запрессованного в торец матрицы, обращенной к подкладке. Такое соединение обеспечивает точное совпадение канала матрицы и профилированного отверстия в подкладке, которая служит опорой для матрицы.

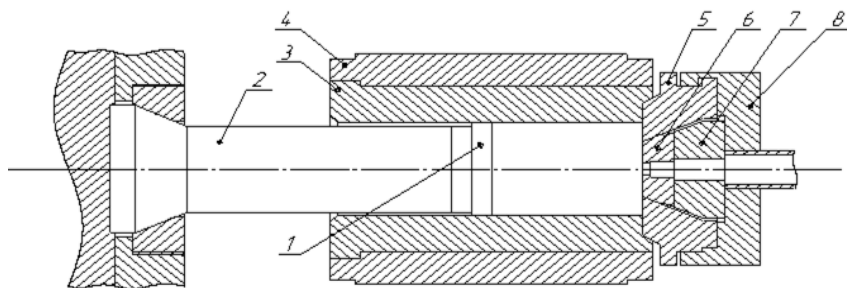


Рис. 5. Типовая инструментальная наладка для прессования профилей с прямым истечением

Собранный таким образом матричный комплект (матрица, подкладка, матрицедержатель) устанавливается неподвижно в специаль-

ную U-образную опору – мундштук 8, расположенную в передней поперечине пресса, и фиксируется в нем.

Пресс-штемпель 2 передает давление пресса на заготовку. Для предохранения торца пресс-штемпеля от контакта с нагретой заготовкой используют сменные диски - пресс-шайбы 1, как правило, не скрепленные с пресс-штемпелем. Пресс-штемпель изготавливают несколько меньше диаметра втулки 3 контейнера 4.

В непосредственном контакте с прессуемым металлом в процессе выдавливания находятся матрица, внутренняя втулка контейнера 3 (который может иметь несколько концентрических втулок 4) и пресс-шайба. Все они испытывают значительные силовые циклические нагрузки.

3.2. Выбор материала

Материал для прессового инструмента выбирают в зависимости от температуры и силовых условий работы инструмента, а также от технологии прессования. В настоящее время получили широкое распространение для изготовления прессового инструмента теплостойкие стали 5ХНМ, 3Х2В8Ф, 4Х5В2ФС и др. Они имеют хорошую прокаливаемость, высокую вязкость, теплостойкость и достаточно высокую прочность. Рекомендации по выбору марки материала для конкретного вида инструмента даны в табл.10, механические свойства в табл. 11.

Таблица 10. Марки сталей, применяемые для изготовления прессового инструмента

Вид инструмента	Марка стали	Твердость после термообработки HRC ₉
Наружные и промежуточные втулки контейнера	5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНМЗ, 3ХНЗМ, ЭИ383, 40ХГ, 3Х2Н2МВФ, 3ХВ4СФ	40-45
Внутренняя втулка контейнера	4Х4НМВФ, 5МФИС, 3Х3МЗФ, 37Х2НЗМ2Ф	40-45

Пресс-штемпель	3X3M3Ф, 37X2H3M2Ф, 4X5MФ1С	40-50
Матрицедержатель	5XHM, 5X2MHФ 4X5MФС	43-48
Пресс-шайба	5XHM, 5X2MHФ 5X2MHФ	40-45
Матрица	3X3M3Ф, 4X5MФС, 5X2MHФ	45-52

В данном разделе записки дается обоснование выбора стали, описание свойств и режима термообработки, обеспечивающих заданную твердость. Особое внимание следует обратить на стойкость инструмента и пути ее повышения.

3.3. Контейнер

Прессование пресс-изделий невозможно без использования контейнера. При деформации металла контейнер прессы испытывает высокие радиальные нагрузки, уровень которых может достигать 1000 МПа и выше. Для того чтобы противостоять таким нагрузкам, контейнеры делают сборными (бандажированными), состоящими из двух и более втулок (рис. 6). Втулки вставляются одна в другую с натягом, который достигается горячей посадкой. В многослойных контейнерах сжимающие напряжения от посадки втулок с натягом компенсируют часть рабочих растягивающих напряжений, возникающих при прессовании металла, что повышает прочность контейнера. При применении цельного контейнера наибольшее рабочее давление не превышает 50% предела текучести. Для сборного двухслойного контейнера допустимое рабочее давление может быть увеличено почти в два раза.

Таблица 11. Механические свойства сплавов, рекомендуемых для изготовления прессового инструмента

Марка стали или сплава	Температура, °С		Теплостойкость, °С	T _{исп.} , °С	Механические свойства					
					σ _B , МПа	σ _T , МПа	δ, %	Ψ, %	KCU, кДЖ/см ²	HRC ₃
5XHM	850	520	-	20 400 500	1270 1160 870	1090 960 850	14 10 14	44 35 62	550 420 380	39 35 30
3X2B8Ф	1150	575	660	20 500 600	1600-1700 1220 1150-1650	1140 1120 900-950	8 11 10	30-35 30-35 32	200-250 300-350 350	48-50 40 28-32
3X3M3Ф	1040	600	650	20 500 600	1700 1300 1180	1500 1150 1060	12 10 12	50 50 55	250-450 550-600 550-670	48 44 35
4X4BMФC	1070	620	660	20 500 600	1700-1800 1400 1050-1150	1550-1650 1200 900-1000	8-10 12 10-15	35-42 48 50-65	400-500 550 550-650	50 45 28
4X5B 2ФC	1040	580	630	20 500 600	1850 1400 1250	1550 1200 110	10 9 10-11	45 52 52	450 600 600	50 45 40
4X5MФC	-	-	-	20 500 600	1750 1400 1200	1600 1150 1050	11 10 11	54 52 -	550 600 500	48 45 45
2X6B 8M2K8	-	-	735	20 650 750	1570-1680 1470-1580 1170-1280 950-1000	1480-1510 1230-1270 1000-1120 800-900	9-11 10-11 11,5 12,5	21-24 24-25 24-26 40,5	120-170 530-540 730-770 900-950	55-60 49-50 45-47 41-43

Контейнер представляет собой пустотелый цилиндр, на наружной поверхности которого имеются четыре шпоночных паза со шпонками, служащими для ориентации контейнера относительно контейнеродержателя (рис. 6). Перед прессованием изделий контейнер нагревается до температуры не более 500°C , что регламентируется температурой отпуска инструментальных сталей, из которых сделан контейнер. Нагрев осуществляется индуктивно за счет вихревых токов.

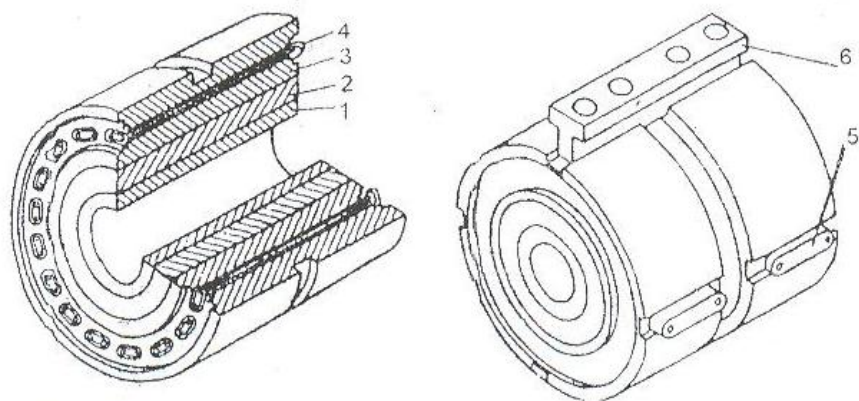


Рис. 6. Многослойный контейнер: 1 – внутренняя втулка; 2 – средняя втулка; 3 – наружная втулка; 4 – нагреватель с токопроводящей перемычкой; 5 – шпонка; 6 – транспортная прокладка

По литературным источникам расчет основан на известных методах определения окружных δ_t и радиальных δ_r напряжений в толстостенных цилиндрах по формулам Ляме. Существует такая оптимальная конструкция контейнера, которая при заданных значениях допустимых напряжений $[\sigma]_i$ для втулок и заданном давлении q_{II} обеспечивает получение минимального наружного диаметра, а при заданных габаритах – максимального возможного внутреннего давления. Конечная цель расчета: определить целесообразное число слоев N_K многослойного контейнера, размеры всех втулок, необходимые натяги δ между слоями и выбрать материалы для втулок.

Для этого выполняются следующие этапы:

1. Выбирают ориентировочно число втулок контейнера в зависимости от рабочего давления прессования. Для каждой втулки назначают материал (табл. 12).

2. Определяют геометрические размеры всех втулок контейнера.

3. Рассчитывают эпюры окружных и радиальных напряжений от рабочего давления в предположении, что натяги между слоями отсутствуют.

4. Определяют эквивалентные напряжения (сумма окружных и радиальных напряжений) на внутреннем радиусе наружного слоя и его недогруз по прочности (как разность между допускаемым и этим эквивалентным напряжением), а также соответствующее этому недогрузу контактное давление, от которого строят эпюры напряжений, для внутренних слоев.

5. Методом суперпозиции рабочих эпюр и эпюр от контактного давления определяют напряжения на всех радиусах втулок. Этот этап повторяется столько раз, сколько имеется втулок.

6. Находят значение эквивалентных напряжений по слоям.

7. Если эквивалентные напряжения на внутренней поверхности втулок окажутся меньше допускаемых напряжений, то контейнер рассчитан правильно. В противном случае - заменяют материалы втулок на более прочные или увеличивают размеры и количество слоев и расчет повторяют.

Таблица 12. Марки сталей, применяемые для изготовления контейнера

Вид втулки	Марка стали	σ ($T=450^{\circ}\text{C}$), МПа
Внутренняя	4Х4НВФ, 4Х5В2ФМ, 3Х2Н2МВФ, 5Х2НМФС, 27Х2Н2МВФ, 3ХВ4СФ	1400-1450
Промежуточные	3Х2Н3М, 4Х4НМВФ	1050-1450
Наружная	5ХНМ, 5ХНВ	750-800

Расчеты системы «втулки – контейнер» производятся по следующим формулам:

1. Давление прессования:

$$q_n = \frac{P_{\text{пр}}}{D_{\text{к}}}, \quad (4)$$

где $P_{\text{пр}}$ – усилие прессы, $D_{\text{к}}$ – внутренний диаметр рабочей втулки контейнера.

2. Принимают ориентировочно количество втулок $N_{\text{ОР}}$, но не больше шести, поскольку большее количество втулок применяют только в специальных контейнерах. Определяют значение $q_{\text{п}} / \sigma_{\text{А}}$, по которому из табл. 13 выбирают число втулок N . Сравнивают N с выбранным ранее $N_{\text{ОР}}$. При необходимости изменяют допустимые напряжения, выбранные материалы или число слоев.

Таблица 13. Рекомендуемое количество слоев (N) контейнера в зависимости от его напряженности

$q_{\text{п}} / \sigma_{\text{А}}$	0,3	0,3-0,55	0,56- 0,75	0,76-1,0	1,0-1,2	1,2-1,4
N	1	2	3	4	5	6

3. Допускаемые напряжения во втулках контейнера:

$$[\sigma]_i = \frac{(\sigma_T)_i}{K_i}, \quad (5)$$

где $(\sigma_T)_i$ – предел текучести металла i -й втулки при рабочей температуре работы контейнера; K_i – коэффициент запаса прочности i -й втулки; i – номер втулки, $i = 1, 2, \dots, N$.

Из практики эксплуатации контейнера $K_i = 1,1-1,5$. Наибольшее K назначают для внутренних втулок, наименьшее – для наружных втулок.

4. Среднее арифметическое из допустимых напряжений:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\sigma]_i. \quad (6)$$

5. Коэффициент толстостенности i -й втулки:

$$T_i = \frac{D_{\text{вн}}}{D_{\text{н}}} \quad (7)$$

6. Геометрические размеры i -й втулки:

$$r_{i+1} = r_i / T_i, \quad (8)$$

где r_{i+1} , r_i – наружный и внутренний радиусы i -й втулки соответственно.

7. Напряжения во втулках от давления прессования:

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (9)$$

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (10)$$

где σ_t и σ_r – окружное и радиальное напряжения соответственно; r_B – внутренний радиус рабочей втулки контейнера; r_H – наружный радиус контейнера; r_i – текущий радиус.

8. Контактное давление при посадке с натягом i -й втулки на блок внутренних ($i-1$) втулок:

$$i = \text{---} \quad \text{эКВ)}_i, \quad (11)$$

где эКВ)_i – эквивалентное напряжение.

9. Эквивалентные напряжения можно рассчитать по формулам:

Четырёхслойный контейнер

Посадка четвертой наружной втулки на блок ранее собранных внутренних втулок с натягом $P_{П4}$:

$$\text{эКВ)}_4 = [\sigma]_4 - \dots \quad (12)$$

Посадка третьей втулки на блок внутренних с натягом $P_{П3}$:

$$\text{эКВ)}_3 = [\sigma]_3 - \dots + \dots - \dots + \dots \quad (13)$$

Посадка второй втулки на первую с натягом $P_{П2}$:

$$\text{эКВ)}_2 = [\sigma]_2 - \dots - \dots + \dots - \dots + \dots \quad (14)$$

Трёхслойный контейнер

Посадка третьей втулки на блок внутренних с натягом $P_{П3}$:

$$\text{эКВ)}_3 = [\sigma]_3 - \dots + \dots \quad (15)$$

Посадка второй втулки на первую втулку с натягом $P_{П2}$:

$$\text{эКВ)}_2 = [\sigma]_2 - \dots + \dots - \dots + \dots \quad (16)$$

Двухслойный контейнер

$$\text{эКВ)} = [\sigma]_2 - \dots + \dots \quad (17)$$

Эпюры распределения радиальных σ_r и тангенциальных σ_t напряжений во втулках трехслойного контейнера от действия давления пресования $q_{П}$ приведены на рис. 7, а.

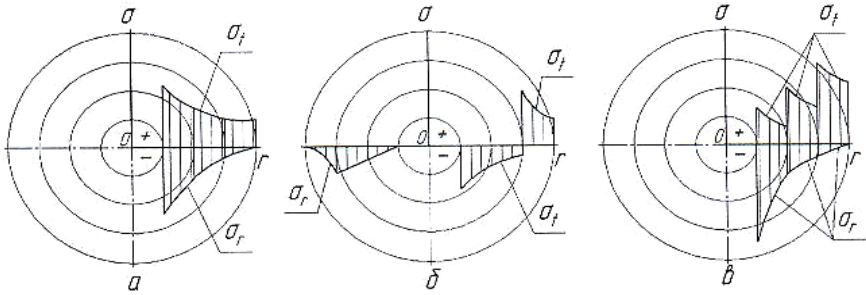


Рис. 7. Эпюры напряжений во втулках контейнера:

а – напряжения от внутреннего давления; б – напряжения от посадки 3-й втулки; в – суммарные напряжения

10. Натяг на радиус при посадке i -й втулки, обеспечивающей давление $P_{Пi}$:

$$\delta_i = r_i \frac{P_{Пi}}{E} \left(\frac{r_i^2 + r_B^2}{r_i^2 - r_B^2} + \frac{1 + T_i^2}{1 - T_i^2} \right), \quad (18)$$

где E – модуль упругости материала втулок.

Величина натяга обычно составляет 0,2-0,7% от радиуса втулки и уменьшается от внутренней втулки к наружной.

11. Температурный перепад для осуществления натяга

$$\Delta T_i = \frac{\delta_i}{r_i} \cdot \frac{1}{\alpha_{конт}} + (100 \div 150 \text{ } ^\circ\text{C}), \quad (19)$$

где α – коэффициент линейного расширения, $\alpha_{конт} = 12,5 \times 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

12. Расчет напряжений во внутренних втулках от контактного давления посадки P_{ni} :

$$(\sigma_t)_i^{P_{Пi}} = -\frac{r_B^2 P_{Пi}}{r_H^2 - r_B^2} \left(1 + \frac{r_B^2}{r_i^2} \right), \quad (\sigma_r)_i^{P_{Пi}} = -\frac{r_B^2 P_{Пi}}{r_H^2 - r_B^2} \left(1 - \frac{r_B^2}{r_i^2} \right), \quad (20)$$

13. Расчет напряжений во внешней втулке от контактного давления посадки P_{ni} :

$$= \text{---} \quad \text{---} \quad = \text{---} \quad \text{---} \quad (21)$$

14. Расчет суммарных напряжений в характерных точках контейнера от давления прессования и контактных давлений посадки. В местах сопряжений i -й и $(i+1)$ -й втулок суммирование напряжений проводится отдельно для наружного радиуса i -й втулки и внутреннего радиуса $(i+1)$ -й втулки:

$$.(22)$$

Вид эпюр суммарных напряжений приведен на рис. 7,в.

15. Проверка правильности расчета многослойного контейнера на прочность:

$$.(23)$$

3.4. Матрица

Матрица является наиболее важным технологическим инструментом, в котором совершается формирование внешней формы, точности размеров и качества поверхности профиля.

Матрица на рис. 8 представляет собой металлический диск с прорезанным в нем каналом по форме пресс-изделия. Ее устанавливают в передней части контейнера, она замыкает его полость с заложеной заготовкой.

Основные элементы конструкции матрицы: обжимная часть (зеркало) 1, рабочий канал 2 с калибрующим пояском 3, выходная часть 4, посадочная 5 и опорная 6 поверхности. Выходная часть 4 матрицы устраняет возможность задирания деформируемого профиля кромкой канала 2.

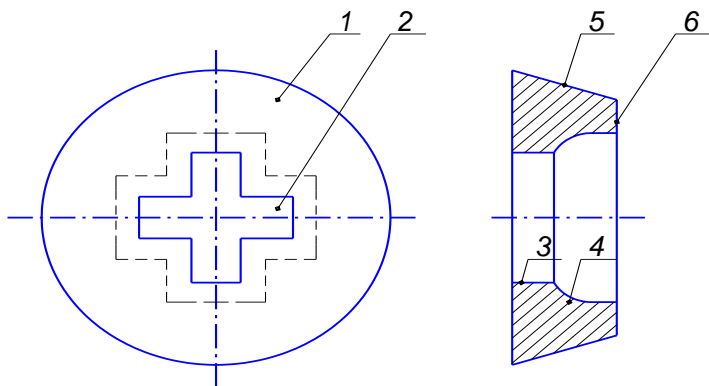


Рис. 8. Основные элементы конструкции матрицы

При прессовании профилей из алюминиевых сплавов чаще всего используют плоские матрицы (рис. 8). В плоской матрице поверхность, контактирующая с передним торцом заготовки, называют зеркалом. В ходе прессования на плоских матрицах образуется значительная «мертвая» зона, которая препятствует проникновению различных дефектов в профиль и обеспечивает получение высококачественной поверхности профиля. Одна и та же плоская матрица позволяет проводить прессование из контейнеров различного диаметра.

Плоские матрицы просты в изготовлении и обеспечивают легкое отделение пресс-остатка от матрицы. При одинаковых габаритах через плоские матрицы можно прессовать профили большего сечения и в большое число каналов.

К технологическим элементам конструкции матрицы относятся:

1. Формы и размеры сечения канала матрицы, которые должны учитывать упругие, деформационные и температурные изменения его в процессе прессования, упругую деформационную и термическую усадку прессуемого профиля и внеконтактную пластическую деформацию металла, связанную с неравномерностью истечения отдельных элементов профиля.

2. Форма и длина калибрующих поясков канала матрицы, позволяющие менять сопротивление истечению отдельных элементов профиля.

3. Размещение профиля на зеркале матрицы относительно оси прессования, влияющее на условия прессования и равномерность истечения металла. При равномерном истечении металла профиль получается прямым, без изгибов и скручивания.

4. Расстояние между каналами многоканальных матриц и их расположение относительно оси прессования, оказывающее влияние на стабильность геометрических размеров и степень неравномерности скорости истечения.

5. Толщина матрицы, оказывающая большое влияние на деформацию изгиба ее отдельных элементов, что существенно изменяет размеры прессуемых изделий и снижает стойкость при производстве профилей с полузамкнутыми полостями (особенно у матриц консольного типа). Большую часть профилей, получаемых прессованием, составляют профили некруглых поперечных сечений. Их прессуют из цилиндрической заготовки. Нарушение геометрического подобия между поперечными сечениями заготовки и прессуемого профиля, наличие реактивных сил трения между заготовкой и контейнером приводят к неравномерному истечению различных участков некруглого профиля.

Если сечение профиля разбить на участки равной ширины, то более «массивные» участки и участки, расположенные около оси прессования, имеют большую скорость истечения. Поэтому канал на зеркале матрицы необходимо расположить так, чтобы тонкие участки профиля размещались ближе к центру матрицы, а «массивные» участки дальше от центра матрицы.

Исходя из сложности конфигурации и площади поперечного сечения профиля задаются количеством каналов в матрице. Каналы стремятся располагать симметрично относительно осей. Если матрица одноканальная, то канал на зеркале матрицы располагают следующим образом:

1. При наличии двух осей симметрии профиля центр тяжести его совмещают с геометрическим центром матрицы.

2. При одной оси симметрии и толщине полок профиля, незначительно отличающихся друг от друга, центр тяжести также совмещают с геометрическим центром матрицы.

3. Асимметричные профили и профили с одной осью симметрии, но со значительной разницей в симметрии полок, располагают таким образом, чтобы тонкие элементы были максимально приближены к центру матрицы. Примеры расположения каналов на зеркале матрицы приведены на рис. 9.

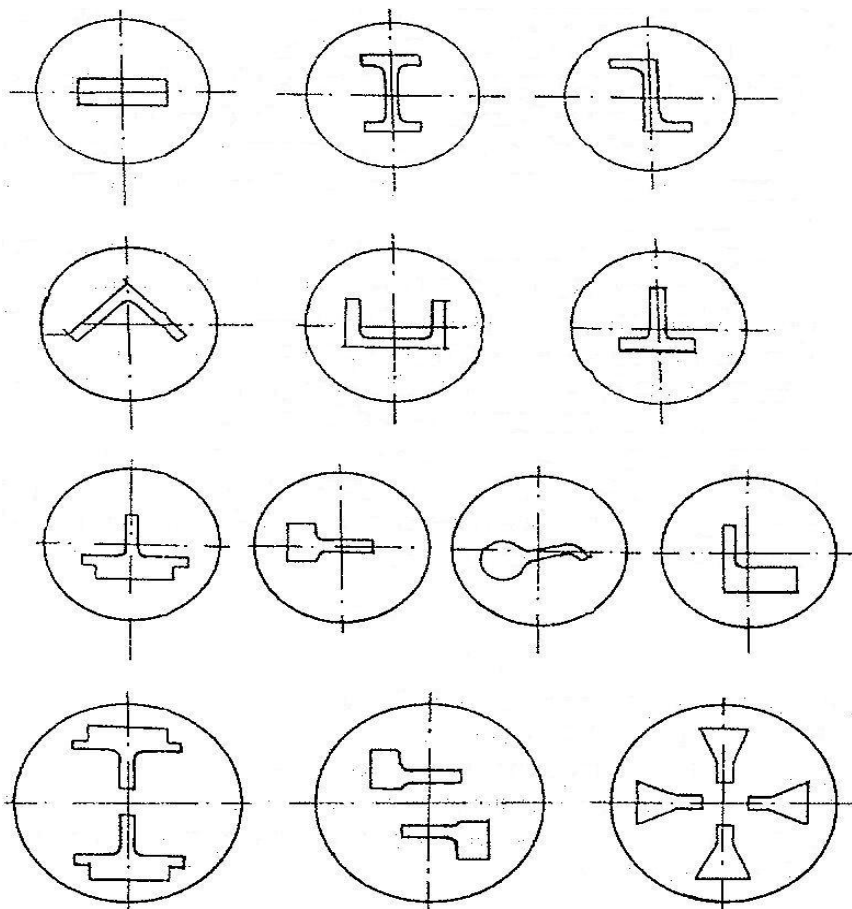


Рис. 9. Варианты рационального расположения каналов на зеркале матрицы

Для нахождения требуемой длины калибрующего пояска по предложению Б.И. Матвеева и Е.Б. Журавского поперечное сечение

канала разделяют на несколько элементов равной ширины, чаще всего прямоугольной формы или близкой к ней (рис. 10). При одинаковых скоростях истечения длины калибрующих поясков различных элементов i и j должны быть обратно пропорциональны их удельным периметрам:

$$- \quad - \quad - \quad (24)$$

где Π_i и Π_j – периметры элементов i и j ; F_i и F_j – площади элементов i и j ; l_i и l_j – длины калибрующих поясков i и j .

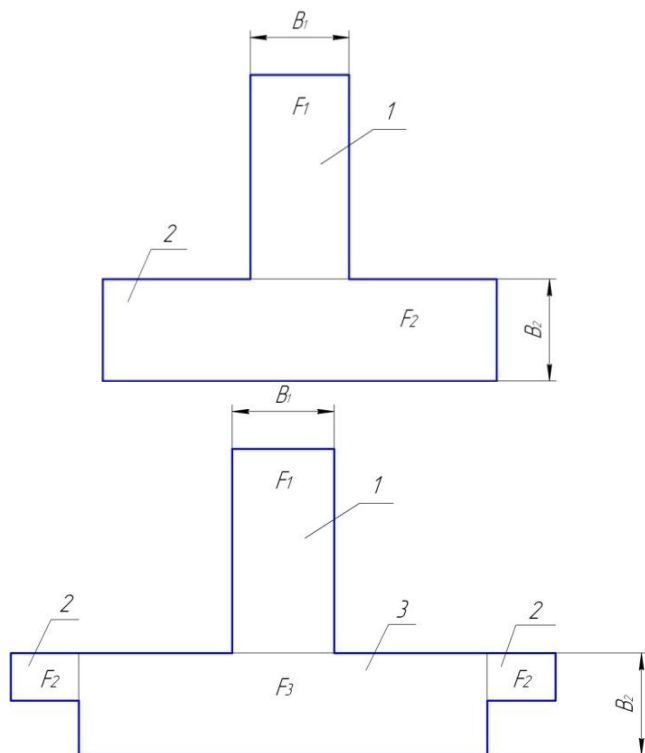


Рис. 10. Примеры разбиения поперечного сечения канала на элементы равной ширины

Задаваясь минимальной длиной пояска для элемента с наибольшим удельным периметром из условия прочности не менее

3-5 мм, по формуле (24) нетрудно найти длины поясков для остальных элементов. Значительное увеличение длины пояска не всегда эффективно для выравнивания скоростей истечения, так как отпрессованный профиль в канале матрицы перестает соприкасаться с поверхностью калибрующего пояска. Это происходит в результате остывания готового профиля. На практике установлено, что длина калибрующего пояска более толщины прорези не всегда эффективна.

Дополнительное выравнивание скоростей истечения по поперечному сечению прессуемого профиля достигается путем применения сходящих калибрующих поясков. Изложенная методика позволяет спроектировать матрицу только в первом приближении для простых профилей. Для сложных профилей и многоканальных матриц расчет усложняется и часто окончательная доводка канала матрицы производится при прессовании опытных партий.

При расчете матриц на прочность следует обратить внимание на ее консольные части (участки 1,2 на рис. 11), выступающие в канале матрицы, упругий прогиб которых вызывает изменение толщины профиля и исключает тормозное влияние пояска.

Расчет консольных участков матрицы на изгиб проводят как для консольно закрепленной балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой, по формуле

$$\sigma = \frac{M}{W_{изг}}$$

где σ – напряжение изгиба;
 M – изгибающий момент,

$$R_{конс} L_{конс};$$

$L_{конс}$ – расстояние от основания консоли до центра приложения равнодействующей силы $R_{конс}$, совпадающей с центром тяжести консольного участка в плане,

$$R_{конс} = q_{п} \cdot F_{конс};$$

$q_{п}$ – удельное давление в контейнере при максимальном усилии прессы;

$F_{конс}$ – площадь прямоугольного консольного участка 2,

$$F_{конс} = B_{конс} \cdot a;$$

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

$$W_{изг} = \frac{B_{конс} a^3}{12};$$

$B_{конс}$ – ширина консольного участка матрицы у основания консоли;

h – высота матрицы;

$[\sigma]_{\text{изг}}$ – допускаемое напряжение на изгиб материала матрицы;

$$[\sigma]_{\text{изг}} = 0,7 \sigma_B.$$

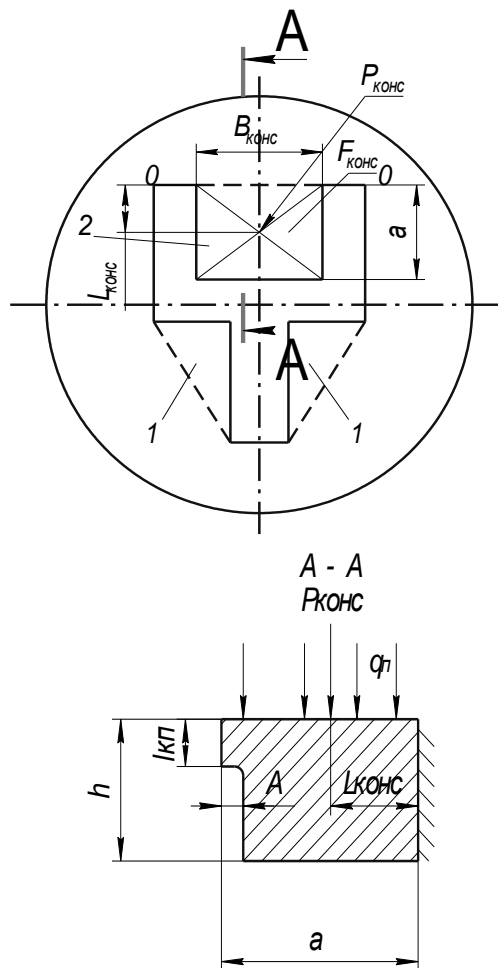


Рис. 11. К расчету консольных участков матрицы

Обычно высоту матрицы назначают из конструктивных соображений,

$$h = (0,3-0,5) D_k,$$

а затем проводят проверочный расчет.

Для повышения жесткости таких матриц используют подкладки и спецподкладки (рис.12). В этом случае расчет на прочность консольных участков следует проводить с учетом толщины всего матричного комплекта:

$$W_{изг} = \dots$$

Важное значение для прочности пояска матрицы имеет величина консоли А (рис. 11). Она должна быть минимальной $A = 0,5 - 2$ мм. Величину А можно рассчитать по рассмотренной выше методике, рассматривая поясок как консольный элемент.

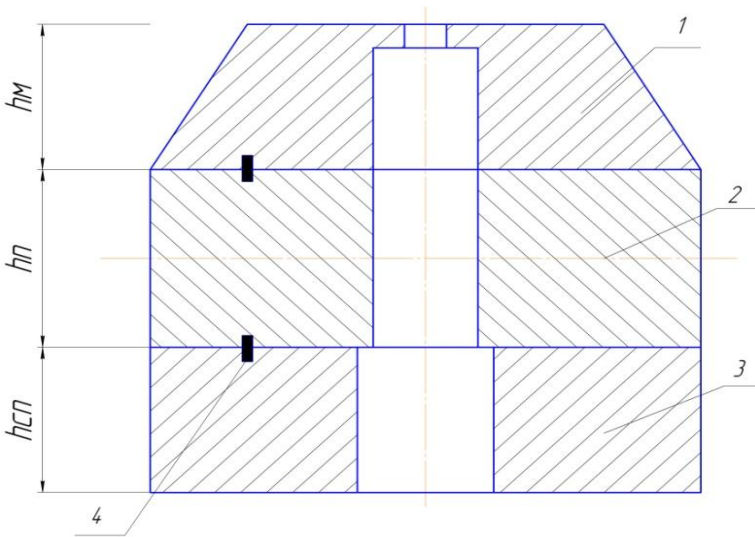


Рис. 12. Матричный комплект:

1 – матрица, 2 – подкладка, 3 – спецподкладка, 4 – штифт

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

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

где K_y – коэффициент утягивания размера сечения при прессовании (для профилей, имеющих удлиненные участки: «уголок», «швеллер» и т.д.);

K_p – коэффициент уменьшения размера при правке растяжением (табл. 14);

K_T – коэффициент температурной усадки профиля,

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

где $T_{\text{заг}}$ и $T_{\text{матр}}$ – температуры нагрева заготовки и матрицы, при этом $T_{\text{заг}} - T_{\text{матр}} = 30 - 50$ °С;

$\alpha_{\text{заг}}$ и $\alpha_{\text{матр}}$ – коэффициенты линейного расширения прессуемого металла (для алюминиевых сплавов $\alpha = 2,5 \cdot 10^{-6}$ 1/°С) и материала матрицы (для сталей $\alpha_1 = 14 \cdot 10^{-6}$ 1/°С).

Таблица 14. Значение коэффициентов K_y и K_p

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

Допуски на размеры составляют приблизительно: для линейных размеров до 10 мм – 1%, для линейных размеров выше 10 мм -0,8%. Расчетные размеры канала матрицы округляют с точностью до 0,1мм. Более точно допуски на размеры берут из ГОСТ 8617-81 «Профили, прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов».

3.5. Пресс-штемпель и пресс-шайба

Пресс-штемпель передает усилие, создаваемое гидропрессом к прессуемому металлу через пресс-шайбу.

Величина допустимой нагрузки, которую может выдержать пресс-штемпель, определяет возможную степень деформации при прессовании.

Конструктивно пресс-штемпель для прессования сплошных профилей изготавливают монолитным, состоящим из головки 2 и штанги 1 (рис. 13). После выбора размеров пресс-штемпель проверяют на прочность, при этом его рассматривают как сжатый и консольно закрепленный стержень. Обычно продольная сила смещена относительно оси пресс-штемпеля из-за отсутствия идеальной центровки на величину эксцентриситета ℓ . Поэтому при расчете пресс-штемпеля необходимо определять напряжения от сжатия и от продольного изгиба (рис.14).

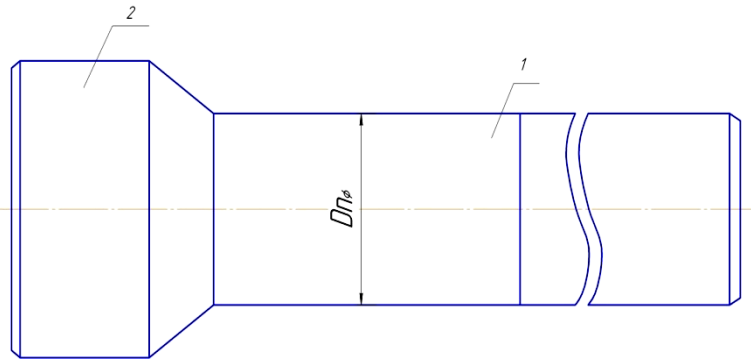


Рис. 13. Пресс-штемпель: 1 – штанга, 2 – головка

Усилие пресса $P_{пр}$, передаваемое пресс-штемпелем на заготовку, вызывает в нем напряжение сжатия:

$$\sigma = \frac{P_{пр}}{F},$$

где F – площадь поперечного сечения пресс-штемпеля,

$$F = \frac{\pi D_{ш}^2}{4}$$

$D_{ш}$ – диаметр пресс-штемпеля.

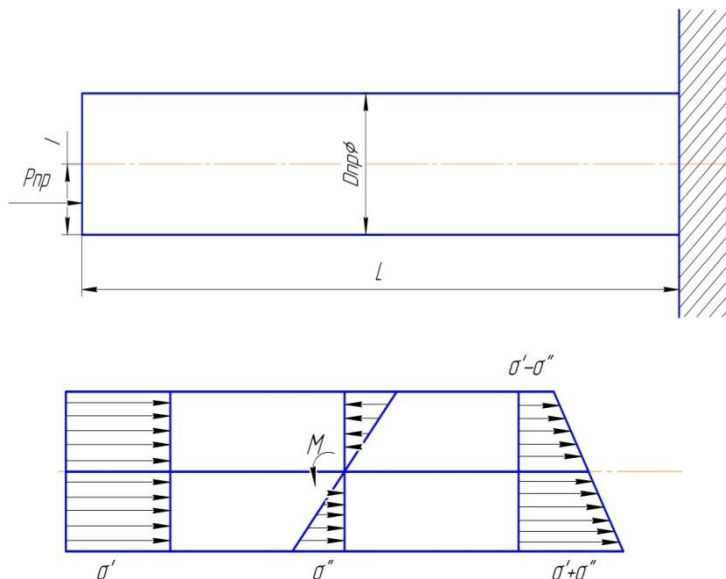


Рис. 14. Схема к расчету пресс-штемпеля на прочность

При эксцентрично приложенной нагрузке в пресс-штемпеле возникает дополнительное изгибающее напряжение σ'' :

$$\sigma'' = \frac{M}{W}$$

где M – изгибающий момент,

$$M = P_{\text{пр}} \ell;$$

ℓ – эксцентриситет,

$$\ell = \frac{D_{\text{пр}} \phi}{2};$$

W – момент сопротивления изгибу, для круга, $W = 0,1D_{\text{п}}^3$. На эпюрах (рис. 14) видно, что полное напряжение на пресс-штемпеле равно сумме напряжений от силы $P_{\text{пр}}$ и изгибающего момента M . Полное напряжение на пресс-штемпеле сравнивают с допустимым:

$$\sigma_{\text{п}} = \sigma' + \sigma'' \leq [\sigma],$$

где $[\sigma] = \sigma_{\text{в}}$.

Значение предела прочности $\sigma_{\text{в}}$ определяют при температуре разогрева металла пресс-штемпеля, не превышающей 250°C .

Диаметр пресс-штемпеля выполняют на 10-20 мм меньше диаметра рабочей втулки контейнера D_k . Причем меньшее значение назначают для небольших по габаритам контейнеров, большие - для крупногабаритных контейнеров. Длину рабочей части пресс-штемпеля берут несколько большей, чем длина контейнера $L_{\text{конт}}$:

$$L = L_{\text{конт}} + 0.5D_k.$$

Для увеличения сопротивления продольному изгибу пресс-штемпель рекомендуется делать ступенчатым с утолщенной частью рабочего стержня (рис. 13).

Пресс-шайба применяется при прессовании для предохранения пресс-штемпеля от теплового воздействия со стороны деформируемого металла. Пример конструкции пресс-шайбы приведен на рис. 15.

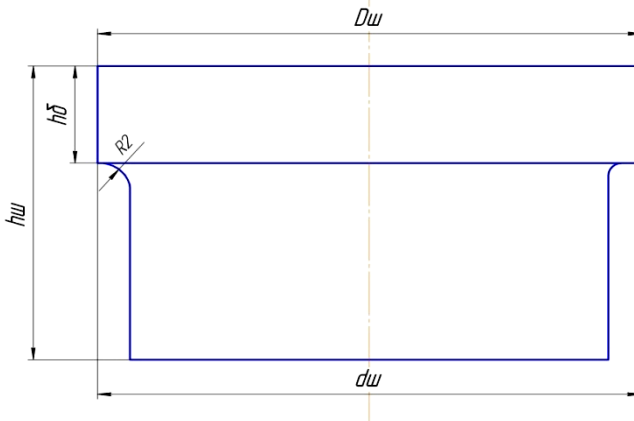


Рис. 15. Пресс-шайба

Основными технологическими размерами пресс-шайбы являются рабочий диаметр $D_{\text{ш}}$ и высота $h_{\text{ш}}$. Диаметр пресс-шайбы принимают равным диаметру отверстия внутренней втулки D_k за вычетом величины технологического зазора a : $D_{\text{ш}} = D_k - a$, где $a = 0,1 - 0,5$ мм. Высота пресс-шайбы принимается $h_{\text{ш}} = (0,3 - 0,5)D_k$. Для уменьшения контактной поверхности с контейнером на пресс-шайбе выполняют буртик $h_б = (0,1 - 0,15)D_k$. Опорная поверхность пресс-шайбы имеет диаметр, равный диаметру пресс-штемпеля, $d_{\text{ш}} = D_n$.

Пресс-шайбы при конструировании рассчитывают на смятие. При этом принимают допустимое удельное давление равным $(0,9 - 0,95) \sigma_T$ выбранной стали при заданных температурных условиях.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бережной, В.Л. Прессование с активным действием сил трения [Текст] / В.Л. Бережной, В.Н. Щерба, А.И. Батулин. – М.: Metallurgy, 1988. – 296с.
2. Гун, Г.Я. Прессование алюминиевых сплавов [Текст] / Г.Я. Гун, В.Н. Яковлев, Б.А. Прудковский. – М.: Metallurgy, 1974. – 362с.
3. Гильденгорн, М.С. Прессование со сваркой полых профилей из алюминиевых сплавов [Текст] / М.С. Гильденгорн, В.Н. Керов, Г.А. Кривонос. – М.: Metallurgy, 1975. – 233 с.
4. Ерманок, М.З. Прессование профилей из алюминиевых сплавов [Текст] / М.З. Ерманок, В.И. Фейгин, Н.А. Сухоруков. – М.: Metallurgy, 1977. – 263 с.
5. Ерманок, М.З. Прессование труб из алюминиевых сплавов [Текст] / М.З. Ерманок, Л.С. Каган, М.Ф. Головинов. – М.: Metallurgy, 1976. – 247 с.
6. Ерманок, М.З. Прессование панелей из алюминиевых сплавов [Текст] / М.З. Ерманок. – М.: Metallurgy, 1974. – 231с.
7. Каргин, В.Р. Процессы получения винтовых профилей и труб [Текст] / В.Р.Каргин. – М.: Metallurgy, 1994. – 96 с.
8. Корнилов, В.Н. Непрерывное прессование со сваркой алюминиевых сплавов [Текст] / В.Н. Корнилов. – Красноярск, 1993. – 216 с.
9. Кузьменко, В.А. Прессование алюминиевых сплавов [Текст] / В.А. Кузьменко. – М.: Metallurgy, 1986.– 108 с.
10. Райтбарг, Л.Х. Производство прессованных профилей [Текст] / Л.Х. Райтбарг. – М.: Metallurgy, 1984. – 264 с.
11. Перлин, И.Л. Теория прессования металлов [Текст] / И.Л. Перлин, Л.Х. Райтбарг. – М.: Metallurgy, 1975. – 448 с.
12. Старостин, Ю.С. Ребристые трубы из алюминиевых сплавов [Текст] / Ю.С. Старостин, М.Ф. Головинов, В.Р. Каргин. – М.: Metallurgy, 1983. – 134 с.
13. СТО СГАУ 02068410-004-2007. Общие требования к учебным текстовым документам [Текст]. – Самара: СГАУ, 2007. – 29 с.

14. Алюминиевые сплавы. Структура и свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов [Текст]: справочник. – М.: Metallurgy, 1974. – 432 с.

15. Колобнев, И.Ф. Термическая обработка алюминиевых сплавов [Текст] / И.Ф.Колобнев. – М.: Metallurgy, 1966. – 394 с.

16. Геллер, Ю.А. Инструментальные стали [Текст] / Ю.А. Геллер. – М.: Metallurgy, 1983. – 527 с.

17. Щур, И.А. Технологическое оборудование для прессования металла [Текст] / И.А. Щур. – М.: Metallurgy, 1994. – 96 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Пример оформления титульного листа пояснительной записки
к курсовому проекту

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЁВА
(национальный исследовательский университет)»

Инженерно-технологический факультет

Кафедра обработки металлов давлением

Пояснительная записка

К курсовому проекту на тему

Студент _____ (Фамилия, инициалы)

Руководитель проекта _____ (Фамилия, инициалы)

Самара 2012

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ КАРТЫ. КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

№ п/п	Наименование операции	Шифр и наименование оборудования	Размеры слитки после операции, мм	Тепловой режим		Отходы			Металл на 1 т годного	
				Температура в металле, °С	Общее время, час	Наименование	кг	% от запуска	кг	% от запуска
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10
1	Нагрев	Печь ИН-31	606	488	0,02-0,05				1250	100
2	Прессование	ГПП 50МН	23000	450		Пресс-остаток	170	13,6	1080	86,4
3	Правка растяжением	Правильно - растяжная машина 0,5МН	22500						1080	86,4
4	Обрезка концов	Дисковая пила	3500			Концовки профиля	27,4	2,2	1052,6	84,2
5	Отжиг	Камерная электрическая печь	3500	380-420	1,5				1052,6	84,2
6	Резка в меру	Дисковая пила	3500			Стружка, фланцы	18,2	1,4	1052,6	82,8
7	Контроль	Контрольный стол	3500						1000	82,8
8	Упаковка	Стенд для упаковки	3500						1000	82,8

Учебное издание

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕССОВАНИЯ ПРОФИЛЕЙ
ИЗ ЛЕГКИХ СПЛАВОВ**

Методические указания

Составители: *Каргин Владимир Родионович,
Каргин Борис Владимирович,
Арышенский Евгений Владимирович*

Редактор Т.К. Кретинина
Доверстка А.В. Ярославцева

Подписано в печать 27.06.2012 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 3,5.

Тираж 100 экз. Заказ . Арт. – М12/2012.

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

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

