

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

## ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕССОВАНИЯ, ПРОКАТКИ И ВОЛОЧЕНИЯ

Рекомендовано редакционно-издательским советом  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С.П. Королева (национальный исследовате-  
льский университет)» в качестве индивидуальных заданий  
для самостоятельной работы

Самара  
Издательство СГАУ  
2014

УДК 621.9(075)

ББК 34.621я7

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

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И. П. Попов

**Теория и технология прессования, прокатки и волочения :**  
индивид. задания для самостоятельной работы / сост. *В.Р. Каргин, Б.В. Каргин*. – Самара: Изд-во СГАУ, 2014. – 72 с.

Приведены индивидуальные задания для проектирования рациональных технологических процессов производства труб из алюминиевых сплавов, применяемых в авиационной технике. Описана методика проектирования технологии, включающая в себя выбор оборудования для производства труб на этапах прессования, холодной прокатки и волочения, а также выбор исходных размеров заготовки. Дан порядок расчета основных технологических параметров, калибровки рабочего инструмента и необходимый справочный материал.

Предназначены для студентов старших курсов инженерно-технологического факультета при выполнении самостоятельной работы на практических занятиях, курсовых и дипломных проектов.

Подготовлены на кафедре обработки металлов давлением.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ПРЕССОВАНИЕ ТРУБ.....	6
1.1. Краткие теоретические сведения.....	6
1.2. Варианты индивидуальных заданий.....	13
1.3. Пример расчета технологии прессования трубы.....	14
1.4. Контрольные вопросы.....	16
2. ПРЕССОВАНИЕ ПОЛЫХ ПРОФИЛЕЙ.....	17
2.1. Краткие теоретические сведения.....	17
2.2. Варианты индивидуальных заданий.....	26
2.3. Пример расчета технологии прессования прямоугольной трубы.....	27
2.4. Контрольные вопросы.....	32
3. ХОЛОДНАЯ ПРОКАТКА ТРУБ.....	34
3.1. Краткие теоретические сведения.....	34
3.2. Варианты индивидуальных заданий.....	43
3.3. Пример расчета калибровки для прокатки труб.....	43
3.4. Контрольные вопросы.....	48
4. ВОЛОЧЕНИЕ ТРУБ.....	50
4.1. Краткие теоретические сведения.....	50
4.2. Варианты индивидуальных заданий.....	55
4.3. Пример расчета проходов при безоправочном волочении трубы.....	57
4.4. Контрольные вопросы.....	60
5. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБ И ЕГО ОБОСНОВАНИЕ.....	61
5.1. Краткие теоретические сведения.....	61
5.2. Варианты индивидуальных заданий.....	63
5.3. Пример расчета технологии изготовления трубы.....	65
5.4. Контрольные вопросы.....	68
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	70

## ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемые индивидуальные задания служат методическим материалом при проведении практических занятий по дисциплине «Теория и технология прессования».

Целью дисциплины «Теория и технология прессования» является ознакомление и изучение студентами прогрессивных технологических процессов, инструмента и оснастки по производству профилей, панелей, прутков и труб из различных металлов и сплавов.

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

Студент должен знать:

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

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

современное состояние и особенности теории формоизменения;

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

Изучив дисциплину, студент должен уметь:

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

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

выполнять расчеты размеров заготовок, энергосиловых параметров процессов;

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

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

Дисциплина «Теория и технология прессования» является одной из основных базовых дисциплин по подготовке специалистов и бакалавров по направлению «Металлургия», по специальности и профилю «Обработка металлов давлением», строится на ряде общетехнических и теоретических дисциплин: металловедение и термическая обработка, механика сплошных сред, теория обработки металлов давлением. Курс служит основой для выполнения курсовых и дипломных проектов по прессованию, волочению и ХПТ.

# 1. ПРЕССОВАНИЕ ТРУБ

## 1.1. Краткие теоретические сведения

Сущность процесса прессования труб состоит в выдавливании труб заданных размеров из заготовки большего диаметра, помещенной в закрытый контейнер. Металл выдавливается через отверстие, образованное матрицей и иглой.

Прессованием получают трубы, которые или являются готовым полуфабрикатом (штулка), или служат заготовкой для дальнейшего пластического деформирования (прокатки, волочения). Проектирование технологии прессования после выбора метода прессования сводится к определению следующих основных показателей: размеров заготовки (слитка), температурного интервала, скорости прессования, коэффициента вытяжки, усилия прессования.

*Метод прессования.* На рис. 1 приведены наиболее распространенные схемы прессования труб: прессование с прямым и обратным истечением. Как правило, прессование труб ведется со смазкой иглы, причем применяется горячее прессование. Внутренний диаметр трубы формируется иглой. Она может быть неподвижной, конически-ступенчатой или подвижной цилиндрической. Чаще всего используется подвижная цилиндрическая игла, так как она обеспечивает необходимое качество внутренней поверхности трубы. Неподвижную иглу применяют, когда внутренний диаметр трубы невелик и прочность подвижной иглы недостаточна. При выборе метода прессования из всех возможных вариантов наиболее предпочтителен обратный метод горячего прессования на подвижной игле со смазкой. Этот метод обеспечивает максимальные производительность и выход годного. При этом структура и свойства пресс-изделия удовлетворяют требованиям ГОСТа.

*Размеры заготовки.* При прессовании труб, как правило, используют полые литые заготовки длиной  $L$  с наружным  $D$  и внутренним  $d$  диаметрами. Необходимо стремиться к выбору заготовки мак-

симального объема. При этом следует учитывать следующие соотношения:

$2,0 \leq L/D \leq 3,5$  – при прямом методе,

$2,5 \leq L/D \leq 6,0$  – при обратном методе.

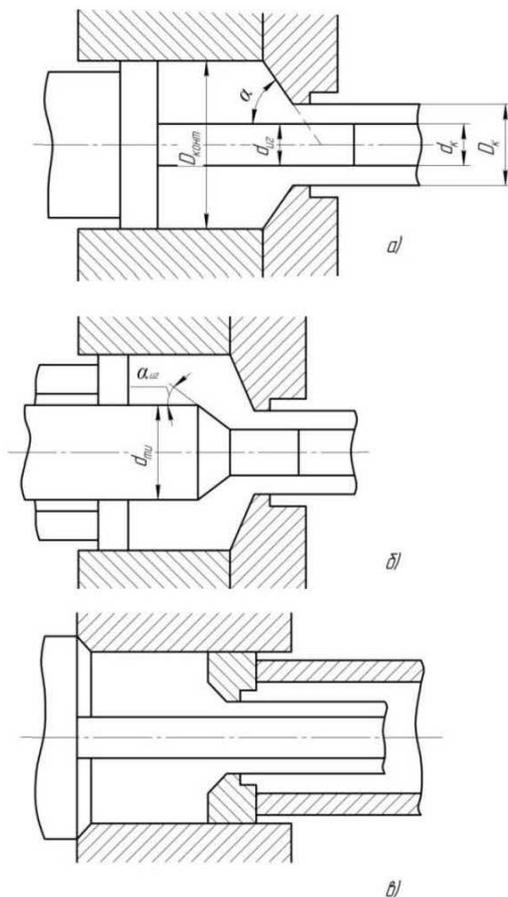


Рисунок 1. Схема прессования труб: а – прямой метод (игла подвижная); б – прямой метод (игла неподвижная); в – обратный метод (игла неподвижная)

Рекомендуется выбирать диаметр заготовки с учетом достижения максимально возможной величины вытяжки и допустимого для данного типа пресса усилия прессования. Диаметр контейнера определяется по формуле

$$D_{\text{конт}} = \sqrt{(D_{\text{к}}^2 - d_{\text{к}}^2)\mu_{\text{опт}} + d_{\text{иг}}^2},$$

где  $D_{\text{к}}$  и  $d_{\text{к}}$  – наружный и внутренний диаметры трубы после прессования;  $d_{\text{иг}}$  – диаметр иглы, который выбирается равным  $d_{\text{к}}$ , если игла подвижная, или равным диаметру тела иглы  $d_{\text{т иг}}$ , если неподвижная (см. табл. 2);  $\mu_{\text{опт}}$  – оптимальная вытяжка (табл. 1).

Таблица 1. Величины оптимальных вытяжек  $\mu$  при прессовании труб

Марка сплава	$\mu_{\text{опт}}$	Марка сплава	$\mu_{\text{опт}}$
AMg2, AMg3	30 ... 50	AB, 1915, 1925	30 ... 60
AMg5, AMg6	20 ... 40	B95, AK4, AK6	15... 30
AMц, АДЗ1, АД1	30 ... 90	Д1, Д16	20 ... 50

Используя расчетное значение  $D_{\text{конт}}$ , по табл. 2 определяют типоразмер пресса (по предельному усилию прессования), ближайшие стандартные размеры диаметра контейнера  $D_{\text{конт}}$ , наружный и внутренний диаметры заготовки  $D$ ,  $d$ .

По выбранным значениям уточняется величина коэффициента вытяжки:

$$\mu = \frac{D_{\text{конт}}^2 - d_{\text{иг}}^2}{D_{\text{к}}^2 - d_{\text{к}}^2}.$$

Длина подпрессованной заготовки (слитка)  $L$  находится по формуле:

$$L = \frac{(l_{\text{г}} + \Delta)n_{\text{м}} + l_{\text{к о}}}{\mu} + l_{\text{п о}}\mu_{\text{р}}.$$

Здесь  $l_{\text{г}}$  – мерная длина отпрессованной трубы, определяемая заказчиком или допустимой длиной заготовительных столов прокатного (2100 ... 5200 мм) или волочильного стана (2500 ... 8000 мм);  $n_{\text{м}}$  – число мерных труб длиной  $l_{\text{г}}$  в одной прессовке, выбирается исходя из максимальной прессуемой длины  $l_{\text{max}}$  (табл. 2).

Таблица 2. Размерный ряд заготовок для прессования труб

Предельное усилие пресса, МН	Диаметр контейнера, мм	Наружный диаметр заготовки, мм	Внутренний диаметр заготовки, мм	Диаметр тела иглы, мм
15,0; 16,0	150	146	63	60
	170	165	63, 78	60, 75
	200	190	63, 78	
31,5	230	223	90	85
	245	238	105	100
35,0	245	238	105	100
	265	256	89, 105, 130, 140	85, 100, 125, 135
	370	362	89, 105, 130, 140, 150	100, 175, 135, 145
50,0	370	365	105, 130, 140, 150	100, 125, 135, 175, 180, 205
	420	410	185, 210, 210, 265, 300	205, 260, 295

Сначала задают ориентировочное значение  $n_m \approx 0,8l_{\max}/l_r$ , а затем по отношению  $L/D$  проверяют, является ли  $L$  оптимальной. Если нет, то величину  $n_m$  изменяют;  $\Delta$  – припуск на длину с учетом резки на дисковой пиле,  $\Delta = 100 \dots 300$  мм;  $l_{\text{к о}}$  – длина обрезаемых концов (см. табл. 3);  $l_{\text{п о}}$  – длина пресс-остатка (см. табл. 3);  $\mu_p = F_{\text{конт}}/F_{\text{заг}}$  – коэффициент распрессовки, где  $F_{\text{конт}}$  – площадь сечения, образуемая диаметрами контейнера и иглы;  $F_{\text{заг}}$  – площадь сечения заготовки.

Необходимо выбирать максимально возможные значения длины  $L$  исходя из типа оборудования и допустимого отношения  $L/D$ .

**Температурный интервал.** Слиток необходимо нагреть до температуры, которая обеспечила бы прессование на прессе выбранного типоразмера, при этом не должно происходить перегрева металла заготовки.

Температуру начала прессования  $T_n$  можно определить по формуле:

$$T_n = T_{\max} - \Delta T_d + \Delta T_{\text{тр}}.$$

Здесь  $T_{\max}$  – максимальная температура прессования, соответствующая максимальной пластичности металла; находится по диаграмме пластичности и проверяется по диаграмме состояния по условию  $T_{\max} \leq 0,9T_s$  ( $T_s$  – линии солидуса для данного сплава);  $\Delta T_d$  – разогрев металла от деформации; определяется по приближенной формуле

$$\Delta T_d = \frac{\sigma_T \ln \mu}{c \rho},$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести сплава при температуре  $T_{\max}$  (по диаграмме пластичности);  $c$  – средняя удельная теплоемкость,  $c = 870$  Дж/кг град;  $\rho$  – удельный вес сплава,  $\rho = 2800$  кг/м<sup>3</sup>;

Таблица 3. Допустимые размеры труб при прессовании

Предельное усилие пресса, МН	Длина прессостатка, мм	Максимальная длина слитка, мм	Длины обрезаемых концов, мм	Максимальная прессуемая длина, мм
Прямой метод 15,0; 16,0 31,5 35,0 50,0	20	500	300	16000
	40	850	500	30000
	40	850	500	30000
	50	950	600	30000
Обратный метод 15,0; 16,0 31,5 35,0 50,0	15	700	300	35000
	20	1300	500	38000
	20	1300	500	38000
	35	2000	600	38000

Таблица 4. Температурные интервалы и скорости прессования

Марка сплава	Температура, °С		Скорость прессования, м/мин
	слиток	контейнер	
АД1, АД31, АМц	300 ... 470	280 ... 320	35,0 ... 50,0
АМг2, АВ, АМ23	350 ... 450	320 ... 390	8,0 ... 15,0
1915, 1925	380 ... 400	330 ... 420	7,0 ... 10,0
АМг5, АМг6	400 ... 470	370 ... 420	2,0 ... 3,0
АК4, АК6	350 ... 450	300 ... 400	2,5 ... 4,0
Д1, Д16, В95	360 ... 460	320 ... 400	2,0 ... 3,5

$\Delta T_{\text{тр}}$  – падение температуры при транспортировке слитка от нагревательной печи до контейнера пресса, определяемое по формуле

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

где  $\tau_{\text{тр}}$  – время транспортировки, с;  $V_{\text{охл}}$  – средняя скорость охлаждения для выбранного диаметра заготовки (слитка); при этом

$$V_{\text{охл}} = 5 \text{ рад/с для } D_{\text{н}} = 145 \dots 165 \text{ мм};$$

$$V_{\text{охл}} = 3 \text{ рад/с для } D_{\text{н}} = 190 \dots 256 \text{ мм};$$

$$V_{\text{охл}} = 2 \text{ рад/с для } D_{\text{н}} = 365 \dots 410 \text{ мм}.$$

Допустимые значения температурных интервалов и скоростей прессования (истечение металла из матрицы) приведены в табл. 4. Большие скорости назначают для прессования с подвижными иглами.

**Усилие прессования.** Наиболее приемлемые результаты дает формула И.Л. Перлина

$$P_{\text{прес}} = R_{\text{м}} + T_{\text{кр}} + T_{\text{м}} + T_{\text{н}},$$

где  $R_{\text{м}}$  – усилие, необходимое для осуществления деформации без учета трения;  $T_{\text{кр}}$ ,  $T_{\text{м}}$ ,  $T_{\text{н}}$  – усилия, необходимые для преодоления сил трения по боковой поверхности контейнера и иглы, матрицы и поверхности калибрующего пояса.

Составляющие полного усилия имеют следующие значения:

$$R_{\text{м}} = 0,86 [D_{\text{конт}}^2 / \cos^2(\alpha/2) - d_{\text{иг}}^2 / \cos^2(\varphi/2)] S_{\text{дс}} i;$$

$$T_{\text{н}} = \pi (f_{\text{кп}} D_{\text{к}} + f_{\text{иг}} d_{\text{иг}}) l_{\text{кп}} \mu S_{\text{дк}};$$

$$T_{\text{кр}} = \pi (D_{\text{конт}} + d_{\text{иг}}) f_{\text{кр}} S_{\text{дкр}} L,$$

где  $T_{кр} = 0$  – для обратного метода.

Вид формулы для расчета  $T_m$  определяется формой иглы. При прессовании с цилиндрической иглой:

$$T_m = \frac{\pi}{2 \sin \alpha} (D_{\text{конт}}^2 - d_{\text{иг}}^2) f_m S_{дс} \ln \frac{D_{\text{конт}} - d_{\text{иг}}}{D_{\text{к}} - d_{\text{к}}}$$

При прессовании с конически-ступенчатой иглой:

$$T_m = \pi S_{дс} D_{\text{конт}}^2 \frac{f_m \sin \alpha + f_{\text{иг}} \sin \alpha_{\text{иг}}}{2 \sin^2 \alpha} \ln \frac{D_{\text{конт}}}{D_{\text{к}}}$$

При прессовании с подвижной иглой в формуле расчета  $T_{кр}$  можно положить  $d_n = 0$ . В этих формулах

$$i = \ln \mu; \varphi = \arcsin \left( \frac{d_{\text{иг}}}{D_{\text{конт}}} \sin \alpha \right),$$

$\alpha$  – угол наклона образующей канала матрицы к ее оси (для плоских матриц принимается  $\alpha = 60^\circ$ );  $l_{кн}$  – длина калибрующего пояса,  $l_{кн} = 5$  мм;  $\alpha_{\text{иг}}$  – угол наклона образующей конического участка иглы к оси прессования;  $f_{кр}$ ,  $f_{\text{иг}}$ ,  $f_m$ ,  $f_{кп}$  – коэффициенты трения по контактным поверхностям контейнера, иглы, матрицы и калибрующего пояса соответственно (при прессовании без смазки контейнера, но со смазкой иглы  $f_{кр} = f_m = 0,5$ ;  $f_{\text{иг}} = 0,1 \dots 0,15$ ;  $f_{кп} = 0,2 \dots 0,25$ ; при прессовании со смазкой  $f_{кр} = f_{\text{иг}} = f_m = f_{кп} = 0,08 \dots 0,12$ ;  $S_{дн}$ ,  $S_{дк}$  и  $S_{дс}$  – истинные пределы текучести соответственно в начале, конце очага пластической деформации и средние по очагу деформации,  $S_{дс} \sqrt{S_{дн} * S_{дк}}$ ;  $S_{дкр}$  – истинный предел текучести около боковой поверхности контейнера (в условиях полного схватывания  $S_{дкр} = 1,5 S_{дн}$ , при смазке  $S_{дкр} = S_{дн}$ ).

Для определения  $S_{дн}$  и  $S_{дк}$  целесообразно использовать зависимость  $S_d = f(\tau)$ , где  $\tau$  – длительность деформации. Соответствующие диаграммы имеются в справочниках. Можно принять  $S_{дн} \approx \sigma_T$ . Величина предела текучести  $\sigma_T$  определяется по диаграмме пластичности  $S_{дк} = A S_{дн}$ , при этом  $A = 1,2$  для сплавов АД, АД31, АМг2, АМц;  $A = 1,35$  для сплава Д1, Д16, 1915, 1925, В95;  $A = 1,45$  для сплавов АМг5, АК4, АК6, АМг6.

Возможность прессования данной трубы на выбранном прессе с предельным усилием  $P_{\text{пред}}$  проверяется по условию

$$P_{\text{пред}} \geq 1,3 P_{\text{прес}}$$

## 1.2. Варианты индивидуальных заданий

Используя данные табл. 5, спроектировать технологию прессования трубы из сплава А с геометрическими размерами  $D_k * t_k$ , сдаточная длина  $l_r$ .

Сплав: АД1, АД31, АМЦ, АВ, 1915, 1925, АМг2, АМг3, АМг5, АМг6, В95, АК4, АК6, Д1, Д16.

Проектирование включает в себя следующие этапы:

1. Выбор метода прессования.
2. Выполнение схемы выбранного метода прессования трубы с размерами.
3. Определение размеров заготовки.
4. Расчёт температуры начала прессования.
5. Расчет усилия прессования.
6. Выводы.

Нестандартные задания с элементами исследований

1. Определение максимального коэффициента вытяжки при прессовании трубы  $\varnothing 50 \times 4$  из сплава АД31 на прессе усилием 31,5 МН.

Таблица 5. Геометрические размеры труб

Номер варианта	$D_k * t_k$ , мм	$l_r$ , мм	Номер варианта	$D_k * t_k$ , мм	$l_r$ , мм
1	60x10	1000	11	90x20	1000
2	50x8	2000	12	110x40	1500
3	120x30	1000	13	250x40	1500
4	130x40	1000	14	70x20	1000
5	70x15	2000	15	190x25	2000
6	40x8	1000	16	70x25	1500
7	160x30	1500	17	180x20	2000
8	210x60	2000	18	180x20	2000
9	55x15	1000	19	100x20	1500
10	50x10	1500	20	200x40	2000

2. Определение минимальной температуры нагрева заготовки при прессовании трубы  $\varnothing 50 \times 4$  из сплава АД31 на прессе усилием 31,5 МН.
3. Установление оптимального расположения коническоступенчатой силы относительно канала матрицы, обеспечивающее минимальную неравномерность деформации.
4. Оптимизация параметров фигурных сил для прессования труб с наружными утолщениями.
5. Разработка методики расчета прессовых сил с учетом характера нагружения внешними силами.

### 1.3. Пример расчёта технологии прессования трубы

Требуется спроектировать технологию прессования трубы с параметрами:  $D_K = 80$  мм,  $t_K = 20$  мм, сплав Д1, сдаточная длина  $l_T = 2000$  мм.

Выбираем обратный метод прессования на подвижной игле. Оптимальная вытяжка выбрана по табл. 1 и равна 30. Внутренний диаметр трубы —  $80 - 2 \cdot 20 = 40$  мм. Диаметр контейнера

$$D_{\text{конт}} \sqrt{(D_K^2 - d_K^2) \mu + d_{\text{иг}}^2} = \sqrt{(80^2 - 40^2) * 30 + 40^2} = 382 \text{ мм.}$$

По табл. 2 выбираем пресс с усилием 35 МН. Скорректированный диаметр контейнера  $D_{\text{конт}} = 370$  мм. Пересчитываем коэффициент вытяжки:

$$\mu = \frac{D_{\text{конт}}^2 - d_{\text{иг}}^2}{D_K^2 - d_K^2} = \frac{370^2 - 40^2}{80^2 - 40^2} = 28.$$

Коэффициент распрессовки  $\mu_p = 1,1$ . Максимальная прессуемая длина (из табл. 3)  $l_{\text{max}} = 38000$  мм. Принимаем

$$n_M = \frac{0,8 * 38000}{2000} \approx 15$$

Зададим, исходя из рекомендаций и по табл. 3,  $\Delta = 100$  мм,  $l_{\text{ко}} = 500$  мм,  $l_{\text{по}} = 20$  мм.

Длина заготовки подпрессованной

$$L = \frac{(l_T + \Delta)n_M + l_{\text{ко}}}{\mu} + l_{\text{по}}\mu_p = \frac{(2000 + 100) * 15 + 500}{28} + 20 * 1,1 \approx \approx 1060 \text{ мм.}$$

Выполняем проверку:

$$\frac{L}{D} = \frac{1060}{370} = 2.9.$$

Эта величина находится в пределах допустимого интервала, но имеется резерв. Оценим этот резерв:  $2,8 \cdot (1060 - 20 \cdot 1,1) = 29064$ . Увеличим количество сдаточных длин  $n_m = 18$ . Пересчитаем длину заготовки:

$$L = \frac{(2000 + 100) \cdot 18 + 500}{28} + 20 \cdot 1.1 = 1261 \text{ мм.}$$

Проверим, не превысит ли длина отпрессованной трубы максимально возможную:

$$28 \cdot (1261 - 20 \cdot 1,1) = 35924 < 38000 \text{ мм.}$$

Отношение  $\frac{L}{D} = \frac{1261}{370} = 3,4$  находится в допустимом интервале. Принимаем  $L = 1260$  мм.

Для определения температуры начала прессования находим  $T_{\max} = 0,9 \cdot 480^\circ = 432^\circ$ , а по диаграмме пластичности  $\sigma_T = 20 \text{ МПа}$ . Разогрев металла от деформации составляет

$$\Delta T_d = \frac{\sigma_T \ln \mu}{c \rho} = \frac{20 \cdot \ln 28}{870 \cdot 2800} \cdot 10^6 = 24^\circ \text{C.}$$

Средняя скорость охлаждения  $V_{\text{охл}} = 2$  град/с. Время транспортировки  $\tau_{\text{тр}} = 20$  с. Тогда падение температуры при транспортировке

$$\Delta T_{\text{тр}} = 2 \cdot 20 = 40^\circ \text{C.}$$

Температура начала прессования

$$T_n = 432 - 24 + 40 = 448^\circ \text{C.}$$

Определение усилия прессования начинаем с определения ряда вспомогательных параметров, входящих в основную формулу.

Для нахождения истинных пределов текучести используют зависимости:

$$S_{\text{дк}} = 1,35 S_{\text{дн}}, \quad S_{\text{дн}} = \sigma_T = 20 \text{ МПа,}$$

$$S_{\text{дк}} = 1,35 \cdot 20 = 27 \text{ МПа,}$$

$$S_{\text{дк}} = \sqrt{S_{\text{дн}} \cdot S_{\text{дк}}} = \sqrt{20 \cdot 27} = 23 \text{ МПа.}$$

Угол конусности матрицы  $\alpha = 60^\circ$ , длина калибрующего пояска  $l_{\text{кп}} = 5$  мм. Коэффициенты трения имеют следующие значения:

$$f_m = 0,5; f_{\text{пр}} = 0,1; f_{\text{кп}} = 0,2.$$

Параметр  $\varphi$  равен

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{40}{370} * \sin 60^\circ\right) = 6^\circ.$$

Найдем

$$R_m = 0,86(0,37^2/\cos^2 30^\circ - 0,04^2/\cos^2 3^\circ) * 23 * \ln 28 = 11,88 \text{ МН};$$

$$T_n = 3,14 * (0,2 * 0,08 + 0,1 * 0,04) * 0,005 * 28 * 27 = 0,20 \text{ МН};$$

$$T_m = [3,14 / (2 \sin 60^\circ)] * (0,37^2 - 0,04^2) * 0,1 * 23 * \ln(0,37 - 0,04) / (0,08 - 0,04) = 1,18 \text{ МН}.$$

Величина полного усилия

$$P = 11,88 + 0,20 + 1,18 = 13,26 \text{ МН}.$$

С учетом коэффициента запаса

$$P = 1,3 * 13,26 = 17,24 \text{ МН} < 35 \text{ МН}.$$

Таким образом, данную трубу можно прессовать на выбранном прессе.

#### 1.4. Контрольные вопросы

1. Назовите основные показатели при проектировании технологии прессования труб.
2. Перечислите основные разновидности процесса прессования труб. Какой метод наиболее предпочтителен и почему?
3. Какой принцип заложен в методику выбора диаметра заготовки?
4. Как определить длину заготовки для прессования?
5. Как выбирают число мерных труб в отпрессованной заготовке?
6. Как определяют температуру начала прессования?
7. Какие составные части входят в формулу для определения усилия прессования?
8. Как учесть упрочнение металла при расчете усилия прессования?
9. По какой формуле рассчитывают коэффициент вытяжки при прессовании труб из полной заготовки?
10. С какой целью при прессовании труб оставляют прессостаток?
11. Как рассчитать коэффициент подпрессовки?
12. Рекомендуемое отношение  $L/D$  при прямом методе прессования труб?

## 2. ПРЕССОВАНИЕ ПОЛЫХ ПРОФИЛЕЙ

### 2.1. Краткие теоретические сведения

Полые профили получают двумя способами: трубным методом из полого слитка и прессованием в комбинированную матрицу из заготовки сплошного сечения. Последний метод получил наиболее широкое распространение, так как он позволяет получать полые профили сложной конфигурации с наименьшей разнотолщинностью по длине, не только одной, но и с несколькими полостями.

Типовая конструкция комбинированной матрицы с выступающим рассекателем представлена на рис. 2. Матрица имеет корпус *1*, собственно матрицу (втулку) *2*, рассекатель *3*, полностью выступающий из корпуса матрицы и заканчивающийся иглой *4*, которая входит в собственно матрицу. Матрица и игла образуют кольцевой канал, через который выпрессовывается профиль.

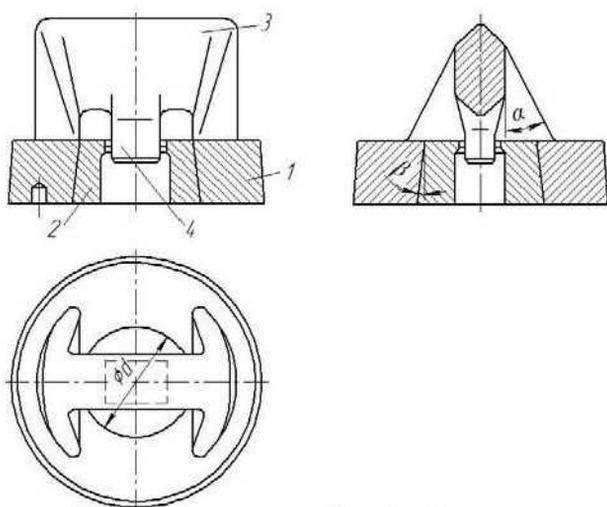


Рисунок 2. Типовая конструкция комбинированной матрицы

Перед входом в кольцевой канал металл заготовки разделяется на два или более потоков в зависимости от конструкции рассекателя.

Эти потоки непосредственно перед кольцевым каналом встречаются и свариваются в так называемых карманах матрицы и затем уже выпрессовываются через кольцевой канал. Поэтому иногда этот способ называют прессованием со сваркой.

Матрица при прессовании профилей рассматриваемым способом объединяет собой непосредственно матрицу, формирующую наружный контур, и оправку, которая образует полость пресс-изделия. Поэтому такая матрица называется "матрицей с вмонтированной оправкой", или "язычковой".

Для получения высокопрочного сварного шва необходимо в сварочной камере (кармане) создать высокие гидростатические давления, в 10 – 15 раз превышающие предел текучести прессуемого металла. Одной из особенностей прессования полых профилей является необходимость получения качественного сварного шва, что достигается за счет наиболее полного удаления металла после прессования из карманов матрицы.

Пресс-остаток можно отделять путем среза фасонным ножом или путем отрыва при ходе контейнера в сторону, противоположную прессованию. Последний способ нашел наибольшее применение, так как позволяет полностью удалять остатки металла предыдущего слитка, остающегося в карманах матрицы.

Температурно-скоростные режимы прессования пустотелых профилей приведены в табл.6.

Контроль наружной поверхности, геометрических размеров, качества микро- и макроструктуры, а также механических свойств существенно не отличается от контроля обычных сплошных профилей. Отличие – обязательный контроль на свариваемость швов. Такой контроль можно проводить двумя путями – методом визуального контроля поперечных макрошпифов и методом излома образцов длиной 30 – 50 мм вдоль по шву. Выявление внутренних дефектов пустотелых профилей ответственного назначения проводится методом ультразвукового контроля. Контроль качества внутренней поверхности указанных выше изделий осуществляется с помощью перископических устройств.

Таблица 6. Температурно-скоростные режимы прессования пустотелых профилей

Сплав	Усилие пресса, $T_c$	Диаметр контейнера, мм	Температура, °C		Скорость истечения, м/мин
			слитка	контейнера	
АД31	1200	130	470 – 510	400 – 460	3 – 4
АМг6		122	420 – 500	440 – 460	0,7 – 1,2
АД31	2000	170	450 – 500	450 – 460	3 – 4
АВ			430 – 480	410 – 430	
АД31	3000	225	450 – 500	450 – 460	3 – 7
АМг6		225	420 – 500	400 – 460	0,7 – 1,3
АД31		270	450 – 500	450 – 460	3 – 7
АМг6		270	420 – 500	400 – 460	0,7 – 1,2
АД31	5000	310	450 – 500	450 – 460	3 – 7
АМг6		310	420 – 500	400 – 460	0,7 – 1,2
АД31		360	450 – 500	450 – 460	3 – 6
АМг6		360	420 – 500	400 – 460	0,7 – 1,2
АД31		420	450 – 500	450 – 460	3 – 5
АВ		12000	550	450 – 500	400 – 420
АВ	20000	650	450 – 500	400 – 420	0,8 – 1

Полые профили прессуют длиной 5 – 15 м на малых прессах, а длиной 25 – 50 м – на больших, с последующей разрезкой на мерные длины непосредственно на столе пресса.

Границы сварочной зоны  $h_{св.з}$  не поддаются точному определению, (рис.3). Поэтому принято считать началом зоны характерное поперечное сечение  $F_{св.з}$  в плоскости, перпендикулярной оси оправки, касающееся нижней поверхности рассекателя. Границей конца зоны является начало калибрующего пояса матрицы, а боковой границей – внутренняя поверхность полости матрицы ниже уровня рассекателя.

Коэффициент вытяжки по всему объему заготовки

$$\mu = \mu_{пр} * \mu_{св.з},$$

где  $\mu_{пр}$  – коэффициент предварительной вытяжки,

$$\mu_{\text{пр}} = \frac{F_{\text{конт}}}{F_{\text{св.з}}},$$

$\mu_{\text{св.з}}$  – коэффициент вытяжки по сварочной камере,

$$\mu_{\text{св.з}} = \frac{F_{\text{св.з}}}{f_{\text{изд}}},$$

где  $f_{\text{изд}}$  – площадь поперечного сечения полого профиля.

Оба показателя  $\mu_{\text{св.з}}$  и  $\mu_{\text{пр}}$  взаимосвязаны между собой. При одном и том же сечении прессуемого изделия увеличение диаметра контейнера  $D_{\text{конт}}$  ведет к увеличению характерного сечения  $F_{\text{св.з}}$  камеры сварки матрицы.

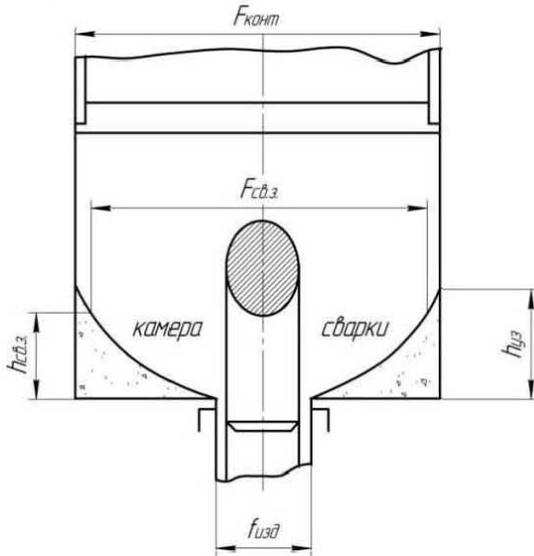


Рисунок 3. Характерное сечение камеры сварки матрицы

Для алюминиевых сплавов  $\mu \geq 40 \div 80$ . Большие значения назначают для труднодеформируемых сплавов. При  $\mu_{\text{св.з}} \geq 20$  прочность сварного шва не уступает прочности основного металла.

При расчете усилия прессования полых профилей через комбинированную матрицу с выступающим рассекателем используют формулу И.Л. Перлина и М.З. Ерманка:

$$P = R_{\text{м}} + T_{\text{м}} + T_{\text{р}} + T_{\text{кр}} + T_{\text{п}},$$

где  $R_M$  – усилие на пресс-шайбе для осуществления основной деформации без учета трения;  $T_M, T_p, T_{кр}, T_{п}$  – усилия на пресс-шайбе для преодоления трения соответственно на боковой границе очага пластической деформации, на гребне рассекателя, на боковой поверхности контейнера и в пояске матрицы. При этом

$$R_M = \beta \frac{\pi D_{\text{конт}}^2}{4 \cos^2 \frac{\alpha}{2}} (i + i_{\text{доп}}) S_{\text{дс}},$$

где  $i$  – интегральный показатель основной деформации,

$$i = \ln \mu;$$

$i_{\text{доп}}$  – интегральный показатель дополнительной деформации от переформирования круга в равновеликий профиль,

$$i_{\text{доп}} = \ln^4 \sqrt{\frac{f_{\text{изд}}}{\alpha_{\text{ср.пр}}^2}},$$

где  $\alpha_{\text{ср.пр}}^2$  – средневзвешенная толщина полки полого профиля.

При  $\alpha=60^\circ$  и  $\beta=1,1$

$$R_M = 1,15 D_{\text{конт}}^2 (i + i_{\text{доп}}) S_{\text{дс}}.$$

Составляющая

$$T_M = \frac{\pi D_{\text{конт}}^2}{2 \sin \alpha} \ln \frac{D_{\text{конт}} - d_{\text{к}}}{D_{\text{к}} - d_{\text{к}}} f_{\text{м}} S_{\text{дс}},$$

где  $D_{\text{к}}$  и  $d_{\text{к}}$  – приведенные по площади диаметры полого профиля некруглой формы, соответственно наружный и внутренний;  $f_{\text{м}}$  – коэффициент трения по сопротивлению деформирования.

При  $\alpha=60^\circ$  и  $f_{\text{с}}=0,5$  (поскольку прессование со сваркой производится без смазки)

$$T_M = 0,9 D_{\text{конт}}^2 S_{\text{дс}} \ln \frac{D_{\text{конт}} - d_{\text{к}}}{D_{\text{к}} - d_{\text{к}}}.$$

Для расчета  $T_p$  рассекатель матрицы представляют в виде треугольной призмы, одна грань которой опирается на торец матрицы, а две другие являются поверхностями трения, (рис. 4). Тогда

$$T_p = 0,4 \frac{D_{\text{конт}}^2}{\sin \beta} S_{\text{дс}} \ln \frac{0,8 D_{\text{конт}}}{0,8 D_{\text{конт}} - d_p},$$

где  $\beta$  – полуугол при вершине треугольной призмы,  $\beta = \arctg(0.5d_p/h_p)$ ;  $d_p$  – ширина стоек рассекателя у основания,  $d_p \approx (0,25 - 0,4)D_{\text{конт}}$ . Величина

$$T_{\text{кр}} = \frac{\pi}{2} D_{\text{конт}} [L - h_{\text{уз}} - (0,2 \div 0,3) D_{\text{конт}}] S_{\text{дс}},$$

где  $h_{\text{уз}}$  – высота упругой зоны по границе с контейнером (рис. 4),

$$h_{\text{уз}} = 0,64 \frac{D_{\text{конт}} - D_{\text{к}}}{2},$$

$L$  – длина распрессованного слитка.

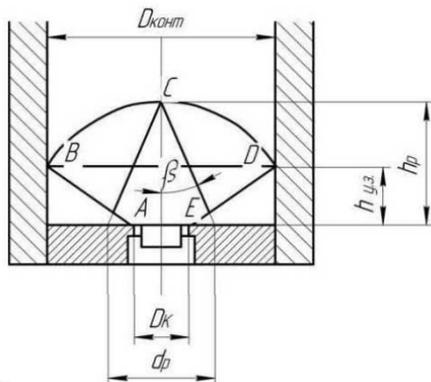


Рисунок 4. Схема к определению объема пластической зоны

Составляющая усилия трения металла в рабочем пояске

$$T_{\text{п}} = f_{\text{п}} S_{\text{дк}} \mu (\Pi_{\text{нар}} + \Pi_{\text{вн}}) l_{\text{п}},$$

где  $f_{\text{п}}$  – коэффициент трения по пояску,  $f_{\text{п}} = 0,1 \div 0,2$ ;  $\Pi_{\text{нар}}$ ,  $\Pi_{\text{вн}}$  – периметры соответственно наружного и внутреннего контура полого профиля;  $l_{\text{п}}$  – длина рабочего пояска матрицы,  $l_{\text{п}} = (5 \div 10)$  мм.

При прессовании полого профиля из заготовки сплошного сечения через матрицу с выступающим рассекателем объем очага пластической деформации (рис. 4)

$$W = W_1 + W_2 + W_3,$$

где  $W_1$  – объем усеченного конуса ABDE;  $W_2$  – объем шарового сегмента BCD;  $W_3$  – объем треугольной призмы ACE.

После подстановки значений соответствующих объемов

$$W = 0,07 D_{\text{конт}}^2 (D_{\text{конт}} + 2D_{\text{к}}) + 0,03 D_{\text{конт}}^2 (D_{\text{н}} - 2D_{\text{к}}).$$

Длительность деформации рассматриваемого процесса

$$\tau = \frac{W}{f_{\text{изд}} V_{\text{ист}}},$$

где  $V_{\text{ист}}$  – скорость истечения металла.

По графику зависимости  $S_d(T, \tau)$  определяют величины сопротивления деформированию в плане  $S_{\text{дн}}$  и в конце  $S_{\text{дк}}$  пластической зоны, а затем  $S_{\text{дс}} = \sqrt{S_{\text{дн}} S_{\text{дк}}}$ .

При прессовании со сваркой полых профилей из алюминиевых сплавов давление прессования должно быть не менее (500 ÷ 800) МПа в контейнере и (200 ÷ 500) МПа в сварочной камере.

Время сварки  $\tau_{\text{св}}$  должно быть не менее одной секунды. Если  $\tau_{\text{св}} < 1$  с то увеличивают объем сварочной камеры  $W_{\text{св.з}}$  или уменьшают скорость истечения металла (рис.5)

$$\tau_{\text{св}} = \frac{W_{\text{св.з}}}{f_{\text{изд}} V_{\text{ист}}}.$$

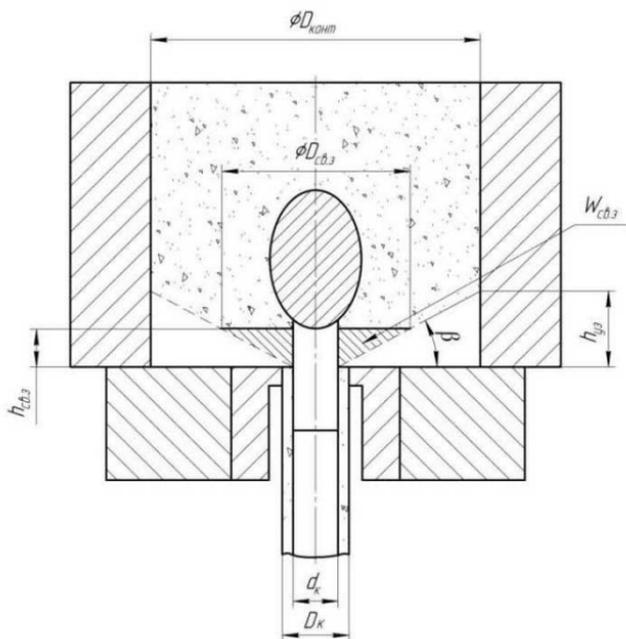


Рисунок 5. Схема определения времени сварки

Объем сварочной камеры может быть выражен формулой

$$W_{\text{св.з}} = W_{\text{ус.к}} - W_{\text{иг}},$$

где  $W_{\text{ус.к}}$  – объем усеченного конуса,

$$W_{\text{ус.к}} = \frac{1}{12} \pi (D_{\text{св.з}}^2 + D_{\text{св.з}} D_{\text{к}} + D_{\text{к}}^2) h_{\text{ус.к}}.$$

Здесь  $D_{\text{св.з}}$  – диаметр сварной зоны,

$$D_{\text{св.з}} = \sqrt{\mu_{\text{св.з}} (D_{\text{к}}^2 - d_{\text{к}}^2) + d_{\text{к}}^2}.$$

$D_{\text{к}}$  – приведенный диаметр профиля,  $h_{\text{ус.к}}$  – высота усеченного конуса,

$h_{\text{ус.к}} = h_{\text{св.з}}$  (рис. 5).

$$W_{\text{иг}} = f_{\text{опр}} h_{\text{св.з}},$$

где  $f_{\text{опр}}$  – площадь поперечного сечения оправки (иглы).

Высота сварочной камеры

$$h_{\text{св.з}} = \frac{D_{\text{св.з}} - D_{\text{к}}}{2} \operatorname{tg} \beta,$$

где  $\beta$  – угол естественного течения металла,  $\beta = 30^\circ$ .

Давление в плоскости сварки определяется окружным напряжением  $\sigma_{\theta}$ , величину которого можно найти из условия пластичности:

$$\sigma_{\theta} = \sigma_r + 1.1 S_{\text{д.с.}}$$

Радиальное напряжение  $\sigma_r$  можно приближенно вычислить по формуле:

$$\sigma_r = \frac{P_{\text{св.з}}}{F_{\text{д}}},$$

где  $P_{\text{св.з}}$  – усилие прессования, обеспечивающее истечение металла в сварочной камере,

$$\begin{aligned} P_{\text{св.з}} &= R'_{\text{м}} + T'_{\text{м}} + T'_{\text{п}}, \\ R'_{\text{м}} &= 1,15 D_{\text{св.з}}^2 (\ln \mu_{\text{св.з}} + i_{\text{доп}}) S_{\text{д.с}}, \\ T'_{\text{м}} &= 0,9 D_{\text{св.з}}^2 S_{\text{д.с}} \ln \frac{D_{\text{св.з}} - d_{\text{к}}}{D_{\text{к}} - d_{\text{к}}}, \\ T'_{\text{п}} &= f_{\text{п}} S_{\text{д.к}} \mu_{\text{св.з}} (\Pi_{\text{нар}} + \Pi_{\text{вн}}) l_{\text{п}}. \end{aligned}$$

Площадь сферической поверхности  $F_{\text{д}}$  под рассекателем

$$\begin{aligned} F_{\text{д}} &= \frac{\pi D_{\text{св.з}}^2}{4 \cos^2 \frac{\alpha}{2}} - \frac{\pi d_{\text{к}}^2}{4 \cos^2 \frac{\varphi}{2}}, \\ \varphi &= \arcsin \left( \frac{d_{\text{к}}}{D_{\text{св.з}}} \sin \alpha \right). \end{aligned}$$

Расчет на прочность комбинированной матрицы сводится к определению напряжений на изгиб рассекателя и напряжений на сжатие опорных стоек (рис. 6). Расчет на изгиб рассекателей производится из условия приложения равномерно распределённой нагрузки к балке, жестко защемлённой с двух концов.

Напряжение на изгиб:

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{M}{W} \leq [\sigma_{\text{доп}}].$$

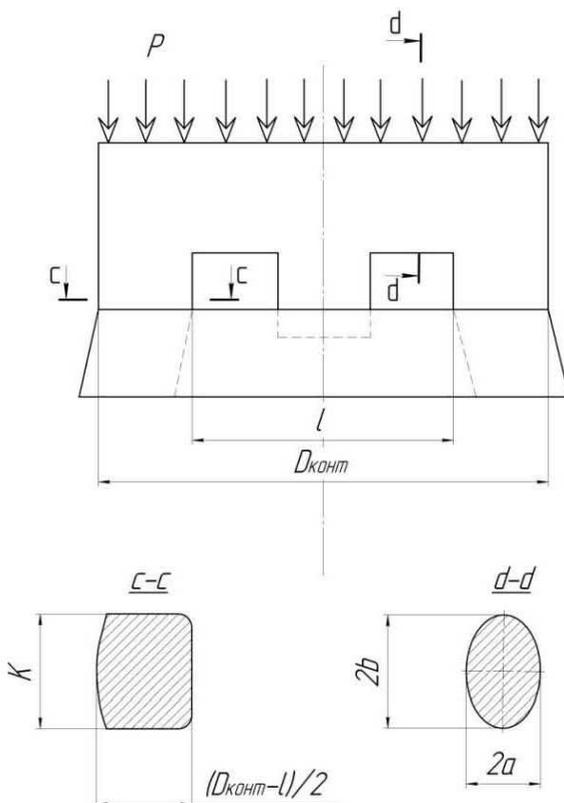


Рисунок 6. Схема к расчёту на прочность комбинированной матрицы с выступающим рассекателем

Для этих условий (см. рис. 6) изгибающий момент определяется по формуле

$$M = \frac{pl^2a}{12},$$

где  $p$  – давление в контейнере при максимальном усилии прессы;  $l$  – длина рассекателя между опорными стойками,  $l = 0,5 D_{\text{конт}}$ ;  $a$  –  $1/2$  ширины рассекателя.

Обычно поперечное сечение выступающего рассекателя представляет собой эллипс с полуосями  $a$  и  $b$ . На практике  $b/a = 2 \div 5$ ,  $2a = (1,1 \div 1,2)d_k$ . Момент сопротивления изгибу

$$W = \frac{\pi a^2 b}{4}.$$

Напряжение на сжатие опорных стоек (сечения с – с на рис. 6) матрицы может быть рассчитано по формуле

$$\sigma_{\text{ск}} = \frac{p2a \frac{D_{\text{конт}} - l}{2}}{k \frac{D_{\text{конт}} - l}{2}} = \frac{2pa}{k} \leq [\sigma],$$

где  $k$  – ширина стойки рассекателя,  $k = 0.25D_{\text{конт}}$ .

## 2.2. Варианты индивидуальных заданий

Требуется спроектировать технологию прессования прямоугольной трубы с размерами  $A \times B$  и толщиной стенки  $t$  из алюминиевого сплава АД31 через комбинированную матрицу с выступающим рассекателем при следующих исходных данных:

Температура нагрева заготовки  $440^\circ\text{C}$ .

Ширина трубы,  $A = (30 + N_{\text{сп}})\text{мм}$ .

Высота трубы  $B = (15 + N_{\text{сп}})\text{мм}$ .

Толщина стенки трубы,  $t = 3\text{мм}$ .

Длина заготовки,  $L = 3D_{\text{конт}}$ .

Скорость истечения,  $V_{\text{ист}} = 3\text{м/мин}$ .

Допускаемое напряжение материала матрицы,  $[\sigma] = 1200\text{МПа}$ .

Проектирование включает в себя следующие этапы:

1. Определение предварительного диаметра контейнера.

2. Выбор гидропресса, обеспечивающий давление прессования 500 – 800 МПа, уточнение размеров контейнера, коэффициента вытяжки и давления в контейнере.
3. Определение основных размеров комбинированной матрицы с выступающим рассекателем.
4. Выполнение эскиза комбинированной матрицы с размерами.
5. Расчет усилия прессования и проверка правильности выбора прессы.
6. Определение давления в камере сварки.
7. Расчет времени сварки.
8. Расчет на прочность элементов комбинированной матрицы.
9. Выводы.

Нестандартные задания с элементами исследований:

1. Развитие теоретических представлений о прессовой сварке давлением.
2. Оптимизация конструкции матрицы с выступающим рассекателем.
3. Проектирование комбинированной матрицы с использованием информационных технологий.
4. Разработка технологии получения путем прессования со сваркой биметаллических и плакированных полых профилей и труб.
5. Оптимизация технологических параметров прессования, обеспечивающих высококачественную сварку в промышленных условиях.

### **2.3. Пример расчета технологии прессования прямоугольной трубы**

Требуется спроектировать технологию прессования прямоугольной трубы с размерами  $A=50\text{мм}$ ,  $B=40\text{мм}$ ,  $t=3\text{мм}$  из сплава АДЗ1 через комбинированную матрицу с выступающим рассекателем.

Выбираем прямой метод прессования. Так как сплав АД31 легкопрессуемый, то обобщенный коэффициент вытяжки берем равным 60. Площадь поперечного сечения прямоугольной трубы составляет  $f_{изд} = AB - (A-2t)(B-2t) = 50 \cdot 40 - (50-2 \cdot 3)(40-2 \cdot 3) = 504 \text{ мм}^2$ , а оправки  $f_{опр} = (A-2t)(B-2t) = (50-2 \cdot 3)(40-2 \cdot 3) = 1469 \text{ мм}^2$ . Диаметр контейнера найдем по формуле для расчета коэффициента вытяжки:

$$D_{\text{конт}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \mu f_{изд}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} 60 \cdot 504} = 196 \text{ мм.}$$

По табл. 6 выберем пресс усилием 30 МН. Скорректированный диаметр контейнера  $D_{\text{конт}} = 225 \text{ мм}$ . Пересчитываем коэффициент вытяжки:

$$\mu = \frac{F_{\text{конт}}}{f_{изд}} = \frac{\frac{\pi}{4} 225^2}{504} \cong 79.$$

Давление в контейнере прессы:

$$P = \frac{P_{\text{пр}}}{F_{\text{конт}}} = \frac{30 \cdot 10^6}{\frac{\pi}{4} \cdot 0.225^2} = 740 \text{ МПа,}$$

достаточное для прессования со сваркой.

Определяем основные геометрические параметры комбинированной матрицы с выступающим рассекателем.

Размеры поперечного сечения рассекателя эллиптической формы (рис. 6):

$$2a = 1,1B = 1,1 \cdot 40 = 44 \text{ мм,}$$

$$b : a = 2 : 1. \text{ Тогда } 2b = 88 \text{ мм.}$$

Длина рабочей части рассекателя

$$l = 0,5D_{\text{конт}} = 0,5 \cdot 225 = 112,5 \text{ мм} \approx 113 \text{ мм.}$$

Размеры вмонтированной оправки соответствуют размерам внутренней полости прямоугольной трубы 44x34 мм.

Диаметр сварочной камеры при  $\lambda_{\text{св.з}} = 20$ .

$$D_{\text{св.з}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} (\mu_{\text{св.з}} f_{изд} + f_{опр})} = \sqrt{\frac{4}{\pi} (20 \cdot 504 + 1496)} = 21 \text{ мм.}$$

Высота сварочной камеры

$$h_{\text{св.з}} = \frac{D_{\text{св.з}} - D_{\text{к}}}{2} * \text{tg}\beta = \frac{121 - 50}{2} \text{tg}30^0 = 21 \text{ мм},$$

где  $D_{\text{к}}$  взят как приведенный диаметр,  $D_{\text{к}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} AB}$ .

Эскиз процесса прессования прямоугольной трубы через комбинированную матрицу с выступающим рассекателем показан на рис. 7.

Объем очага пластической деформации

$$W = 0,07D_{\text{конт}}^2(D_{\text{конт}} + 2D_{\text{к}}) + 0,03D_{\text{к}}^2(D_{\text{конт}} - 2D_{\text{к}}) = \\ = 0,07 * 225^2(225 + 2 * 50) + 0,03 * 50^2(225 - 2 * 50) = 1196531 \text{ мм}^3.$$

Длительность деформации рассматриваемого процесса при  $f_{\text{изд}} = 504 \text{ мм}^2$  и  $V_{\text{ист}} = 3 \text{ м/мин} = 50 \text{ мм/с}$ .

$$\tau = \frac{W}{f_{\text{изд}} V_{\text{ист}}} = \frac{1196531}{504 * 50} = 47 \text{ с}.$$

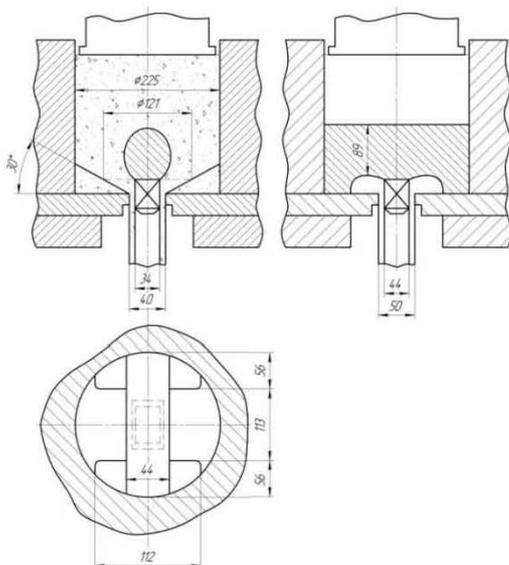


Рисунок 7. Эскиз комбинированной матрицы с выступающим рассекателем для прессования прямоугольной трубы 50x40

По графику на рис. 8 находим при температуре прессования 440°C

$$S_{\text{дн}} = 18 \text{ МПа}, S_{\text{дк}} = 30 \text{ МПа}. \text{ Тогда } S_{\text{дс}} = \sqrt{S_{\text{дн}} S_{\text{дк}}} = \sqrt{18 * 30} = 23 \text{ МПа}.$$

Определение усилия прессования начнём с нахождения ряда вспомогательных параметров, входящих в основную формулу:

$$i = \ln \mu = \ln 79 = 4.4; d_p = (0.25 - 0.4) D_{\text{конт}} = 0,3 * 225 = 67 \text{ мм};$$

$$h_{\text{уз}} = \frac{D_{\text{конт}} - D_{\text{к}}}{2} * 0,64 = 0,64 * \frac{225 - 50}{2} = 56 \text{ мм};$$

$$l_{\text{доп}} = \ln^4 \sqrt{\frac{f_{\text{изд}}}{a_{\text{сп}}^2}} = \ln^4 \sqrt{\frac{504}{3^2}} = 1; \sin \beta = \frac{0.5 \alpha_p}{h_p} = \frac{0.5 * 67}{88 + 21} = 0.3.$$

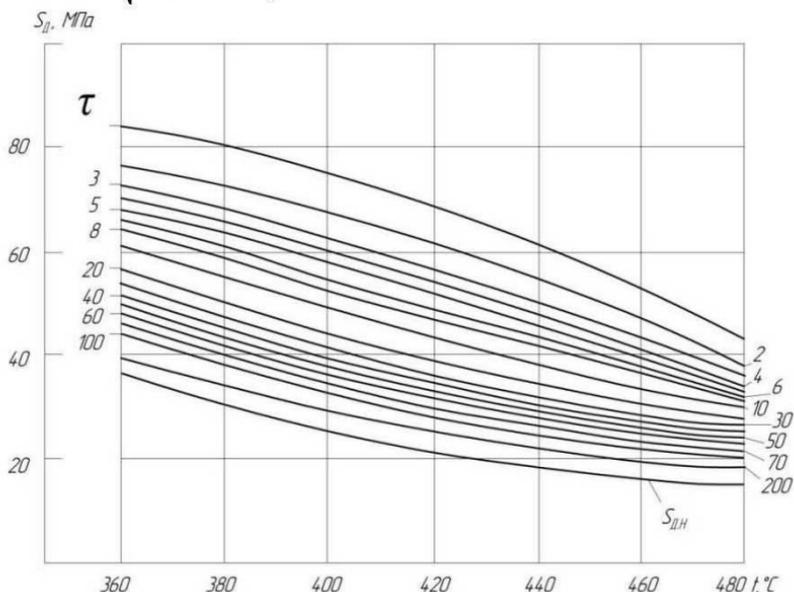


Рисунок. 8 Зависимость сопротивления деформации  $S_{\text{д}}$  (МПа) сплава АД31 от температуры прессования и длительности деформации

Найдем:

$$R_{\text{м}} = 1,15 D_{\text{конт}}^2 (i + i_{\text{доп}}) S_{\text{дс}} = 1,15 * 225^2 (4,4 + 1) * 23 = 7,2 \text{ МН},$$

$$T_{\text{м}} = 0,9 D_{\text{конт}}^2 S_{\text{дс}} \ln \frac{D_{\text{конт}} - d_{\text{к}}}{D_{\text{к}} - d_{\text{к}}} = 0,9 * 225^2 * 23 \ln \frac{225 - 44}{50 - 44} = 2,4 \text{ МН},$$

$$T_p = 0,4 \frac{D_{\text{конт}}^2}{\sin \beta} S_{\text{дс}} \ln \frac{0,8 D_{\text{конт}}}{0,8 D_{\text{к}} - d_p} = 0,4 \frac{225^2}{0,3} * 23 \ln \frac{0,8 * 225}{0,8 * 225 - 67} = 0,7 \text{ МН},$$

$$T_{кр} = \frac{\pi}{2} D_{\text{конт}} [L - h_{уз} - (0,2 \div 0,3) D_{\text{конт}}] S_{дн} =$$

$$= \frac{\pi}{2} 225 (3 * 225 - 56 - 45) 18 = 3,6 \text{ МН},$$

$$T_p = f_{сп} S_{дкн} (\Pi_{нар} + \Pi_{вн}) l_n = 0,2 * 30 * 79 (180 + 156) 5 = 0,8 \text{ МН}.$$

Величина полного усилия

$$P = 7,2 + 2,4 + 0,7 + 3,6 + 0,8 = 14,7 \text{ МН}.$$

С учётом коэффициента запаса

$$P = 1,3 * 14,7 = 19,11 \text{ МН} < 30 \text{ МН}.$$

Таким образом, данную трубу можно отпрессовать на выбранном прессе.

Определим вспомогательные параметры, входящие в основную формулу для расчета усилия прессования, обеспечивающего течение металла в сварочной камере:

$$\varphi = \arcsin \left( \frac{d_k}{D_{\text{св.з}}} \sin \alpha \right) = \arcsin \left( \frac{44}{121} \sin 60^\circ \right) = 18^\circ;$$

$$F_d = \frac{\pi D_{\text{св.з}}^2}{4 \cos^2 \frac{\alpha}{2}} - \frac{\pi d_k^2}{4 \cos^2 \frac{\alpha}{2}} = \frac{\pi 121^2}{4 \cos^2 30} - \frac{\pi 44^2}{4 \cos^2 9} = 14262 \text{ мм}^2.$$

Найдём:

$$R'_M = 1,15 D_{\text{св.з}}^2 (\ln \lambda_{\text{св.з}} + i_{\text{дон}}) S_{дс} = 1,15 * 121^2 (\ln 20 + 1) * 23 =$$

$$= 1,55 \text{ МН};$$

$$T'_M = 0,9 D_{\text{св.з}}^2 S_{дс} \ln \frac{D_{\text{св.з}} - d_k}{D_k - d_k} = 0,9 * 121^2 * 23 * \ln \frac{121 - 44}{50 - 44} =$$

$$= 0,77 \text{ МН};$$

$$T'_\Pi = f_{сп} S_{дкн} \lambda_{\text{св.з}} (\Pi_{нар} + \Pi_{вн}) l_n = 0,2 * 30 * 20 (180 + 156) 5 = 0,2 \text{ МН};$$

$$P_{\text{св.з}} = 1,55 + 0,77 + 0,2 = 2,52 \text{ МН}.$$

Радиальное напряжение

$$\sigma_r = \frac{P_{\text{св.з}}}{F_d} = \frac{2,52 * 10^6}{14262} = 177 \text{ МПа}.$$

Гидростатическое давление в плоскости сварки потоков металла в сварочной камере

$$\sigma_\theta = 177 + 1,1 * 30 = 210 \text{ МПа},$$

достаточное для обеспечения качественной сварки.

Объём сварочной камеры

$$\begin{aligned}W_{\text{св.з}} &= \frac{1}{12} \pi (D_{\text{св.з}}^2 + D_{\text{св.з}} D_{\text{к}} + D_{\text{к}}^2) h_{\text{св.з}} - f_{\text{опр}} h_{\text{св.з}} = \\ &= \frac{1}{12} \pi (121^2 + 121 * 50 + 50^2) 21 - 1496 * 21 = \\ &= 96018 \text{ мм}^3.\end{aligned}$$

Время сварки

$$\tau_{\text{св}} = \frac{W_{\text{св.з}}}{f_{\text{изд}} V_{\text{ист}}} = \frac{96018}{504 * 50} = 3,8 \text{ с} > 1 \text{ с},$$

достаточное для обеспечения качественной сварки давлением.

Максимальный изгибающий момент в рассекателе

$$M = \frac{Pl^2 a}{12} = \frac{740 * 113^2 * 22}{12} = 17,3 \text{ МНм}.$$

Момент изгиба

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{M}{W} = \frac{17,3}{\frac{\pi 22^2 44}{4}} = 1034 \text{ МПа} < [\sigma] = 1200 \text{ МПа}.$$

Напряжение на смятие опорных стоек

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{2pa}{b} = \frac{2 * 740 * 22}{56} = 581 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 1200 \text{ МПа}.$$

Таким образом, спроектированная конструкция комбинированной матрицы с выступающим рассекателем позволяет изготовить прессованием прямоугольную трубу из сплава АД31 и гарантирует качество сварки.

## 2.4. Контрольные вопросы

1. Что представляет собой конструкция комбинированной матрицы с выступающим рассекателем?
2. Как рассчитать на прочность рассекатель матрицы?
3. Сортамент пресс-изделий, получаемых прессованием в комбинированные матрицы?
4. Как вычислить общий коэффициент вытяжки при прессовании со сваркой?
5. Как рассчитать на прочность стойки рассекателя?

6. Достоинства матрицы с выступающим рассекателем?
7. Из каких составляющих складывается полное усилие прессования со сваркой?
8. Как влияют на свариваемость металла при прессовании температура нагрева заготовки, скорость прессования, размеры сварочной камеры?
9. Основные параметры сварочной камеры?
10. В чем заключается контроль на свариваемость металлов?
11. Как отделяют пресс-остаток при прессовании в матрицу с выступающим рассекателем?
12. Как вычислить коэффициент вытяжки по сварочной камере?
13. Как увеличить время сварки металлов?
14. Почему прессование со сваркой ведут без смазки?
15. Как определить верхнюю границу сварочной камеры?

## 3. ХОЛОДНАЯ ПРОКАТКА ТРУБ

### 3.1. Краткие теоретические сведения

Сущность метода холодной прокатки труб (ХПТ) состоит в последовательно-периодическом уменьшении диаметра и толщины стенки труб путем обжатия их между калибрами и оправкой. Для получения круглой трубы ее вращают в промежутках между циклами обжатия.

Основным инструментом при ХПТ является пара калибров 5 и коническая оправка 2 (рис. 9). На калибрах делают ручей-выточку 12, имеющую переменное сечение. Оправка имеет коническую форму. Она устанавливается на одном конце длинного стержня 1, который другим концом укрепляется в задней части стана. Трубную заготовку 3 надевают на стержень 1 и закрепляют в патроне подачи и поворота 4. Передний конец заготовки в результате периодических подач патроном входит в кольцевое отверстие, образованное калибрами и оправкой. В исходном положении, когда калибры не соприкасаются с заготовкой, происходит подача-перемещение заготовки на величину подачи  $m$ . При движении рабочей клетки 9, совершающей возвратно-поступательное движение с помощью кривошипно-шатунного механизма 10, калибры 5 обжимают заготовку 3 до соприкосновения ее внутренней поверхности с оправкой 2, что сопровождается незначительным утолщением стенки заготовки.

При дальнейшем движении клетки калибры раскатывают заготовку на оправке, уменьшая ее диаметр и толщину стенки. Когда калибры находятся в крайнем правом положении, диаметр и толщина стенки заготовки достигают заданных значений диаметра и толщины стенки, соответствующих размерам готовой трубы 8. Длина трубы в результате указанного хода клетки увеличивается на величину линейного смещения металла  $\Delta L$ , равную произведению коэффициента вытяжки  $\mu_{F\Sigma}$ : на подачу  $m$ ,  $\Delta L = \mu_{F\Sigma} * m$ , где  $\mu_{F\Sigma} = F_{\text{заг}}/F_{\text{гот тр}}$ .

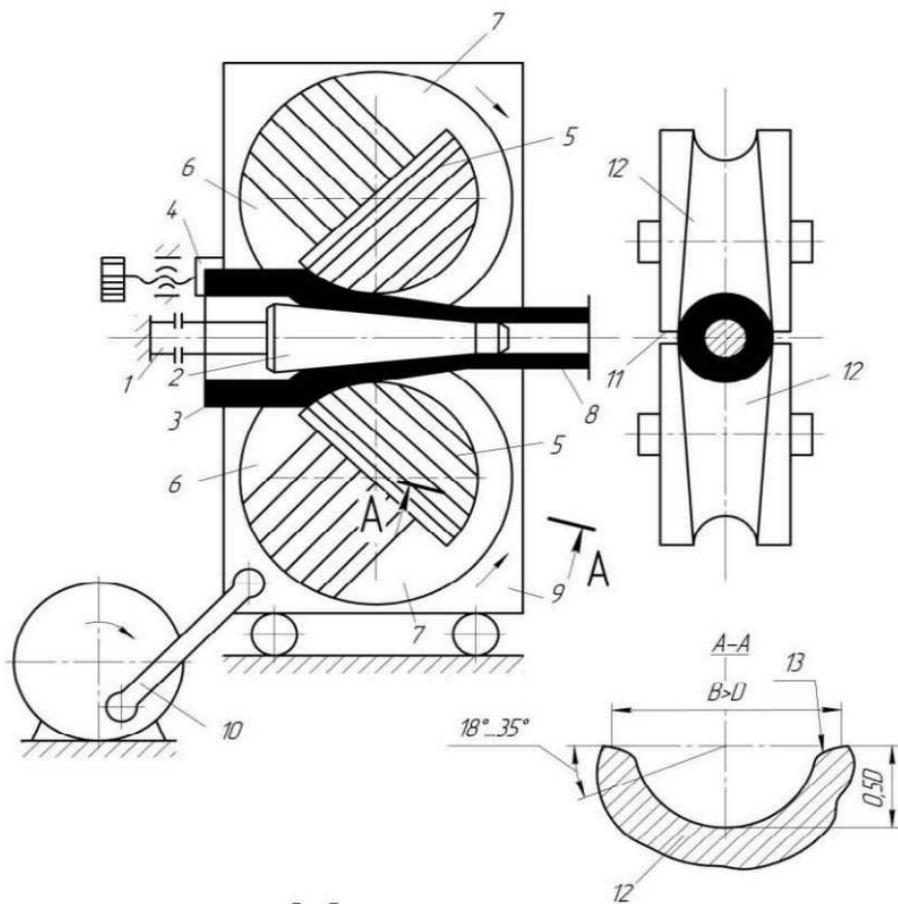


Рисунок 9. Схема холодной прокатки труб

Далее калибры освобождают трубу (раскрывается зев поворота 7), после чего происходит поворот ее вместе с оправкой на  $60 - 90^\circ$ . Затем валки, двигаясь противоположно, производят отделку прокатанного участка трубы. Достигнув крайнего левого положения, калиб-

ры подачи освобождают заготовку (раскрывается зев подачи 6) и патрон подачи-поворота 4 подает новую порцию заготовки в калибры. После этого цикл ХПТ повторяется.

Во избежание затекания металла в зазор между калибрами 11 ручки калибров выполняют овальными, т. е. ширину  $B$  делают больше расчетного диаметра ручки. Овальность уменьшается от зоны подачи к зоне поворота. Обычно величину развала (угол  $\gamma$ ) берут в пределах  $25...30^\circ$  для мелких и  $18...25^\circ$  для крупных станов.

На действующих станах ХПТ возможна прокатка труб из алюминиевых сплавов либо на готовый, либо на промежуточный размер с последующим волочением для труб с наружным диаметром от 14 до 75 мм, толщиной стенки от 0,6 до 15 мм. Сортамент труб и заготовок для стана каждого типоразмера представлен в табл. 7.

Основными технологическими параметрами процесса ХПТ являются: коэффициент вытяжки, величины подачи  $m$  и смещения металла  $\Delta L$ , а также размеры заготовки.

Коэффициент вытяжки. Допустимая вытяжка при прокатке зависит от пластичности металла, профиля инструмента и режима обработки. Обычно на практике при прокатке труб из алюминиевых сплавов  $\mu_{F\Sigma} = 2... 8$ . Оптимальные значения  $\mu_{F\Sigma}$  по сплавам:

Д1, Д16	....4... 5
АМг5	....4
АМг2, АВ...	5...6
АДО....	10... 15.

Чем больше пластичность металла, тем выше коэффициент вытяжки.

Величину подачи при прокатке труб из алюминиевых сплавов берут в пределах от 4 до 10 мм. Причем малые подачи назначают при деформировании труднодеформируемых сплавов и при больших коэффициентах вытяжки.

Таблица 7. Технические характеристики станков ХПТ

Показатели	Станы ХПТ		
Геометрические	75	55	32
<i>Заготовка</i>			
Наружный диаметр, мм	57...90	38...67	25...42
Толщина стенки, мм	2,5...20	1,75...12	1,75...6
Длина, м	1,6...5,0	1,5...5	1,5...5,5
<i>Готовая труба</i>			
Наружный диаметр	36...81	25...55	16...32
Толщина стенки (минимальная)	0,75...15	0,6...10	0.6...5
<i>Технологические и конструктивные</i>			
Число ходов клетки мин	60...70	60...90	80...120
Подача, мм	2...15	2...25	2...15
Диаметр волка и калибра, мм	432	364	300
Диаметр ведущей шестерни, мм	406	350	280
Длина хода клетки, мм	705	625	432
Длина звена подачи по ведущей шестерне, мм	13,5	12	20.6
Длина звена поворота по ведущей шестерне, мм	25	12	27.8
Длина рабочей части калибра по ведущей шестерне, мм	564	528	391
Расчетное допустимое давление, т	250	150	80...90
Длина участков по окружности калибров, мм:	22,5	6,45	22.4
	8,1	6,45	31.9
Зев подачи	650,8	558,9	417
Зев поворота			
Рабочая часть			
Минимальный зазор между внутренним диаметром заготовки и внутренним диаметром готовой трубы, мм	5,8	4,2	2.9

Величина смещения. Допустимая величина смещения определяется качеством прокатываемых труб и устанавливается опытным путем. В табл. 8 приведены величины смещений, используемые при прокатке труб из алюминиевых сплавов на станах различных типов-размеров.

Таблица 8. Величина смещения металла при прокатке труб на станках ХПТ

Марка сплава	ХПТ – 32	ХПТ – 55	ХПТ – 75
Д1, Д16, АМг3, АМг5	40...50	45...55	50...70
АМг2, АД1, АМц, АВ	45...55	50...60	55...75

Размеры заготовки. При выборе размера заготовки важно правильно определить величину редуцирования и толщину стенки заготовки.

Таблица 9. Соотношение между стенками готовой трубы и заготовки при прокатке труб

Стенка готовой трубы, мм	Редукция, мм	Стенка заготовки, мм	Стенка готовой трубы, мм	Редукция, мм	Стенка заготовки, мм
0,5	11...20	2,0	3,0	20	7,5
0,75	11...20	2,5	3,0	11...15	6,0
1,0	11...20	3,0	4,0	20	8,0
1,5	11...20	4,0	4,0	11...15	5,5
2,0	11...20	5,0	5,0	20	9,0
2,5	20	6,0			
2,5	11...15	6,5	5,0	11...15	7,0

Наружный диаметр заготовки определяется как сумма наружного диаметра готовой трубы и величины редукции.

Большое редуцирование в ряде случаев нежелательно, поскольку оно вызывает увеличение толщины стенки заготовки, понижает пластичность металла и сокращает длину рабочей части ручья. При проведении расчетов рекомендуется использовать данные табл. 9. Нижний предел редуцирования относят к менее пластичным материалам.

Ниже приведены рекомендуемые размеры калибров для прокатки труб из алюминийевых сплавов, определяющие наружные диаметры готовых труб:

Тип стана	Выходной размер калибра, мм
ХПТ – 32	18, 21, 22, 24, 27, 31, 33
ХПТ – 55	31, 36, 41, 46, 51, 56
ХПТ – 75	51, 56, 61, 66, 71, 76

Внутренний диаметр заготовки определяется как разность между наружным диаметром заготовки и ее удвоенной стенкой. При этом стенку заготовки выбирают так, чтобы получаемый коэффициент вытяжки был оптимальным. Кроме того, внутренний диаметр заготовки должен обеспечивать свободный ввод конической оправки в заготовку.

Длина заготовки выбирается в пределах длины заготовительного стола прокатного стана от 2100 до 5200 мм.

Часовая производительность стана (м/ч)

$$П = 60 \mu_{F\Sigma} n k,$$

где  $n$  – число двойных ходов клетки в мин (см- табл. 7),  $k$  – коэффициент использования стана,  $k = 0,7 \dots 0,75$ .

Основное технологическое время прокатки (мин)

$$T_0 = \frac{l_{\text{заг}}}{m n} = \frac{l_{\text{зот тр}}}{\mu_{F\Sigma} n m}$$

Перед расчетом профиля калибров и оправок должны быть определены тип стана (ХПТ-32, ХПТ-55 и др.), размеры трубы и заготовки.

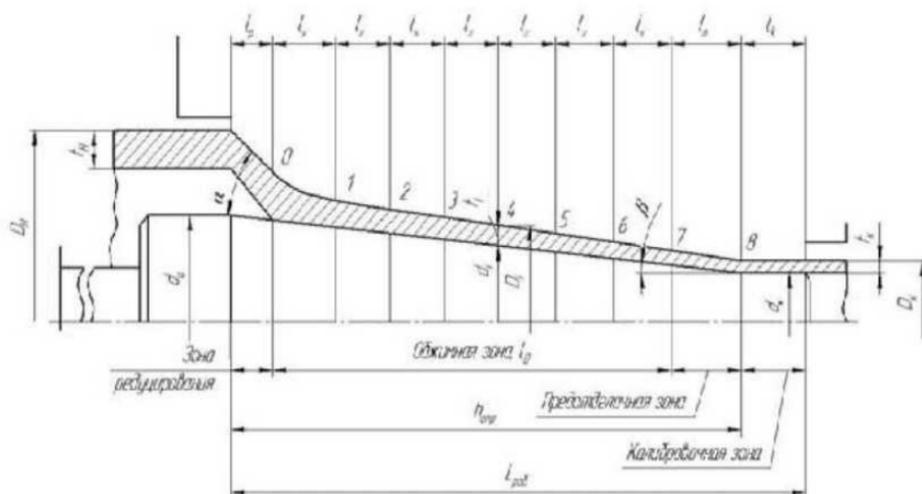


Рисунок 10. Схема рабочего конуса

При расчетах профиль калибров и оправок делят на следующие зоны (рис 10):

зона редуцирования  $l_{рв}$ , где происходит осадка заготовки по диаметру;

обжимная зона  $l_0$ , где происходит уменьшение диаметра и толщины стенки заготовки;

предоделочная зона  $l_{пр}$ , где заканчивается калибровка трубы по толщине стенки;

калибровочная зона  $l_k$ , где заканчивается калибровка трубы по диаметру.

Расчет ведут по зонам в следующей последовательности.

Зона редуцирования. Длина зоны редуцирования  $l_p = \Delta D_p / (2tg\alpha - 2tg\beta)$ , где  $2tg\alpha$  – конусность ручья в зоне редуцирования, принимается равной 0,1 ... 0,2;  $2tg\beta$  – конусность оправки, равная 0,002 ... 0,005;  $\Delta D_p$  – величина редуцирования,  $\Delta D_p = (0,4 \dots 0,5) \Delta D$  – определяется зазором между внутренней поверхностью заготовки и наибольшим диаметром оправки.

Толщина стенки заготовки после редуцирования  $t_p = t_H + \Delta + \Delta t$ , где  $t_H$  – толщина стенки заготовки,  $\Delta$  – плюсовой допуск (15%),  $\Delta t = (0,05 \dots 0,06) t_H$ .

Обжимная зона. Длина обжимной зоны  $l_0 = L_{\text{раб}} - l_p - l_n - l_k$ , где  $L_{\text{раб}}$  – длина рабочего участка калибра (см. табл. 7).

Профиль калибров и оправок выбирают с учетом постоянства давления по длине ручья, поэтому с увеличением давления на валки уменьшают коэффициент вытяжки по длине обжимной зоны.

Для расчета коэффициента вытяжки длину обжимной зоны делят на 7 равных контрольных участков:  $l_x = l_0/7$ , где  $x = 1, 2, 3, \dots, 7$  (см. рис. 10).

Вытяжки по стенке  $\mu_{\text{ц}}$  в контрольных сечениях находят по номограмме, составленной Ю. Ф. Шевакиным (рис. 11). По оси ординат находят точку, соответствующую  $\mu_{\text{ц}\Sigma} = t_p/t_k$ . Из этой точки проводят линию, параллельную оси абсцисс до пересечения с линиями контрольных сечений 1, 2, 3, ..., 7. Опустив из точек пересечения перпендикуляры на ось абсцисс, находят  $\mu_{\text{ц}}$ . В нулевом исходном сечении вытяжку берут равной 1. По найденным вытяжкам определяют толщину стенок  $t_i = t_p / \mu_{\text{ц}}$ . Ширина ручья в контрольных сечениях

$$B_i = D_i + \Delta B_i,$$

где  $D_i$  – диаметр ручья,  $D_i = 2 t_i + d_i$ ;  $d_i$  – диаметр оправок,  $d_i = d_k + 2tg\beta l_i$ ;  $d_k$  – диаметр калибрующей части оправки,  $d_k = D_k - 2 t_k$ ;  $D_k$ ,  $t_k$  – диаметр и толщина готовой трубы соответственно;  $\Delta B_i$  – величина развалки,  $\Delta B_i = (1,1 \dots 1,5) m \mu_{\text{F1}} 2tg\alpha_i$ ;  $\mu_{\text{F1}}$  – вытяжка по площади поперечного сечения в контрольных сечениях,  $\mu_{\text{F1}} = (D_0 - t_H) t_H / [D_i - t_i] t_i$ ;  $2tg\alpha_i$  – конусность ручья в контрольных сечениях,  $2tg\alpha_i = (D_i + D_{i+1})/l_{\text{к}}$ .

Окончательные диаметр и ширина ручья в контрольных сечениях с учетом минусового допуска на диаметр готовой трубы  $\Delta \approx 0,1 D_k$  и упругой деформации  $\Delta_{\text{упр}} \approx 0,5$  мм;  $(D_p)_i = D_i - \Delta - \Delta_{\text{упр}}$ ;  $(B_p)_i = B_i - \Delta_{\text{упр}}$ .

Предотделочная зона. Длина предотделочной зоны  $l_n = \Pi_1 m \mu_{\text{F}\Sigma}$ , а конусность равна конусности оправки.

Здесь  $\Pi_1$  – коэффициент калибровки по стенке трубы,  $\Pi_1 = 1,0 \dots 1,5$ . Верхний предел применяется при прокатке труб с особо высокой точностью на стенке.

Калибровочная зона. Длина калибровочной зоны

$$l_k = \Pi_2 m \mu_{F\Sigma},$$

где  $\Pi_2$  – коэффициент калибровки по наружному диаметру,  $\Pi_2 = 1,0 \dots 3,0$ .

Для осуществления подачи и поворота заготовки перед зоной редуцирования и после калибровочной зоны на калибре делают холостые участки-выточки (зев подачи и зев поворота). Образующие развертки 1 и 3 зон представляют собой наклонные прямые, образующая 4 зоны — прямую, параллельную оси прокатки. Образующая обжимной зоны представляет собой плавную кривую (см. рис. 10). Длину холостых участков выбирают по табл. 7.

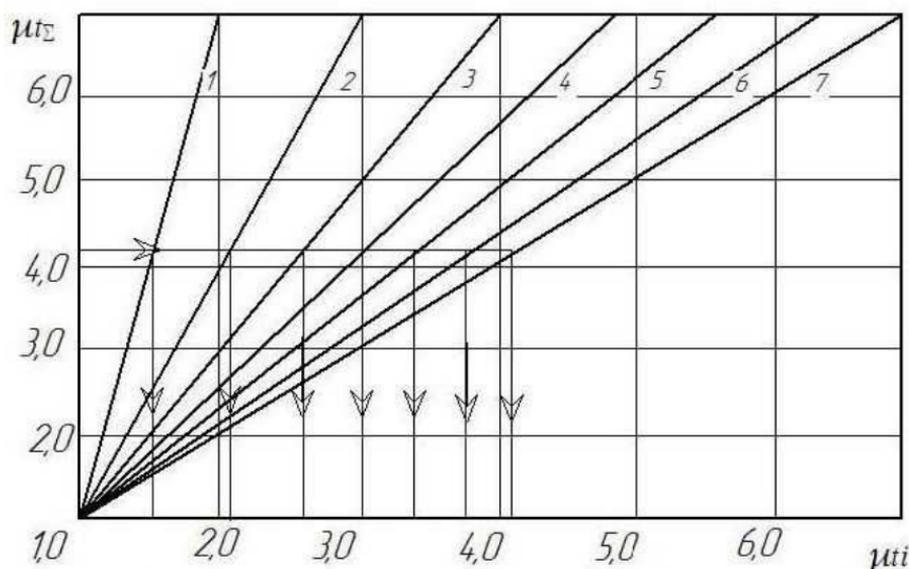


Рисунок 11. Номограмма для расчета профиля гребня ручья калибров

Диаметр цилиндрической части оправки  $d_{\text{ц}} = d_{\text{к}} + 2\text{tg}\beta^* L_{\text{опр}}$ ,

где  $L_{\text{опр}}$  – длина рабочей зоны конической оправки,  $L_{\text{опр}} = l_p + l_o + l_n$ .

### 3.2. Варианты индивидуальных заданий

Требуется спроектировать калибровку для прокатки труб с размерами  $D_k \times t_k$  из заготовки сплава А (табл. 10).

Таблица 10. Геометрические размеры труб

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$D_k \times t_k$	16x0,8	16x1	18x1	18x1,5	21x1	21x1,5	22x1	22x1,5	24x1
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	24x1,5	24x2	27x1,5	27x2	31x1,5	31x2	33x2	36x2	41x2
	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	46x2	51x2	51x3	56x2	56x3	61x3	66x3	71x3	71x4
	28	29							
	71x5	71x5,5							

Сплав А: АД1, АД31, АМц, АВ, АМг2, АМг5, АМг6, Д1, Д16, В95, АК4.

Проектирование калибровки валков включает в себя следующие этапы:

1. Определение размеров заготовки.
2. Расчёт показателей деформации трубы.
3. Определение длин зон ручья калибра.
4. Расчёт параметров в контрольных сечениях.
5. График конусности ручья калибра в контрольных сечениях.
6. Выводы.

### 3.3. Пример расчёта калибровки для прокатки труб

Требуется спроектировать калибровку для прокатки на стане ХПТ-32 труб размером  $25 \times 1$  мм из заготовки сплава Д1.

Определим размеры заготовки. Трубу  $\varnothing 25 \times 1,0$  мм можно изготовить с редуцией по диаметру 11 ...20 мм (см. табл. 9). Примем  $\Delta D = 11$  мм. Тогда наружный диаметр заготовки  $D_n = 25 + 11 = 36$  мм.

Толщина стенки, согласно табл. 9, равна 3 мм, соответственно размеры заготовки  $\varnothing 36 \times 3$  мм.

Толщина стенки заготовки с учетом плюсового допуска (15%):

$$t_n = 3,0 + 0,45 = 3,45 \text{ мм.}$$

Толщина стенки готовой трубы с учетом минусового допуска (10%):

$$t_k = 1 - 0,1 = 0,90 \text{ мм.}$$

Величину  $\Delta D_p = (0,4 \dots 0,5) \Delta D$  принимаем равной 5 мм, тогда утолщение стенки:

$$\Delta t = (0,05 \dots 0,06) \Delta D_p = 0,06 * 5 = 0,3 \text{ мм.}$$

Толщина заготовки после редуцирования:

$$t_p = t_n + \Delta t = 3,45 + 0,3 = 3,75 \text{ мм.}$$

В результате суммарная вытяжка по стенке:

$$\mu_{t\Sigma} = t_p / t_k = 3,75 : 0,90 = 4,17,$$

а общая вытяжка по площади при прокатке:

$$\mu_{t\Sigma} = \frac{t_n(D_n - t_n)}{t_k(D_k - t_k)} = \frac{3,45(36 - 3,45)}{0,9(25 - 0,9)} = 5,18.$$

Примем подачу трубы равной  $m = 8$  мм, конусность оправки –  $2 \operatorname{tg} \beta = 0,005$ , конусность ручья калибра на участке редуцирования –  $2 \operatorname{tg} \alpha_p = 0,1$ . Определим длины зон ручья калибров.

Длина зоны редуцирования:

$$l_p = \frac{\Delta D_p}{2 \operatorname{tg} \alpha_p - 2 \operatorname{tg} \beta} = \frac{5}{0,1 - 0,005} = 52 \text{ мм.}$$

Длина предотделочной зоны при  $\Pi_1 = 1,3$ :

$$l_n = \Pi_1 m \mu_{t\Sigma} = 1,3 * 8 * 5,18 = 54 \text{ мм.}$$

Длина калибровочной зоны при  $\Pi_2 = 1,5$ :

$$l_k = \Pi_2 m \mu_{t\Sigma} = 1,5 * 8 * 5,18 = 62 \text{ мм.}$$

Примем ее равной 61 мм. Тогда длина обжимной зоны:

$$l_o = L_{\text{раб}} - l_n - l_k = 391 - 52 - 54 - 61 = 224 \text{ мм,}$$

где значение  $l_{\text{раб}} = 391$  взято из табл. 7.

Длина контрольных участков:

$$l_x = l_o / 7 = 224 : 7 = 32 \text{ мм.}$$

Длина рабочей части конической оправки:

$$L_{\text{опр}} = l_p + l_o + l_n = 52 + 224 + 54 = 330 \text{ мм.}$$

Диаметр цилиндрической части оправки:

$$d_y = d_k + 2 \operatorname{tg} \beta L_{\text{опр}} = 23 - 0,005 * 330 = 24,65 \text{ мм.}$$

Вытяжку по стенке  $\mu_{t_i} = t_p/t_i$  в контрольных сечениях обжимной зоны находят по номограмме (см. рис 11). По оси ординат находят точку, соответствующую суммарной вытяжке по стенке  $\mu_{t\Sigma}$ , в нашем случае  $\mu_{t\Sigma} = 4,17$ ; из этой точки проводят линию, параллельную оси абсцисс, до пересечения с линиями контрольных сечений 1, 2, 3,...7; опустив из точек пересечения перпендикуляры на ось абсцисс, находят  $\mu_{t_i}$ . В нулевом исходном сечении вытяжка равна 1; в сечении 1 по номограмме  $\mu_{t_i} = 1,55$ ; в сечении 2  $\mu_{t_2} = 2,10$  и т. д. Полученные результаты заносят в табл. 11.

Толщина стенки в контрольных сечениях (см. табл. 11):

$$t_i = \frac{t_p}{\mu_{t_i}}; \quad t_0 = \frac{3,75}{1} = 3,75 \text{ мм}; \quad t_1 = \frac{3,75}{1,55} = 2,42 \text{ мм};$$

$$t_2 = \frac{3,75}{2,1} = 1,79 \text{ мм}; \dots; \quad t_8 = \frac{3,75}{4,17} = 0,9 \text{ мм.}$$

Диаметр оправки в контрольных сечениях

$$d_i = d_k + 2 \operatorname{tg} \beta l_i,$$

где  $l_i$  – расстояние от пережима  $d_k$  до контрольного сечения.

$$d_8 = D_k - 2t_k = 25 - 2 * 0,90 = 23,2 \text{ мм};$$

$$d_7 = 23,2 + 0,005 * 54 = 23,47 \text{ мм};$$

$$d_6 = 23,2 + 0,005(54 + 32) = 23,63 \text{ мм};$$

$$d_5 = 23,2 + 0,005(54 + 2 * 32) = 23,79 \text{ мм};$$

$$d_4 = 23,2 + 0,005(54 + 7 * 32) = 24,59 \text{ мм};$$

$$d_{0'} = 23,2 + 0,005(54 + 7 * 32 + 52) = 24,85 \text{ мм.}$$

Диаметр ручья в контрольных сечениях (см. табл. 11)

$$D_t = d_i + 2t_i,$$

$$D_{0'} = 36 \text{ мм (диаметр заготовки);}$$

$$D_0 = 24,59 + 2 * 3,75 = 32,09 \text{ мм};$$

$$D_1 = 24,48 + 2 * 2,42 = 29,27 \text{ мм.}$$

Таблица 11. Параметры калибровки для прокатки на стане ХПТ-32 труб из сплава Д1 по схеме 36x3 → 25x1

Показатели	Контрольные сечения										
	0'	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
$\mu_{ti}$	–	1	1,55	2,1	2,62	3,05	3,45	3,82	4,17	–	
$t_i$	3,45	3,75	2,42	1,79	1,43	1,23	1,09	0,98	0,9	0,9	
$d_i$	24,85	24,59	24,43	24,27	24,11	23,95	23,79	23,63	23,47	23,2	
$D_i$	36	32,09	29,27	27,85	26,97	26,41	25,97	25,59	25,27	25	
$\mu_{Fi}$	1	1,06	1,73	2,41	3,08	3,62	4,14	4,66	5,12	5,18	
$2tga_i$	–	–	0,088	0,05	0,027	0,017	0,014	0,012	0,01	0,008	
$\Delta B_i$	2	1,3	1,3	1	0,7	0,5	0,5	0,5	0,45	0,36	
$B_i$	38	33,39	30,57	28,85	27,67	26,91	26,47	26,09	25,72	25,36	
$(D_p)_i$	36	31,29	28,47	27,05	26,17	25,61	25,17	24,79	24,47	24,20	
$(B_p)_i$	38	33,09	30,27	28,55	27,37	26,61	26,17	25,79	25,42	25,06	

Выгяжка по площади поперечного сечения в контрольных сечениях (см. табл. 11):

$$\mu_{Fi} = \frac{(D_H - t_H)t_H}{(D_i - t_i)t_i};$$

$$\mu_{Fo'} = 1.0$$

$$\mu_{Fo} = \frac{3.45(36 - 3.45)}{3.75(32.09 - 3.75)} = 1.06;$$

$$\mu_{F1} = \frac{3.45(36 - 3.45)}{2.42(29.27 - 2.42)} = 1.73;$$

$$\mu_{F2} = \frac{3.45(36 - 3.45)}{1.73(27.85 - 1.79)} = 2.41.$$

Конусность ручья калибров в контрольных сечениях (рис. 12) (см. табл. 11):

$$2\text{tg}a_i = \frac{D_i - D_{i+1}}{l_x}.$$

Участок 0 – 1:

$$2\text{tg}a_1 = \frac{32,09 - 29,27}{32} = 0,088.$$

Участок 1 – 2:

$$2\text{tg}a_2 = \frac{29,27 - 27,68}{32} = 0,05.$$

Величина развалки в контрольных сечениях:

$$\Delta B_i = (1.1 - 1.5)m\mu_{Fi}2\text{tg}a_i.$$

Примем коэффициент 1,1;  $\Delta B_{o'} = 2$  мм;  $\Delta B_o = 1,3$  (берем по  $\Delta B_1$ );

$$\Delta B_1 = 1,1 * 8 * 1,73 * 0,088 = 1,3 \text{ мм};$$

$$\Delta B_2 = 1,1 * 8 * 2,41 * 0,050 = 1,0 \text{ мм (см. табл. 11)}.$$

Ширина ручья в контрольных сечениях (см. табл. 11):

$$B_i = D_i + \Delta B_i;$$

$$B_{o'} = 36 + 2 = 38 \text{ мм}; B_o = 32,09 + 1,3 = 33,39 \text{ мм};$$

$$B_1 = 29,27 + 1,3 = 30,57 \text{ мм};$$

$$B_2 = 27,85 + 1,0 = 28,85 \text{ мм}.$$

Окончательный диаметр ручья  $D_p$  в контрольных сечениях с учетом минусового допуса на диаметр готовой трубы (0,3 мм) и припуска на упругую деформацию (0,5 мм):

$$(D_p)_i = D_i - 0,3 - 0,5 = D_i - 0,8;$$

$$D_{po'} = 36 \text{ (остается без изменения);}$$

$$D_{po} = 32,08 - 0,8 = 31,29 \text{ мм;}$$

$$D_{p1} = 29,27 - 0,8 = 28,47 \text{ мм.}$$

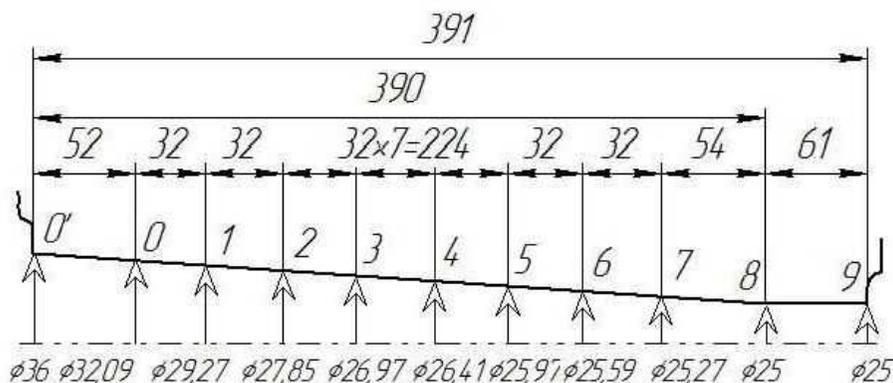


Рисунок 12. Конусность ручья калибров в контрольных сечениях

Окончательная ширина ручья в контрольных сечениях с учетом минусового допуска на диаметр готовой трубы, равного 0,3 мм, (см. табл. 11):

$$(B_{p1}) = B_1 - 0,3;$$

$$B_{po'} = 38 \text{ мм (остается без изменений);}$$

$$B_{p0} = 33,39 - 0,3 = 33,09 \text{ мм;}$$

$$B_{p1} = 30,57 - 0,3 = 30,27 \text{ мм.}$$

### 3.4. Контрольные вопросы

1. Размеры заготовки:  $\text{Ø}33 \times 27$  мм; готовой трубы:  $\text{Ø} 22 \times 0,68$  мм. Определить коэффициенты' вытяжки по диаметру, толщине стенки и площади поперечного сечения
2. Выбрать стан ХПТ и назначить размеры заготовки для готовой трубы  $\text{Ø} 36 \times 30$  мм.
3. В чем сущность метода холодной прокатки труб?
4. Как выбрать размеры заготовки?

5. Что необходимо учитывать при назначении режимов обжарки для труб?
6. Зачем трубную заготовку поворачивают на угол 60.. 90°?
7. Как принято делить рабочую часть ручья калибров?
8. Зачем ручьи выполняют с развалкой?
9. Перечислите основные технологические параметры при холодной прокатке труб.
10. Что относят к деформирующему инструменту при холодной прокатке труб?
11. С какой целью у калибров делают выточки (зевы)?
12. Каков порядок расчета калибров станов ХПТ?
13. Как определить длины зон?
14. Исходя из каких принципов производится расчет калибровки?
15. Как учитывается упругая деформация калибров?
16. Почему зона редуцирования должна быть минимальной?
17. Чем отличается калибровочная зона от предотделочной?

## 4. ВОЛОЧЕНИЕ ТРУБ

### 4.1. Краткие теоретические сведения

Процесс волочения труб заключается в протягивании заготовки постоянного сечения через конический суживающийся канал волоки. Проходя через волоку, заготовка принимает форму и размеры наименьшего сечения канала. Процесс волочения может быть безоправочным и оправочным.

Волочение без оправки применяют в том случае, когда необходимо уменьшить только диаметр трубы. При этом процесс осуществляется через неподвижно закрепленную волоку (рис. 13, а). Волочение на оправке (рис. 13, б, в) применяют для одновременного уменьшения диаметра и толщины стенки трубы. Оправка может быть короткой цилиндрической (рис. 13, б), цилиндроконической (рис. 13, в). При волочении труб из алюминиевых сплавов наиболее эффективен процесс волочения на неподвижной цилиндроконической оправке.

Цилиндроконическая оправка состоит из двух цилиндров разного диаметра – бочки оправки и рабочего участка, соединенных конусом. Оправка крепится на стержень. Так как угол конусной части оправки меньше угла волоки на  $1 \dots 1,5^\circ$ , то при волочении между внутренней поверхностью трубы и оправкой образуется смазочный клин. Это позволяет улучшить качество внутренней поверхности трубы в результате уменьшения сил трения, возникающего вследствие гидродинамического эффекта. Все это обеспечивает большие величины обжатий по стенке трубы без налипания металла на оправку.

Безоправочное волочение используют для изготовления труб всего сортамента. Для труб диаметром более 20 мм его применяют в основном как отделочную операцию.

Волочение на цилиндроконической оправке используют для производства труб из алюминиевых сплавов в диапазоне диаметров 30 ... 90 мм и толщин стенок 2...5 мм. Обычно применяют один или два прохода волочения. Трубную заготовку для волочения получают прессованием или прессованием с последующей прокаткой на станах ХПГ.

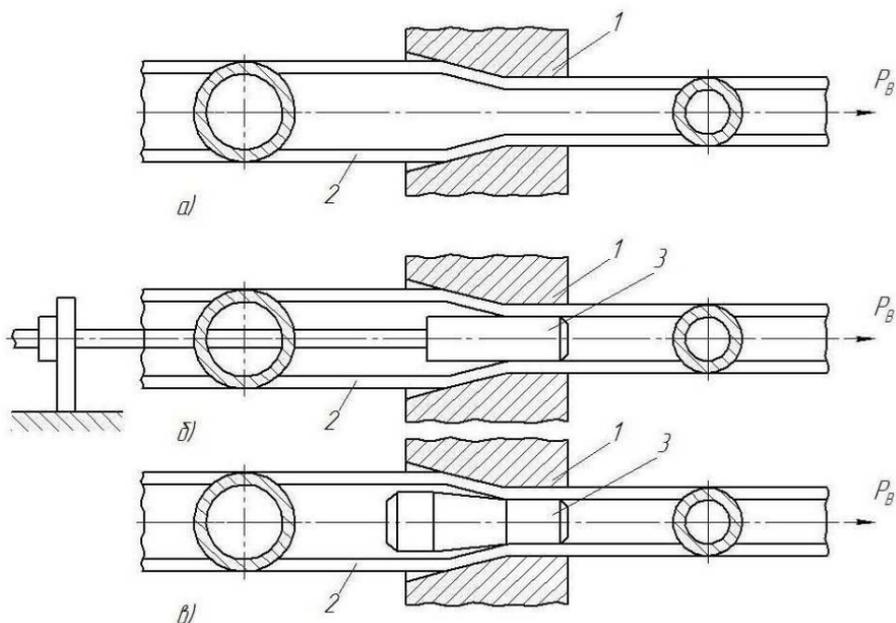


Рисунок 13. Схема волочения: 1 – волока; 2 – заготовка; 3 – оправка

Основными технологическими параметрами при проектировании технологии волочения труб являются: количество проходов для получения трубы заданных размеров; коэффициенты вытяжки по проходам, определяемые допустимыми обжатиями; размеры труб по проходам с учетом изменения толщины стенки при безоправочном волочении; длина трубы после волочения и усилия волочения по проходам.

Количество проходов рассчитывают в следующем порядке:

Исходя из размеров готовой трубы и заготовки, определяют суммарную вытяжку

$$\mu_{\Sigma} = \frac{F_H}{F_K} = \frac{D_{cpH} t_H}{D_{cpK} t_K}$$

Здесь  $D_{cpH}$ ,  $D_{cpK}$  – средний диаметр трубы до и после волочения,  $D_{cpH} = D_H - t_H$ ,  $D_{cpK} = D_K - t_K$ ;  $t_H$ ,  $t_K$  – толщина стенки трубы до и после

волочения. При определении количества проходов утолщение стенки не учитывают и принимают  $t_H \approx t_K$ .

Задают величину максимально допустимой вытяжки за проход. При этом для сплавов АМг5, В95  $\mu_{max} = 1.4$ ; для сплавов Д1, Д16  $\mu_{max} = 1.5$ ; для сплавов АВ, АМг2, АД31, 1915  $\mu_{max} = 1.6$ .

Определяют значение  $n$ , которое округляют в большую сторону до целого числа:

$$n = \ln \mu_{\Sigma} / \ln \mu_{max}.$$

Вытяжки по проходам определяют с учетом упрочнения металла по линейному закону  $\sigma_B = a + b \ln \mu$ . Коэффициенты  $a$  и  $b$  для ряда сплавов приведены в табл. 12 ( $\sigma_B$  МПа).

Таблица 12. Коэффициенты упрочнения сплавов

	Д16	АВ	АМг5	АМг2	АД31	Д1	1915
a	210	140	180	120	110	180	130
b	60	40	50	50	40	50	30

Упрочнение приводит к росту  $\sigma_B$  и уменьшению вытяжки, поэтому вытяжка по проходам уменьшается пропорционально возрастанию предела прочности:

$$\mu_2 = \mu_2 \frac{\sigma_{B1}}{\sigma_{B2}}; \mu_3 = \mu_1 \frac{\sigma_{B1}}{\sigma_{B3}}, \dots, \mu_n = \mu_1 \frac{\sigma_{B1}}{\sigma_{Bn}};$$

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

Здесь  $\Delta\sigma_B = \frac{\sigma_{Bn} - \sigma_{B1}}{n-1}$ ,  $\sigma_{B1}, \sigma_{B2}, \dots, \sigma_{Bn}$  – пределы прочности после 1-го, 2-го, ...,  $n$ -го проходов волочения. При определении  $\sigma_{Bn}$  и  $\sigma_{B1}$  в формулу упрочнения подставляются соответственно значения  $\mu_{\Sigma}$  и  $\mu_{max}$ :

$$\sigma_{Bn} = a + b \ln \mu_{\Sigma}, \sigma_{B1} = a + b \ln \mu_{max}.$$

Расчет размеров трубы по проходам ведут от готовой трубы:

$$(D_{cp})_{n-1} = \mu_n (D_{cp})_n.$$

Для определения изменения толщины стенки при безоправочном волочении при степенях деформации за проход не более 30% применяется формула Ю. Ф. Шевакина [6]

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

где  $\Delta D_{\text{ср}} = D_{\text{ср н}} - D_{\text{ср к}}$ .

Тогда  $t_{n-1} = t_n - \Delta t$ .

При ориентировочных расчетах для волочения труб с  $D_K/t_K \geq 10$  можно рекомендовать формулу  $\Delta t = k(D_n - D_K)$  где  $k$  – коэффициент утолщения стенки трубы,  $k = 0,02$  для сплавов Д1, Д16, АМг5, АВ, В95;  $k = 0,01$  для сплавов АМг2, АМг3, АМц, АД31, 1915.

Длина трубы после волочения

$$l_B = l_T n_M + l_{\text{захв}} + l_{\text{ко}} \leq L_{\text{вс}}$$

где  $l_T$  – сдаваемая (мерная) длина трубы;  $l_{\text{захв}}$  – длина захваток (табл. 13);  $l_{\text{ко}}$  – длина обрезаемых концов (табл. 13);  $n_M$  – кратность при резке в меру;  $L_{\text{вс}}$  – выходная длина волочильного стана, для стана усилием 0,02 МН  $L_{\text{вс}} = 10000$  мм; для стана усилием 0,03 и 0,05 МН  $L_{\text{вс}} = 12000$  мм; для стана усилием 0,12 МН  $L_{\text{вс}} = 13000$  мм.

Таблица 13. Размеры трубы после волочения

Диаметр трубы после волочения, мм	Длина захваток, мм	Длина обрезаемых концов, мм
6...15	110...150	200
18...40	160...200	220
41...55	200...250	250
56...100	250...300	300

После определения размеров трубы по проходам находят усилие волочения и проверяют условие безобрывности волочения. Устойчивый процесс волочения обеспечивается при коэффициенте запаса прочности

$$k_3 = \frac{\sigma_T^k F_k}{Q} \geq 1,1 \dots 1,2 \text{ или } k_3 = \frac{\sigma_T^k}{\sigma_{\text{вол}}} \geq 1,1 \dots 1,2,$$

где  $\sigma_T^k$  – предел текучести наклепанной трубы.

В расчетах можно принять

$$\sigma_T^K = 0,7\sigma_B^K,$$

где  $\sigma_{\text{вол}}$  – среднее напряжение волочения;  $Q$  – усилие волочения,  $Q = \sigma_{\text{вол}} * F_K$ ;  $F_K$  – площадь сечения трубы;

$$Q = \left\{ \ln \frac{D_{\text{срн}}}{D_{\text{срк}}} \left[ 1,15\bar{\sigma}_T + f \text{ctg} \alpha_n (1,15\bar{\sigma}_T - \sigma_{\text{упр}}) \right] + \sigma_{\text{упр}} \right\} F_K,$$

где  $\bar{\sigma}_T = 0,7\sigma_B$  – среднее значение предела текучести;  $f$  – коэффициент трения,  $f = 0,09$ ;  $\sigma_{\text{упр}}$  – напряжение на границе упругой и пластической зон,  $\sigma_{\text{упр}} = 0,1\sigma_T^K$ ;  $\sigma_T^K$  – предел текучести металла заготовки;  $\alpha_n$  – приведенный угол, который определяется из зависимости

$$\text{tg} \alpha_n = (D_H - D_K) \text{tg} \alpha / [(D_H - D_K) + 2 l_K \text{tg} \alpha],$$

здесь  $l_K$  – длина калибрующего участка,  $l_K = 3 \dots 5$  мм;  $\alpha$  – полуугол конуса волокна.

Основные размеры волокна (рис. 14) определяются из следующих положений:

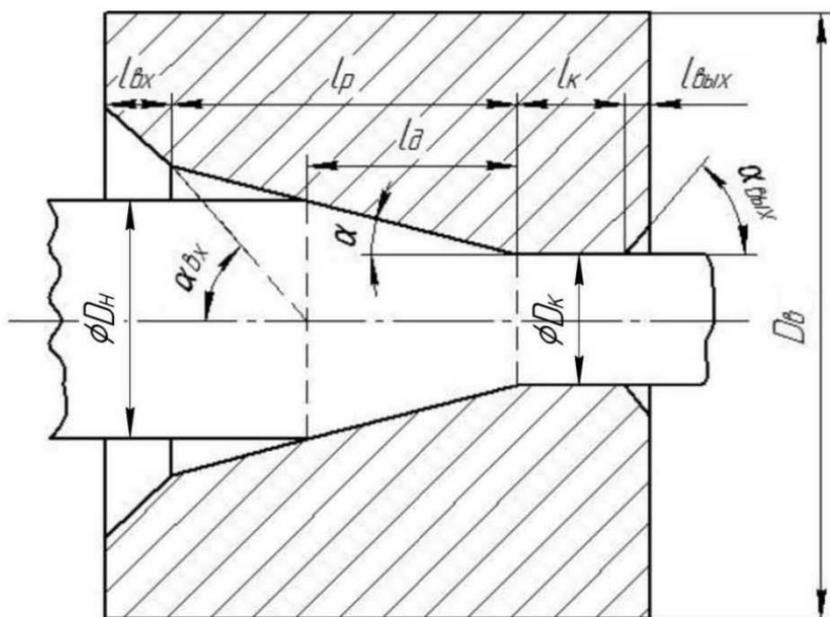


Рисунок 14. Схема к определению параметров канала волокна

1. Длину деформационной зоны  $l_d$  находят по формуле

$$l_d = 0,5(D_H - D_K)ctg a.$$

2. Длина рабочей зоны должна быть больше деформационной, так как диаметр трубы может быть несколько больше расчетного из-за разработки канала предыдущей волоки: оси трубы и канала волоки могут быть несоосны:

$$l_p = \gamma l_d; \gamma = 1.1 \dots 1.3.$$

3. Длина калибрующей зоны должна быть достаточной для обеспечения стабильности наружного диаметра трубы:  $l_k = (0,1 \dots 0,5)D_K$ , но не менее 3 мм для  $D_K < 15$  мм и не менее 5 мм для  $D_K \geq 15$  мм.

4. Размеры входной зоны должны обеспечить надежное попадание закованной трубы в отверстие волоки. Из практики волочения

$$\alpha_{вх} = (2 \dots 3)\alpha; l_{вх} = (1 \dots 1,5)l_p.$$

5. Размеры выходной зоны должны обеспечить возможность захвата тянущим устройством волочильного стана переднего конуса трубы:

$$\alpha_{вых} = (5 \dots 6)\alpha; l_{вых} = (1 \dots 1,5)l_k.$$

6. Диаметр волоки  $D_v$  выбирают с учетом прочности и размера волокодержателя волочильного стана.

При этом:

для  $D_K = 6 \dots 10$  мм  $D_v = 30$  мм;

для  $D_K = 10 \dots 20$  мм  $D_v = 50$  мм;

для  $D_K = 20 \dots 30$  мм  $D_v = 70$  мм.

Места сопряжения зон волочильного канала скругляют радиусом обеспечивающим плавный переход от зоны к зоне.

## 4.2. Варианты индивидуальных заданий

1. Спроектировать проходы для безоправочного волочения труб из сплава А (Д1, Д16, АМг5, АМг2, АВ, АД31, 1915) с учетом упрочнения по линейному закону  $\sigma_v = a + b \ln \mu$  по одному из вариантов табл. 14.

Проектирование включает в себя следующие этапы:

1. Определение числа проходов.
  2. Расчет вытяжек по проходам.
  3. Выбор размеров трубы по проходам.
  4. Расчет усилия волочения.
  5. Проверка условий безобрывности.
  6. Заполнение сводной таблицы.
  7. Выбор размеров волокни.
  8. Выполнение эскиза волокни.
  9. Вывод.
2. Нестандартные задания с элементами исследований:
1. Волочение труб с кручением.
  2. Волочение труб с противонатяжением.
  3. Волочение особотонкостенных труб.
  4. Сборка труб волочением сплошных поперечных сечений.
  5. Волочение труб с минимальной кривизной.
  6. Расчет волок на прочность.

Таблица 14. **Варианты расчетов**

Номер варианта	Размеры трубок $D_k \times t_k$ , мм	Диаметр заготовки, мм	Номер варианта	Размеры трубок $D_k \times t_k$ , мм	Диаметр заготовки, мм
1	6x0,8	15	12	8x1,5	24
2	6x0,9	16	13	9x1	24
3	6x1	17	14	9x1,2	25
4	6x1,1	17	15	9x1,5	26
5	7x0,8	18	16	9x2	27
6	7x0,9	19	17	10x1	28
7	7x1	19	18	10x1,5	28
8	7x1,1	19	19	10x2	30
9	8x0,9	20	20	11x1	28
10	8x1	20	21	11x1,5	29
11	8x1,1	22	22	11x2	31

### 4.3. Пример расчета проходов при безоправочном волочении трубы

Требуется спроектировать проходы для безоправочного волочения трубы из сплава Д16 размером  $D_{\kappa} = 6$  мм;  $t_{\kappa} = 1,0$  мм из заготовки  $D_{\text{н}} = 16$  мм. Суммарная вытяжка по диаметру  $\mu_{\Sigma} = 15,0/5,0 = 3,0$ . Максимальная вытяжка  $\mu_{\text{max}} = 1,5$ .

Определим необходимое число проходов:

$$n = \frac{\ln \mu_{\Sigma}}{\ln \mu_{\text{max}}} = \frac{\ln 3}{\ln 1.5} = 2.72.$$

Принимаем  $n = 3$ , тогда

$$\mu_1 = 1,5 \quad \sigma_{\text{в}1} = 210 + 60 \ln 1.5 = 234 \text{ МПа},$$

$$\mu_{\Sigma} = 3 \quad \sigma_{\text{в} \text{н}} = 210 + 60 \ln 3 = 276 \text{ МПа},$$

$$\Delta \sigma_{\text{в}} = (276 - 234) : 2 = 21 \text{ МПа}.$$

Вытяжки по проходам равны:

$$\mu_1 = \sqrt[3]{\frac{3 * (234 + 21) * (234 + 2 * 21)}{234^2}} = 1,57;$$

$$\mu_2 = 1,57 \frac{234}{234 + 21} = 1,44; \quad \mu_3 = 1,57 \frac{234}{234 + 2 * 21} = 1,32$$

Определим размеры трубы по проходам.

Третий проход:  $D_3 = 6$  мм;  $t_3 = 1$  мм;  $D_{\text{ср}3} = 5,0$  мм;

$$D_{\text{ср}2} = 5,0 * 1,32 = 6,6 \text{ мм}; \quad \Delta D_{\text{ср}} = 6,6 - 5,0 = 1,6 \text{ мм};$$

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

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

Размеры на втором и первом проходах определяются аналогично. Для расчета напряжения волочения на первом проходе определим среднее значение предела текучести и величину приведенного угла:

$$\bar{\sigma}_{\text{T}} = \frac{234 + 210}{2} * 0,7 = 155 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{нпр}} = 0,1 \sigma_{\text{T}}^{\kappa} = 0,1 * 0,7 * 210 = 14,7 \text{ МПа},$$

$$\text{tg} \alpha_{\text{н}} = (16 - 10,4) \text{ tg } 12^\circ / [(16 - 10,4) + 2 * 3 * \text{tg } 12^\circ] = 0,173,$$

$$\text{ctg} \alpha_{\text{н}} = 5,8.$$

Коэффициент трения  $f = 0,08$ . Тогда напряжение волочения

$$\sigma_{\text{вол}} = \ln \frac{15,2}{9,5} [1,15 * 155 + 0,08 * 58(1,15 * 155 - 14,7)] + 14,7 = \\ = 140 \text{ МПа.}$$

Коэффициент запаса

$$k_{3,1} = \frac{234 * 0,7}{140} = 1,17 > 1,1.$$

Условие безотрывности выполняется, хотя запас невелик. Усилие волочения на первом проходе

$$Q = 140 * 10^6 * 0,000028 = 3,75 \text{ кН.}$$

Аналогично рассчитываются напряжение волочения и коэффициент запаса на втором и третьем проходах.

На втором проходе:

$$\bar{\sigma}_T = \frac{234+255}{2} * 0,7 = 172 \text{ МПа; } \sigma_{\text{упр}} = 16,4 \text{ МПа;}$$

$$\text{tg} \alpha_{\text{п}} = \frac{(10,4-7,6) \text{tg} 12^\circ}{[(10,4-7,6)+2*3 \text{tg} 12^\circ]} = 2,4;$$

$$\sigma_{\text{вол} 2} = \ln \frac{4,5}{6,6} [1,15 * 172 + 0,06 * 2,4 * (1,15 * 172 - 16,4)] + 16,4 = \\ = 86,3 \text{ МПа;}$$

$$k_3 = \frac{253*0,7}{86,3} = 2,05 > 1,2; Q_2 = 86,3 * 10^6 * 0,00002 = 1,72 \text{ кН.}$$

$$\text{На третьем проходе: } \bar{\sigma}_T = \frac{255+276}{2} * 0,7 = 186 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{\text{упр}} = 18 \text{ МПа;}$$

$$\text{tg} \alpha_{\text{п}} = (7,56 - 6) \text{tg} 12^\circ / [(7,56 - 6) + 2 * 3 * \text{tg} 12^\circ] = \\ = 0,117; \text{ctg} \alpha_{\text{п}} = 8,55;$$

$$\sigma_{\text{вол} 3} = \ln \frac{6,6}{5} [1,15 * 186 + 0,08 * 8,55(1,15 * 186 - 18)] + 18 = \\ = 102,4 \text{ МПа;}$$

$$k_3 = \frac{276*0,7}{102,4} = 1,89 > 1,2; Q_3 = 102,4 * 10^6 * 0,000016 = 1,61 \text{ кН.}$$

Результаты расчетов приведены в табл. 15.

Найдем размеры волокни для первого прохода:

длина деформационной зоны

$$l_0 = 0,5(16 - 10,4) \text{ctg} 12^\circ = 13,2 \text{ мм;}$$

длина рабочей зоны

$$l_p = 13,2 * 1,2 = 15,8 \text{ мм;}$$

длина калибрующей зоны

$$l_x = 0,3 * 10,4 = 3 \text{ мм};$$

размеры входной зоны

$$\alpha_{\text{вх}} = 2 * 12^\circ = 24^\circ;$$

$$l_{\text{вх}} = 1,5l_p = 1,5 * 15,8 = 23,7 \text{ мм};$$

размеры выходной зоны:

$$\alpha_{\text{вых}} = 5 * 12^\circ = 60^\circ;$$

$$l_{\text{вых}} = 1,5 * 3 = 4,5 \text{ мм};$$

диаметр волокна  $D_{\text{вол}} = 50 \text{ мм}$ .

Таблица 15. Результаты расчета

Номер прохода	$D_{i-1}^H$ , мм	$t_{i-1}^H$ , мм	$D_i^K$ , мм	$t_i^K$ , мм	$\mu_i$	$\Delta t_i$ , мм	$\sigma_{\text{вол } i}$ , МПа	$Q_i$ , кН	$k_2$
1	16	0.8	10.4	0.9	1.57	0.1	140	3.75	1.17
2	10.4	0.9	7.56	0.96	1.44	0.06	86.3	1.72	2.05
3	7.56	0.96	6	1	1.32	0.04	102.4	1.61	1.89

Схематический вид волокна для первого прохода приведен на рис. 15.

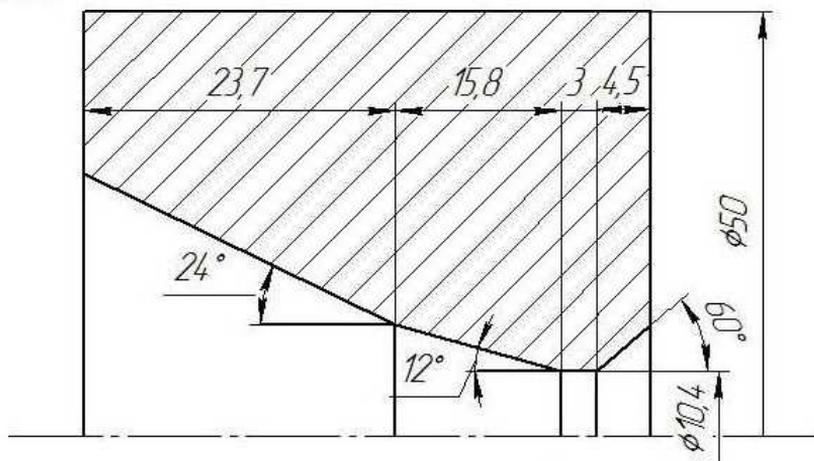


Рисунок 15. Конструкция рассеченной волокна

#### 4.4. Контрольные вопросы

1. Перечислите способы волочения труб.
2. Напишите формулу для определения коэффициента вытяжки при волочении труб.
3. Как рассчитать проходы безоправочного волочения трубы, зная максимально допустимую вытяжку в первом проходе и зависимость  $\sigma_s$  от  $\ln \mu$ ?
4. Благодаря чему волочение на цилиндроконической оправке эффективнее, чем на цилиндрической?
5. Напишите условие стабильности процесса волочения.
6. Перечислите основные участки канала волокна.
7. Как влияют на напряжение волочения прочностные свойства протягиваемого металла?
8. Что называется напряжением волочения и коэффициентом запаса?
9. В каких пределах изменяется коэффициент запаса?

## 5. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБ И ЕГО ОБОСНОВАНИЕ

### 5.1. Краткие теоретические сведения

Трубы из алюминиевых сплавов по способу изготовления бывают горячепрессованные (ГОСТ 18482) и холоднодеформированные (ГОСТ 18473).

По состоянию поставки выделяются следующие виды труб:

- 1) закаленные и естественно состаренные – Т (Д1Т, Д16Т, АВТ, АДЗ1Т), АК6Т);
- 2) закаленные и искусственно состаренные – Т1 (АВТ1, АДЗ1Т1);
- 3) отожженные – М (Д1М, Д16М, АМг2М, АМг5М, АВМ);
- 4) нагартованные – Н (все сплавы).

В процессе изготовления труб из алюминиевых сплавов применяют основные технологические операции: прессование, прокатка на станах ХПТ, волочение оправочное и безопрочноное, термическая обработка, правка.

В зависимости от последовательности этих операций выделяют четыре основных способа производства:

1. Прессование – отжиг – волочение на самоустанавливающейся оправке – окончательная термическая обработка – правка. Этим способом изготавливают трубы диаметром от 30 до 100 мм и толщиной стенки  $t = 1,5 + 5$  мм. Экономически иногда целесообразно применять 1–2 прохода волочения после прессования, избегая отжиг.

2. Прессование – отжиг – прокатка на стане ХПТ – безопрочноное волочение – окончательная термообработка – правка. Изготавливаются трубы всей гостовской номенклатуры ( $\phi$  6... ... 120 мм,  $t = 0,5$  ... 5,0 мм).

3. Прессование – отжиг – первая прокатка на стане ХПТ – отжиг – вторая прокатка на стане ХПТ – безопрочноное волочение – окончательная термообработка – правка. Этим способом изготавливаются трубы диаметром от 6 до 60 мм, с толщиной стенки 0,5...1,0 мм.

4. Прессование – окончательная термообработка – правка. Изготавливаются трубы по ГОСТ 18482-73 с размерами  $\phi$  18... 280 мм,  $t = 1,5... 32$  мм.

При выборе маршрута следует учесть следующее.

Метод прессования может быть прямым и обратным. Обратный метод более предпочтителен с точки зрения экономии металла и повышения производительности труда, но не всегда обеспечивает требуемое качество.

Для прокатки труб из алюминиевых сплавов чаще всего используют станы трех типоразмеров: ХПТ-32, ХПТ-55, ХПТ-75. Станы для волочения труб могут быть линейными и барабанными. Барабанное волочение применяется только для мягких сплавов.

Чаще всего волочение труб производят на цепных волочильных станах. На станах усилием 3 тс волочат трубы  $\phi$  6 ...30 мм, причем трубы диаметром до 15 мм волочат в три нитки, диаметром от 16 до 30 мм — в две нитки, от 21 до 30 мм — в одну нитку.

После операций прессования, прокатки и волочения, если суммарная вытяжка на этих операциях превышает допустимую  $\epsilon_{\text{доп}} = (F_n - F_k)/F_n = 60 \dots 90\%$  (меньшие значения – для твердых сплавов, большие – для мягких), необходимо предусмотреть промежуточные отжиги.

Необходимо включать и вспомогательные операции: резку труб на части и на готовый размер, правку, термическую обработку, изготовление захваток и их отрезку, контроль за ходом изготовления труб, отделочные операции.

Захватки перед волочением изготавливают на гидравлических ковочных молотах, ковочных вальцах, эксцентриковых прессах и ротационно-ковочных машинах (табл. 16). Толстостенные трубы  $\phi$  30... 100 мм правят на механических и гидравлических прессах. Для правки труб  $\phi$  20 ...30 мм применяют станки с роликами, на цилиндрической поверхности которых нарезаны калибры. Быстроходными и наиболее производительными являются станки моделей 9412, 9417 с гиперболическими валками, на которых можно править трубы диаметром до 300 мм.

Таблица 16. **Оборудование и допустимый интервал длин трубной заготовки при заковке захваток**

Оборудование	Размер заготовки, мм		
	$D_n$	$t_n$	$l_{\text{заг}}$
Ротационно-ковочные вальцы	6...15	Все толщины	1500...7000
Трехшпindelная машина	14...48	0,5...2,5	1500...7000
Ковочный пресс, 63 тс	14...48	0,5...3,0	1500...7000
Вальцы ковочные	10...35	3,0...5,0	1500...10000
Ковочный пресс, 250 тс	33...120	Все толщины	3200...8600

Для закалки чаще всего используют вертикальные закалочные печи, для отжига и старения – электрические печи с воздушной вентиляцией напольного и шахтного типов.

Различают: резку на части, когда длина трубы превышает полезную длину приемного стола; резку захваток; резку на готовый размер. Чаще всего резку проводят на ленточных и дисковых пилах. На станах ХПТ резка труб происходит непосредственно в процессе прокатки.

На трубах контролируют размеры и допуски на размеры, качество поверхности, макро- и микроструктуру, механические свойства.

## 5.2. Варианты индивидуальных заданий

Требуется спроектировать технологию изготовления трубы  $D_k \times t_k$  (табл. 17) из сплава А в состоянии поставки Б длиной В (табл. 18). Сплав АД1, АМц, АД31, АМг3, 1915, АДО, Д16, В95, АМг6, АК4.

Таблица 17. Геометрические размеры труб

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
$D_k \times t_k$	6x1	6x0,8	8x1	8x0,8	9x1	9x0,8	10x1	10x0,8

Состояние поставки Б: Т, Т1, М, Н.

Таблица 18. Длина готовых труб В

№ варианта	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
$l_{ед}, м$	2,0	1,75	1,5	2,75	2,5	2,25	4,0	3,5	3,0	2,5

Номер задания задается кодом. Первое число кода определяет размеры поперечного сечения готовой трубы, далее следуют марка сплава и состояние поставки. Последнее число кода указывает на длину готовой трубы.

Проектирование включает в себя следующие этапы:

1. Выбор способа производства трубы.
2. Определение размеров заготовки для волочения.
3. Расчет заготовки для второй прокатки.
4. Выбор заготовки для первой прокатки.
5. Определение размеров заготовки для прессования.
6. Расчет длин заготовок.
7. Заполнение технологической карты.
8. Вывод.

Нестандартные задания с элементами исследований:

1. Прессование труб с винтовым истечением металла.
2. Прессование биметаллических труб.
3. Плакирование труб.
4. Безопрессочное волочение труб в блок волок.
5. Профилирование многогранных труб волочением.
6. Компьютерное моделирование волочения труб.
7. Проектирование профильных волок.

### 5.3. Пример расчета технологии изготовления трубы

Требуется спроектировать технологию изготовления трубы  $\varnothing 6 \times 1,0$  мм из сплава Д1: поставка в закаленном и естественно состаренном состоянии; сдаточная длина  $l_{сд} = 2$  м.

Исходя из экономических соображений, выбираем следующую схему: ПРЕССОВАНИЕ, 1-я ПРОКАТКА, 2-я ПРОКАТКА – БЕЗОПРАВОЧНОЕ ВОЛОЧЕНИЕ.

Все расчеты ведут от готовой трубы. При этом особое внимание обращается на выбор размеров заготовок по операциям, так как они оказывают существенное влияние на выход годного.

*Безоправочное волочение* на размер  $\varnothing 6 \times 1$  мм проведем в несколько проходов. Выберем исходные размеры заготовки для волочения. Готовая труба, прокатываемая на стане ХПТ-32, может иметь наружный диаметр от 16 до 32 мм и толщину от 0,6 до 5 мм (см. табл. 7). Из этого ряда выберем наружный диаметр заготовки для волочения, равный 22 мм, и определим размер стенки после второй прокатки.

Толщина стенки прокатанной трубы при съеме на волочении  $\Delta D_B = D_H - D_K = 22 - 6 = 16$  мм. После второй прокатки  $t_k = t_{\text{гот}} - \Delta D_B K_t = 1 - 16 * 0,02 = 0,68$  мм.

Таким образом,  $\varnothing 22 \times 0,68$  мм – исходные размеры заготовки для волочения.

Определим число переходов волочения:

$$\mu_{F\Sigma} = \frac{t_H(D_H - t_H)}{t_K(D_K - t_K)} = \frac{0,68(22 - 0,68)}{1,0(6,0 - 1,0)} = 2,9.$$

Принимая максимально допустимую вытяжку за проход  $\mu_{\text{max}} = 1,5$ , находим число переходов:

$$n = \ln(\mu_{F\Sigma}) / \ln \mu_{\text{max}} = \ln 2,9 / \ln 1,5 = 4.$$

С учетом устойчивости сечения трубы в очаге деформации и промежуточных условий назначаем следующий маршрут волочения: 22→16→12→8→6 мм. Чтобы улучшить качество труб, волочение на размер 16 (первый проход) и на размер 14 (второй проход) осуществляем через две последовательно расположенные волокна: 19 и 16; 14 и 12 мм.

Определим заготовки для второй прокатки (труба после первой прокатки). Трубу  $\varnothing 22 \times 0,68$  мм при толщине стенки готовой трубы, близкой к 1,0 мм, можно изготовить на стане ХПТ-32 с редукицией по диаметру 11...20 мм (см. табл. 9). Примем  $\Delta D_{2np} = 11$  мм. Тогда наружный диаметр заготовки  $D_n = 22 + 11 = 33$  мм, толщина стенки равна 3 мм, соответственно размеры заготовки  $\varnothing 33 \times 27$  мм.

Известно, что вытяжки при ХПТ алюминиевых сплавов обычно могут быть от 2 до 8. Поэтому, назначая стенку заготовки, подсчитываем, входит ли вытяжка в этот интервал: стенка 3 мм, заготовка 33x27 мм, вытяжка при второй прокатке:

$$\mu_{2np} = (33^2 - 27^2) / (22^2 - 20,64^2) = 6,2.$$

Заготовку по вытяжке выбрали правильно. Далее необходимо проверить заготовку по конструктивным особенностям стана: войдет ли коническая оправка стана в заготовку. Для выбранного стана ХПТ-32 разница между внутренним диаметром готовой трубы и внутренним диаметром заготовки должна быть с учетом зазора  $d_n - d_k > 2,9$  мм (см. табл. 7). В нашем случае

$$\Delta D_{ззз} = 27 - 20,64 = 6,36 > 2,9 \text{ мм.}$$

Оставляем выбранную заготовку 33 x 27 мм.

Назначаем заготовку для первой прокатки (трубу после пресования). Размер 33 x 27 мм может быть прокатан на стане ХПТ-32 или ХПТ-55 (см. табл. 7). Выбираем стан ХПТ-55. Этот стан обеспечивает большие редукицию и производительность.

Назначим стенку заготовки 7,5 мм из условия прокатки с вытяжкой в интервале 2...8. Тогда при стенке готовой трубы 3мм редукиция составит 20 мм (см. табл.9) . Следовательно наружный диаметр заготовки

$$D_n = D_k + \Delta D_{ред} = 33 + 20 = 53 \text{ мм;}$$

соответственно размеры заготовки  $\varnothing 53 \times 38$  мм. Вытяжка на первой прокатке

$$\mu_{1np} (53^2 - 38^2) / (33^2 - 27^2) = 3,79.$$

По значению вытяжки заготовка может быть принята. Проверим ее по условию свободного введения внутрь конической оправки прокатного стана. Для стана ХПТ-55  $D_{ззз} = 4,2$  мм. В нашем случае  $\Delta D_{ззз} = 38 - 27 = 11 > 4,2$  мм, т. е. больше.

Назначаем заготовку для прессования. Выбираем по табл. 1 вытяжку  $\mu_{\text{прес}} = 30$  и первоначально считаем, что диаметр тела иглы равен внутреннему диаметру изделия (трубы). Диаметр контейнера

$$D_{\text{кон}} = \sqrt{(53^2 - 38^2)30 + 38^2} = 206 \text{ мм.}$$

Назначаем ближайший контейнер пресса 3150 тс (см. табл. 2) размером 230 мм. Для выбранного контейнера тело иглы 85 мм, внутренний диаметр слитка 90 мм, наружный диаметр слитка 223 мм.

Определяем коэффициент распрессовки

$$\mu_{\text{распр}} = \frac{230^2 - 85^2}{223^2 - 90^2} = 1,09.$$

На всех этапах определяем длины заготовок.

Длина трубы после волочения должна быть меньше длины закалочной печи и волочильного стана, но не более 10 м:

$$l_{\text{вол}} = l_{\text{сл}} n_{\text{вол}} + l_{\text{захв}} + l_{\text{ко}} = 2000 * 4 + 140 + 200 = 8340 \text{ мм.}$$

Длина трубы после резки на стане второй прокатки:

$$l_{2\text{пр}} = \frac{l_{\text{вол}}}{\mu_{\text{вол}}} + l_{\text{захв}} = \frac{2000 * 4 + 200}{2,3} + 140 = 2970 \text{ мм.}$$

Длина трубы после резки на стане первой прокатки должна быть в диапазоне 2100 ... 5200 мм:

$$l_{1\text{пр}} = \frac{l_{2\text{пр}} * n_{2\text{пр}}}{\mu_{2\text{пр}}} = \frac{2970 * 10}{6,2} = 4800 \text{ мм.}$$

Для первой прокатки после резки на прессе длина трубы должна быть в диапазоне 2100 ... 5200 мм:

$$l_{\text{прес}} = \frac{l_{1\text{пр}} * n_{1\text{пр}}}{\mu_{1\text{пр}}} = \frac{4800 * 4}{3,79} = 5060 \text{ мм.}$$

Длина распрессованного слитка:

$$L_{\text{сл пр}} = \frac{l_{\text{прес}} * n_{\text{прес}} + l_{\text{к прес}}}{\mu_{\text{прес}}} + l_{\text{пр ост}} = \frac{5060 * 3 + 600}{30,2} + 30 = 552 \text{ мм.}$$

Длина нераспрессованного слитка:

$$L_{\text{сл}} = l_{\text{сл пр}} * \mu_{\text{распр}} = 552 * 1,09 = 605 \text{ мм.}$$

В предыдущих формулах  $n_{\text{вол}}$ ,  $n_{2\text{пр}}$ ,  $n_{1\text{пр}}$ ,  $n_{\text{прес}}$  – коэффициенты кратности реза соответственно после волочения, второй прокатки, первой прокатки, прессования; они определяются перебором значений 2, 3, 4 и т. д.;  $l_{\text{к пр}}$ ,  $l_{\text{прес-ост}}$  – длины обрезных концов и пресс-остатка.

Таблица 19. Технологическая цепочка операций изготовления трубы  
 $\varnothing 6 \times 1$  мм из сплава Д1

№ п/п	Операция	Оборудование	Перечерные размеры, мм		Длина, мм		Вылетка	Кол-во труб после разреза
			до операции	после операции	до операции	после операции		
1	Нагрев слитка	Индукционная печь	214x90	214x90	605	605	-	
2	Прессование Обрезка концов Резка – 1	Пресс, 3150 тс	214x90	53x38	605	15780	30,2	
		Дисковая пила	53x38	53x38	15780	15180	-	
		Дисковая пила	53x38	53x38	15180	5060	-	3
3	Контроль	Ручная операция	53x38	53x38	5060	5060	-	-
4	Зачистка заусенцев, шавровка	Ручная операция	53x38	53x38	5060	5060	-	
5	Отжиг - 1	Электропечь отжига	53x38	53x38	5060	5060	-	
6	Прокалка – 1 Резка – 2	ХПТ-55	53x38	33x27	5060	19200	3,79	
		Циркулярная пила	33x27	33x27	4800x4	4800	-	4
7	Отжиг – 2	Электропечь, отжига	33x27	33x27	4800	4800	-	-
8	Прокалка – 2 Резка – 3	ХПТ-32	33x27	22x20,64	4800	2970	6,20	
		Циркулярная пила	22x20,64	22x20,64	29700	2970	-	10
9	Отжиг – 3	Электропечь	22x20,64	22x20,64	2970	2970	-	
10	Заковка захвагок	Заковочная машина 3-шпиндельная	22x20,64	$\varnothing 16$	2970	2830	-	
11	Заковка захвагок	Ротационно-ковочная машина	$\varnothing 16$	$\varnothing 10$	2830	2830	-	
12	Волочение – 1	Волоч. стан. 3 тс, 3-ниточный	22x20,64	$\varnothing 16 \times 14,40$	2830			
13	Волочение - 2 (осадка)	Волоч. стан. 3 тс, 3-ниточный	16x14,40	12x10,24				
14	Волочение – 3 (осадка)	Волоч. стан. 3 тс, 3-ниточный	12x10,24	8x6,08				
15	Волочение – 4 (осадка, калибровка)	Волоч. стан. 3 тс, 3-ниточный	8x6,08	6x4	8340		2,9 сумм.	
16	Закалка	Эл. вертикальная печь заковки	6x4	6x4				
17	Правка	Косовалка роликовая машина	6x4	6x4	8340	8340		
18	Резка в меру	Дисковая пила	6x4	6x4	8340	2000	-	4
19	Зачистка заусенцев	Шарошечная машина	6x4	6x4	2000	2000	-	-
20	Контроль	Ручная работа	6x4	6x4	2000	2000		
21	Сдана на склад	Ручная работа	6x4		2000	2000		-

Результаты разработки технологического процесса заносятся в технологическую карту (см. табл. 19).

#### 5.4. Контрольные вопросы

1. Как различают трубы из алюминиевых сплавов по способу изготовления и состоянию поставки?
2. Перечислите основные технологические операции при производстве труб.

3. Назовите основные способы производства труб.

4. Длина заготовки 4800 мм, коэффициент вытяжки  $\mu_F = 6,2$ , длина готовой трубы 2970 мм. Определить кратность реза после прокатки.

5. Перечислите оборудование, используемое для холодной прокатки труб.

6. В каких случаях рекомендуется проводить отжиг?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современное состояние мирового производства труб [Текст] / Ю.Г. Крупман, Л.С. Ляховский, О.А. Семенов [и др.]. - М.: Metallurgy, 1992. - 353 с.
2. Повышение эффективности трубного производства [Текст] / В.Я. Дубровский, Ю.Г. Крупман, Л.С. Ляховский [и др.]. - М.: Metallurgy, 1984. - 240 с.
3. Осада, Я.Е. Современные трубные цехи [Текст] / Я.Е. Осада. - М.: Metallurgy, 1977. - 368 с.
4. Райтбарг, Л.Х. Цехи по прессованию металлов [Текст] / Л.Х. Райтбарг, И.А. Шур. - М.: Машиностроение, 1981. - 334 с.
5. Шурупов, А.К. Производство труб экономичных профилей [Текст] / А.К. Шурупов, М.А. Фрейберг. - Свердловск: Metallurgizdat, 1963. - 296 с.
6. Шевакин, Ю.Ф. Производство труб из цветных металлов [Текст] / Ю.Ф. Шевакин, А.М. Рытиков, Ф.С. Сейдалиев. - М.: Metallurgizdat, 1963. - 356 с.
7. Гильденгорн, М.С. Прессование со сваркой полых изделий из алюминиевых сплавов [Текст] / М.С. Гильденгорн, В.Г. Керов, Г.А. Кривонос. - М.: Metallurgy, 1975. - 239 с.
8. Старостин, Ю.С. Ребристые трубы из алюминиевых сплавов [Текст] / Ю.С. Старостин, М.Ф. Головинов, В.Р. Каргин. - М.: Metallurgy, 1983. - 134 с.
9. Каргин, В.Р. Процессы получения винтовых профилей и труб [Текст] / В.Р. Каргин. - М.: Metallurgy, 1994. - 96 с.
10. Биметаллические трубы [Текст] / М.И. Чепурко, В.Я. Остренко, Е.А. Резников [и др.]. - М.: Metallurgy, 1974. - 224 с.
11. Ерманок, М.З. Прессование труб из алюминиевых сплавов [Текст] / М.З. Ерманок, Л.С.Каган, М.Ф. Головинов. - М.: Metallurgy, 1976. - 248 с.
12. Производство полуфабрикатов из алюминиевых сплавов: [Текст] / справочник. - М.: Metallurgy, 1985. - 350 с.

13. Перлин, И.Л. Теория прессования металлов [Текст] / И.Л. Перлин, Л.Х. Райтбарг. - М.: Металлургия, 1975. - 447 с.
14. Розов, Н.В. Производство труб [Текст] / Н.В. Розов. - М.: Металлургия, 1985 - 600с.
15. Перлин, И.Л. Теория волочения [Текст] / И.Л. Перлин, М.З. Ерманок. - М.: Металлургия, 1971. - 448 с.
16. Савин, Г.А. Волочение труб [Текст] / Г.А. Савин. - М.: Металлургия, 1993. - 336 с.

Учебное издание

**ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕССОВАНИЯ,  
ПРОКАТКИ И ВОЛОЧЕНИЯ**

*Индивидуальные задания для самостоятельной работы*

Составители: *Каргин Владимир Родионович,  
Каргин Борис Владимирович*

Редакторская обработка Н.С. Куприянова  
Доверстка Т.Е. Половнева

Подписано в печать 21.04.2014. Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 4,5,  
Тираж 50 экз. Заказ . Арт. 44/2014.

Самарский государственный  
аэрокосмический университет  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.  
Изд-во Самарского государственного  
аэрокосмического университета.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.