

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**Разработка конструкции и технологии
производства тонкостенных баллонов и баков
газопроводных систем ЛА**

**Методические указания
и рекомендации для выполнения
курсового проекта**

Составители: В.С.Белоусов, канд.техн.наук,
Г.Г.Нарышева, ассист.

Рецензент Г.А.Раевская, канд.техн.наук

Работа подготовлена кафедрой самолето- и вертолетостроения



Новосибирский электротех-
нический институт, 1990 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение.....	4
1. Задание.....	4
2. Объем, содержание и оформление КП.....	6
3. Конструкция баллонов и баков.....	7
3.1. Описание базовой конструкции.....	7
3.2. Материал.....	7
3.3. Расчет толщины стенки.....	8
3.4. Форма и размеры элементов конструкции.....	9
3.5. Выполнение оборочного чертежа.....	II
4. Технология производства баллонов и баков.....	II
4.1. Раскрой листовых материалов.....	II
4.2. Штамповка-вытяжка днищ.....	13
4.3. Пробивка и отбортовка отверстий.....	13
4.4. Гибка-овертка.....	14
4.5. Формовка зигов (зиговка).....	14
4.6. Калибровка концов обечаек.....	16
4.7. Обрезка припусков и торцовка.....	17
4.8. Изготовление штуцеров и фланцев.....	17
4.9. Сварка.....	17
4.10. Термообработка.....	19
4.11. Химическая обработка.....	20
4.12. Упрочнение ППД.....	20
4.13. Испытания на прочность.....	21
4.14. Контроль герметичности.....	22
4.15. Промывка.....	25
4.16. Окраска.....	26
4.17. Маркирование.....	26
5. Технологическая документация.....	27
Рекомендуемая литература.....	28
Приложения.....	29

ВВЕДЕНИЕ

Объектом конструкторско-технологических разработок в настоящем курсовом проекте являются баллоны и баки гидрогазовых систем ЛА – воздушных, кислородных, топливных, гидравлических и др. Форма, конструкция, материал баллонов и баков определяются их назначением, условиями эксплуатации, требованиями технологичности. В большинстве случаев баллоны и баки – это тонкостенные сварные конструкции цилиндрической или сферической формы из нержавеющей сталей, алюминиевых и титановых сплавов. Производство таких изделий включает в себя разнообразные технологические операции раскроя, листовой штамповки, обработки резанием, сварки, сборки, химической и термической обработки, упрочнения, нанесения покрытий, маркирования, контроля и испытаний. Именно многообразие применяемых технологий, присущих большинству деталей и узлов ЛА, а также возможностью использования прогрессивных и наукоемких методов обработки и контроля (лазерных, магнитноимпульсных, ультразвуковых и др.) и обусловлен выбор объекта для курсового проектирования.

Целью выполнения курсового проекта является закрепление теоретических знаний по дисциплине "Технология производства летательных аппаратов" и приобретение навыков самостоятельного решения конструкторско-технологических задач.

I. ЗАДАНИЕ

I.1. Рассчитать размеры элементов конструкции и выполнить сборочный чертеж баллона (бака).

Эскиз изделия показан на рис. I, а необходимые исходные данные – наружный диаметр D , объем V , рабочее давление P , рабочая среда, материал входящих деталей – заданы в табл. I.

I.2. Назначить и описать методы и средства выполнения технологических операций раскроя, листовой штамповки, обработки резанием, сварки, термообработки, упрочнения, нанесения химических и лакокрасочных покрытий, испытаний, контроля. Рассчитать (или назначить) режимы этих операций. Разработать технологическую документацию.

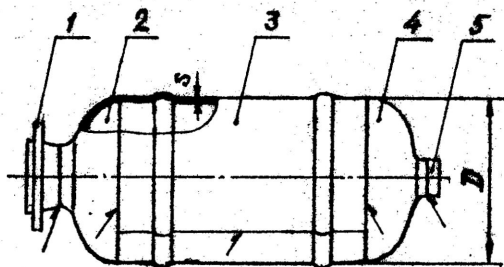


Рис. I. Базовая конструкция баллона (сфера): 1 - фланец; 2, 4 - днище; 3 - обечайка; 5 - штурцер

Таблица I

Варианты заданий

Номер задания	D мм	V дм ³	ρ МПа	Материал	Среда	Номер задания	D мм	V дм ³	ρ МПа	Материал	Среда
01	280	22	3,2	ПТ-7М	К	21	260	20	0,8	АМцМ	М
02	250	22	3,2	12Х18Н10Т	В	22	230	18	4,0	ПТ-7М	В
03	260	30	0,8	АМг2М	Т	23	300	32	1,8	АМг6М	К
04	220	20	4,0	30Х1СА	М	24	340	40	1,0	АМг3М	Т
05	260	25	2,6	12Х18Г9Т	Г	25	200	15	3,0	12Х18Н10Т II	
06	200	15	5,0	ВТ1-2	П	26	240	16	3,0	ПТ-7М	ВД
07	230	20	0,6	АМцМ	ВД	27	260	20	4,0	ВТ1-2	Г
08	280	25	2,4	АМг6М	В	28	280	24	4,8	ВНУ-2	В
09	320	40	1,0	АМг3М	К	29	240	15	4,2	12Х18Н10Т II	
10	260	25	3,6	0Т4-0	Т	30	220	12	4,0	30Х1СА	Г
11	240	20	0,8	АМцМ	М	31	280	24	1,0	АМг3М	М
12	280	22	4,4	30Х1СА	Г	32	320	60	1,6	АМг6М	Т
13	300	30	1,0	АМг2М	П	33	280	25	2,0	12Х18Н10Т К	
14	200	15	2,4	12Х18Н10Т	ВД	34	250	50	3,6	0Т4-0	В
15	220	15	4,0	0Т4-1	К	35	220	18	3,0	12Х18Н9Т	Г
16	250	18	5,0	30Х1СА	В	36	300	32	2,4	АМг6М	П
17	220	16	6,0	ВНУ-2	Г	37	340	42	2,6	ПТ-7М	К
18	340	40	0,6	АМцМ	Т	38	280	26	0,8	АМг2М	ВД
19	300	30	3,0	ПМ-7М	П	39	250	24	2,4	12Х18Н10Т	Т
20	250	20	1,0	АМг3М	ВД	40	200	20	4,4	ВТ1-2	В

Примечание. В графе "Среда" обозначено: В - воздух, К - кислород, Т - топливо (керосин), М - масло, Г - гидравлическая жидкость (масло АМГ-10), П - противопожарный газ (CO_2 , N_2), ВД - вода.

1.3. Разработать (по согласованию с руководителем) конструкцию инструмента, приспособления, технологической установки или стенда, использующихся в производстве баллонов (баков), с выполнением сборочных чертежей.

Объектами технологического проектирования могут быть: штампы для вырубки, пробивки, вытяжки, отбортовки; индукторы, матрицы, приспособления для магнитно-импульсной калибровки и зиговки обечаек; приспособления для формообразования эластичными оредами; технологические блоки для взрывной и гидроимпульсной штамповки днищ и обечаек; режущий инструмент; пресс-формы для изготовления уплотнительных колец; кондукторы для сверления отверстий; лазерные резаки; плазмотроны для сварки; листотисбочные машины; приспособления и установки для сварки, правки и термообработки; установки для дробеударной обработки; ультразвуковые ванны для очистки; контрольно-испытательные и промыочные стенды, их схемы и элементы.

Указание. Настоящее задание должно быть записано в пояснительной записке на бланке "Задание на КП".

2. ОБЪЕМ, СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ КП

Курсовой проект должен содержать текстовую часть - пояснительную записку (ПЗ) объемом 25-30 листов формата А4 и графическую - чертежи и схемы согласно заданию в объеме 2-х листов формата А1.

ПЗ должна иметь титульный (первый) лист, задание на КП, содержание, введение, основной текст, список литературы, приложения.

Титульный лист и задание выполняются на специальных бланках. В задании указываются вопросы, подлежащие разработке, в том числе, индивидуальные. В содержании следует перечислить заголовки всех разделов и подразделов с указанием номеров страниц. Во введении указываются назначение и область применения изделия, цель работы. Основной текст посвящается расчетам размеров изделия, выбору и описанию методов и средств выполнения технологических операций, расчетам параметров (режимов) этих операций. Приложения - это технологические карты. В список литературы внести использованные в работе печатные издания, включая настоящие "Методические указания...", с соблюдением правил библиографических описаний.

Листы ПЗ должны иметь основные надписи: лист с содержанием - по форме 2, остальные - по форме 2а. В основных надписях всех листов проставить обозначение документа, например, КП-024-05-90.00 ПЗ

(024 - индекс кафедры СВС, 05 - порядковый номер студента в групповом журнале, соответствующий номеру задания, 90 - год выполнения КП), а в надписи листа о содержании и наименовании документа, например "Конструкция и технология производства бака".

3. КОНСТРУКЦИЯ БАЛЛОНОВ И БАКОВ

3.1. Описание базовой конструкции

Изделие (см. рис.1) представляет собой тонкостенную сварную конструкцию, состоящую из цилиндрической обечайки с продольным сварным швом и двумя радиальными зигами и двух штампованных дна, по центру которых на отбортовках приварены фланец и штуцер.

Примечание. По согласованию с руководителем проекта базовая конструкция может быть изменена.

Задание. Описать конструкцию изделия и привести его эскиз.

3.2. Материалы

Для изготовления сварных изделий в производстве ЛА используются низколегированные (ГОСТ 4543-71) и нержавеющие (ГОСТ 5632-72) стали, титановые (ГОСТ 19807-74) и алюминиевые (ГОСТ 4784-74) сплавы.

Марки применяемых сталей и сплавов и их физико-механические характеристики приведены в табл. 2.3.

Задание. Привести область применения, физико-механические и технологические характеристики заданного материала. Рассчитать параметры K и n степенной диаграммы деформирования $\sigma = K\epsilon^n$.

Таблица 2

Механические характеристики сталей и сплавов
(в отожженном состоянии)

	Марка материала	ρ кг/м ³	E ГПа	σ_B МПа	σ_T МПа	ϵ_B
Стали	30ХГСА	78000	210	700	450	0,16
	12Х18Н10Т	7800	210	550	300	0,40
	12Х18Н9Т	7800	210	500	250	0,40
	ВНС-2	7800	210	850	650	0,16

	Марка материала	ρ кг/м ³	E Па	σ_B МПа	σ_T МПа	ϵ_B
Низколегированные стали	АМц	2700	72	130	50	0,20
	АМг2	2700	72	180	80	0,16
	АМг3	2700	72	200	100	0,15
	АМг6	2700	72	320	200	0,16
Титановые сплавы	ПМ-7М	4500	110	600	450	0,18
	СТ4-0	4500	110	550	450	0,16
	СТ4-1	4500	110	650	550	0,12
	ВТ1-2	4500	110	600	500	0,12

Здесь ρ - плотность; E - модуль упругости; σ_B - предел прочности; σ_T - предел текучести; ϵ_B - относительная деформация, соответствующая пределу прочности и моменту образования шейки на образце при испытаниях на растяжение.

Таблица 3

Физические характеристики сталей и сплавов

Материал	C кДж/(кг·град)	χ Вт/(м·град)	$T_{пл}$ °С	$L_{пл}$ МДж/кг	ρ_0 мкОм·м
Низколегированные стали	0,5	40	1500	0,3	0,4
Нержавеющие стали	0,5	25	1500	0,3	0,7
Алюминиевые стали	1,0	200	660	0,35	0,06
Титановые стали	0,6	15	1700	0,4	0,8

Здесь C - удельная теплоемкость; χ - теплопроводность; $T_{пл}$ - температура плавления; $L_{пл}$ - удельная теплота плавления; ρ_0 - удельное электрическое сопротивление.

3.3. Расчет толщины стенки

Толщина S стенки цилиндрической обечайки определяется из условия прочности

$$\sigma_{э\text{кв}} = \sigma_i \leq \varphi[\sigma],$$

где $\sigma_{экв}$ - эквивалентное напряжение по 4-й теории прочности, или интенсивность напряжений σ_i ; $[\sigma]$ - допускаемое напряжение, рассчитываемое как $[\sigma] = \sigma_T / n$ ($n = 1,5$ - запас прочности по пределу текучести); ψ - коэффициент уменьшения допускаемого напряжения сварного соединения, зависящий от способа сварки и принимаемый равным 0,8...0,9 для ручной сварки, 0,9...1,0 - для автоматической.

Элемент тонкостенной оболочки, находящейся под давлением p , испытывает плоское напряженное состояние. Интенсивность напряжений в этом случае

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_m^2 - \sigma_t \sigma_m},$$

где $\sigma_t = pD/(2s)$, $\sigma_m = pD/(4s)$ - соответственно тангенциальные и меридиональные напряжения.

Задание. Рассчитать толщину стенки и округлить до толщины стандартного листа (1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм). Проверить применимость расчетной методики по условию тонкостенности $D > 20s$.

3.4. Форма и размеры элементов конструкции (рис.2)

С целью выполнения качественной сварки толщина стенки штампованного днища применяется равной толщине обечайки.

Форма днища выбирается из условия равнопрочности с обечайкой. Так как напряжения в сферической оболочке в 2 раза меньше, чем в цилиндрической того же диаметра, то условие равнопрочности означает, что максимальный радиус кривизны днища должен быть в 2 раза больше радиуса кривизны цилиндрической оболочки, т.е. равным ее диаметру.

Рекомендуемой формой днища является форма, образованная дугами двух окружностей радиусами $R_1 = D$, $R_2 = D/3$, высотой $H = D/4$.

Размеры отбортовки и зигов назначаются из условий технологичности, изложенных в п. 4.3 и 4.5.

Ширина $\delta_{об}$ обечайки рассчитывается при заданном объеме баллона (бака) из условия

$$V = V_{об} + 2V_{дн},$$

где $V_{об} = \pi D^2 \delta_{об} / 4$, $V_{дн} = \pi D^3 / 24$ - соответственно объемы обечайки и днища.

Герметизация изделия при подстыковке его к функциональной системе осуществляется резиновыми уплотнительными кольцами круглого сечения. Для этой цели штуцер имеет входной цилиндрический поясок, фланец - канавку.

Диаметр α болтов фланцевого стыка и их количество определяется расчетом на прочность. Рекомендуется применять болты с $\alpha = 6...10$ мм и шагом их установки по окружности равным $(4...8)\alpha$

Задание. Рассчитать или назначить размеры конструктивных элементов изделия.

3.5. Выполнение оборочного чертежа

Оборочный чертеж баллона (бака) выполнить на формате А1 в масштабе 1:1. Тонкостенные элементы, например, толщину листов размерами менее 2 мм изобразить с отступлением от принятого масштаба в сторону увеличения.

На чертеже должны быть проставлены габаритные и присоединительные размеры, а также все размеры днищ и обечайки, необходимые для их изготовления. При этом в графе "Примечание" спецификации записывается для обечайки и днища индекс БЧ (без чертежа), а сортament и марка материала указываются под наименованием детали.

В основной надписи проставить обозначение документа, например, КИ-024-05-89.00 СБ (последние две цифры - для обозначения деталей).

Над основной надписью расположить техническую характеристику изделия и технические требования с соответствующими заголовками. В технической характеристике указать рабочую среду, рабочее давление (МПа), объем (дм³), а в технических требованиях - точность (допуски) сборки деталей перед сваркой, требования к сварке, физический метод контроля качества сварки, параметры упрочнения ШЦ, методы испытаний на прочность и герметичность, испытательное давление, группу герметичности, информацию маркировки.

4. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА БАЛЛОНОВ И БАКОВ

4.1. Раскрой листовых материалов

Производство баллонов (баков) начинается с раскроя листовых материалов на заготовки для днищ и обечайек. Прямолинейный раскрой

рекомендуется проводить на гибкотинных ножницах, криволинейный - на роликовых ножницах, вырубкой в штампах на прессах, фрезерованием на программно-управляемых станках, на установках для программной лазерной резки. Последний метод рационально применять для раскроя стальных и титановых листов.

Основным требованием к раскрою является наилучшее (с минимальными отходами) использование материала листа, т.е. обеспечение наибольшей величины коэффициента использования материала

$K_{\text{ин}} = n A_3 / A_1$, где n - количество получаемых из стандартного листа заготовок, A_3 и A_1 - соответственно площади заготовки и исходного листа.

Размеры заготовок для листовой штамповки рассчитываются из условия равенства площадей поверхностей заготовок и деталей с учетом технологических припусков.

Размеры прямоугольной заготовки для обечайки определяются так: длина $l = \pi(D - s)$, ширина $b = b_{\text{об}} + 2\Delta l + 2\delta$, где $b_{\text{об}}$ - заданная в чертеже ширина обечайки; Δl - увеличение ширины заготовки за счет одного зига (п. 4.5); δ - односторонний припуск на обрезку или торцовку. Для рекомендуемых размеров зигов $\Delta l = s$, минимальный технологический припуск (припуск на торцовку) $\delta = s$, поэтому минимальная ширина заготовки $b = b_{\text{об}} + 4s$.

Диаметр D_3 круглой заготовки для днища зависит от выбранных методов штамповки-вытяжки (п. 4.2), предусматривающих различные припуски на обрезку. В частности, при гидровзрывной и гидроимпульсной штамповке тонкостенных днищ диаметром $D = 200 \dots 350$ мм и высотой $H = D/4$ можно принимать $D_3 = (1,3 \dots 1,35) D$ (меньшие значения D_3 относятся к большим значениям D), а при штамповке с применением кольцевой матрицы $D_3 = 1,2 D$.

Задание. Рассчитать размеры заготовок для обечайки и днищ. Назначить методы раскроя. Привести схемы выбранных методов. Подобрать из номенклатуры стандартных листов исходный лист с оптимальными размерами $L \times B$ и составить карту его раскроя, обеспечив $K_{\text{ин}}$. Размеры стандартных листов: длина L (мм) - 2000, 2500, 3000, ширина B (мм) - 1000, 1250. Рассчитать основные параметры технологических процессов. При лазерном раскрое выбрать модель лазера, рассчитать скорость резки, зону термического влияния и продолжительность процесса.

4.2. Штамповка-вытяжка днищ

Эту операцию рекомендуется проводить на механических или гидравлических прессах с использованием верхней кольцевой матрицы, на прессах штамповки резиной с применением формоллона (пуаноона) и неподвижной прижимной опоры, на установках для гидровзрывной и гидросим. льной штамповки. Импульсные методы штамповки обеспечивают наибольшую точность деталей.

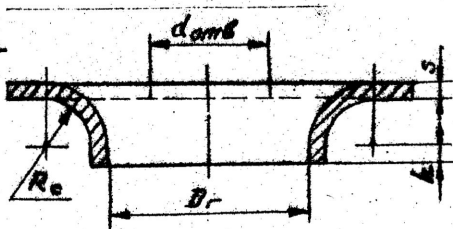
Задание. Выбрать и описать метод штамповки-вытяжки, привести схему процесса, рассчитать технологические параметры выбранного метода: диаметр заготовки, усилие вытяжки, необходимое давление эластичной орады, массу заряда ВВ, энергию и окрость бойка пресо-пушки.

4.3. Пробивка и отбортовка отверстий

Пробивку и отбортовку отверстий рекомендуется проводить на механических прессах в инструментальных штампах.

Диаметр технологического отверстия $d_{отв}$ под отбортовку зависит от заданных в чертеже детали диаметра горловины D_r , радиуса R_c сопряжения борта со стенкой, длины h цилиндрического участка и назначенного припуска на торцовку (рис.3).

Не учитывая изменения толщины стенки при отбортовке и принимая припуск на торцовку равным 0,53, величину $d_{отв}$ можно определять из условия равенства развертки борта ширине деформируемого участка



$$d_{отв} = D_r - (2h + 1/4 R_c + 0,53).$$

Рис.3. Геометрия отбортованного отверстия

Коэффициент отбортовки $K_{отв} = D_r / d_{отв}$ не должен превышать предельного $K_{отв}^{пред}$, зависящего от марки материала, относительной толщины s/D_r и способа обработки (пробивка, сверление, зачистка, полирование) кромок технологического отверстия. При зачистке и полировании кро-

мок отверстия, полученного пробивкой, ориентировочные значения $K_{отв}$ при $s/D_r = 0,01...0,1$ составляют для алюминиевых сталей 1,3...1,8, сталей - 1,5...2,0, титановых сплавов 1,2...1,7, причем большие значения относятся к большим относительным толщинам.

Задание. Рассчитать диаметр технологического отверстия под отбортовку, приняв $k = 5$ мм, припуск на торцовку q_{53} , $R_c = 43$ для алюминиевых сплавов, $R_c = 53$ для сталей, $R_c = 63$ для титановых сплавов. Вычислить $K_{отв}$ и при $K_{отв} > K_{отв}^{доп}$ увеличить выбранный диаметр D_r . Привести схемы пробивки и отбортовки отверстия в инструментальных штампах. Определить усилия пробивки и отбортовки.

4.4. Гибка-овертка

Обечайки баллонов и баков рекомендуется изготавливать гибкой-оверткой листовых заготовок с последующей сваркой продольного отыка. Операция проводится на двухвалковой листогибочной машине, один из валков которой имеет эластичное (полиуретановое) покрытие, другой представляет собой сменную гибочную оправку (рис. 4).

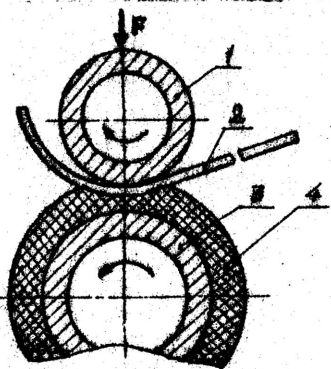


Рис. 4. Схема гибки-овертки плоской заготовки в трубчатую на двухвалковой листогибочной машине с эластичным валком: 1 - гибочная оправка, 2 - изгибаемый лист, 3 - приводной валок, 4 - эластичное покрытие

Задание. Привести схему процесса с описанием последовательности действий; рассчитать радиус гибки под нагрузкой, диаметр гибочной оправки, изгибающий момент; построить качественную эпюру остаточных напряжений по толщине листа и определить их величину на поверхности.

4.5. Формовка зигов (зиговка)

Формообразование зигов на обечайках осуществляется давлением эластичной среды, жидкости, магнитного поля. Давление жидкости может передаваться через резиновую оболочку или непосредственно на заготовку и иметь как статический, так и дина-

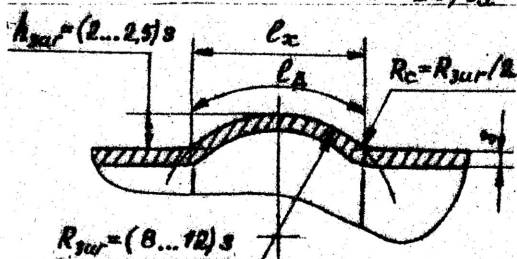
мический характер. К импульсным методам формообразования относятся гидроимпульсная штамповка на пресо-пушках, а также гидро-взрывная, электрогидроимпульсная, магнито-импульсная.

Операция загибки всеми вышеуказанными методами может проводиться совместно с операцией калибровки концов обечайки (п. 4.6). В случае раздельного выполнения этих операций загибка осуществляется на элипсомашинах между двумя вращающимися роликами. При загибке статическим давлением его величина оценивается формулой

$$p = \sigma_r s / R_{sur}.$$

Возможность загибки без разрывов заготовки ориентировочно определяется по относительному удлинению материала в зоне наибольшей деформации

$$\Delta l / l_x = (l_d - l_x) / l_x < \epsilon_d,$$



где l_d , l_x — соответственно длина дуги и хорды окружности зига; ϵ_d — деформация, соответствующая пределу прочности материала (см. табл. 2). Форма зига, обеспечивающая выполнение этого условия, показана на рис. 5.

Рис. 5. Форма зига

Для алюминиевых сплавов рекомендуется принимать $R_{sur} = 8s$ для сталей — 10s, для ВЧД-2 и титановых сплавов 12s. Высота зига $h_{sur} = 2s$ — для $s = (2,5...3)$ мм, $h_{sur} = 2,25s$ для $s = 1,5$ мм, $h_{sur} = 2,5s$ для $s = (1...1,2)$ мм.

Задание. Назначить размеры зига и проверить условие его технологической прочности. Выбрать метод загибки (эту операцию рекомендуется совмещать с операцией калибровки концов обечайки). Привести схему выбранного метода, описать его, рассчитать основные технологические параметры процесса. Для загибки и калибровки деталей из алюминиевых сплавов рекомендуется магнито-импульсное формообразование.

4.6. Калибровка концов обечаек

Калибровка концов обечаек должна осуществляться на длине не менее 15 мм с точностью, обеспечивающей требуемое смещение кромок свариваемых деталей.

Методы калибровки раздачей, позволяющие совмещать эту операцию с операцией зиговки, были приведены в п.4.5.

Рабочий диаметр D_m калибрующей матрицы назначается из условия упругого пружинения и возникновения пластических деформаций калибруемой детали

$$D_m = D(1 + \epsilon_T),$$

где $\epsilon_T = \sigma_T / E$ - деформация, соответствующая разгрузке и началу пластической деформации.

Для раздельной калибровки трубчатых заготовок используется метод "раздача-обжатие", заключающийся в обжатии трубы четырехсекторной матрицей или раздаче ее восьмисекторным пуансоном. Если труба имеет диаметр меньше номинального, то она раздается, если больше - обжимается до номинального размера.

Для калибровки трубчатых заготовок из титановых сплавов можно применять метод термофиксации, заключающийся в одновременном нагреве трубы и оправки в вакуумной печи до температуры 600... 700°C. При этом за счет разности коэффициентов линейного расширения материалов происходит пластическая деформация калибруемой заготовки. Материал оправки - сталь ЭИ654 с $\alpha = 21 \cdot 10^{-6}$ 1/град. Для титановых сплавов $\alpha = 8 \cdot 10^{-6}$ 1/град.

Контроль калиброванного диаметра жестких деталей производится на конусных оправках (для устранения овальности) штангенциркулем с ценой деления 0,05 мм.

Перед операциями зиговки и калибровки продольный сварной шов должен быть защищен заподлицо с основным материалом или калибруемая матрица должна иметь конструкцию, исключающую деформацию материала в околошовной зоне.

Задание. Выбрать метод калибровки с совмещением операции зиговки. В качестве расчетного давления калибровки принять давление, обеспечивающее формообразование зигов. В случае, если материал обечайки - титановый сплав, рекомендуется в качестве калибровочной операции использовать термофиксацию.

4.7. Обрезка припусков и торцовка

Обрезку технологического припуска тонкостенных деталей диаметром более 100 мм рекомендуется производить на роликовых ножницах или специализированных станках.

В качестве инструмента для обрезки деталей из титановых сплавов используют алмазный круг, алюминиевых сплавов – дисковую фрезу, нержавеющей сталей – абразивный круг. Обрезку деталей из титановых сплавов и нержавеющей сталей необходимо проводить с обильным охлаждением зоны резки.

Торцовка заключается в удалении заусенцев на кромках деталей после обрезки и обработки торцов деталей с технологическим припуском. Обработка торцов может осуществляться пневмодрелью с применением специальных шарошек, а также на специализированных и токарных станках. Шероховатость обработанных торцов не должна быть больше $R_{\text{a}} 20$ для деталей из алюминиевых сталей и сталей и $R_{\text{a}} 10$ – для титановых сплавов.

Задание. Выбрать методы и средства обрезки припусков на днищах и торцовки кромок обечайки отбортованных отверстий. Указать параметр шероховатости после обработки.

4.8. Изготовление штуцеров и фланцев

Штуцера и фланцы изготавливаются обработкой резанием на металлобрабатывающих станках – токарных, фрезерных, сверлильных. Рекомендуемый вид заготовки для штуцеров – круглый или шестигранный прокат, для фланцев – штамповка или толстолистовой прокат.

Особо трудоемкой операцией является сверление контрольных отверстий штуцеров диаметром 1...1,5 мм. С целью уменьшения трудоемкости механическое сверление может быть заменено электроискровой прошивкой или многоимпульсной лазерной прошивкой.

Задание. Составить маршрутные карты обработки штуцера и фланца с указанием вида заготовки. При использовании электроискровой прошивки или лазерной прошивки контрольных отверстий привести схему и описание процесса.

4.9. Сварка

Для выполнения сварных соединений тонкостенных деталей из легированных и нержавеющей сталей, алюминиевых и титановых сплавов

рекомендуется применять аргонодуговую сварку неплавящимся (вольфрамовым) электродом с прищадочной проволокой или без нее. Возможно использование также плазменной и лазерной сварки.

Информация о сварке должна быть указана на чертеже изделия. Если сварные швы выполняются по одному стандарту, то его обозначение приводят в технических требованиях, а на чертеже указывают только расположение швов линиями-выносками без полок. Пример записи в технических требованиях информации о сварных швах отко-вых соединений без окоса кромок, выполненных автоматической дуговой сваркой в инертном газе неплавящимся электродом с прищадочным материалом, с обработанными напильниками и неровностями с плавным переходом к основному материалу и шероховатостью обработанных поверхностей $R_a \leq 10$ мкм; "Сварные швы по ГОСТ 14806-80-С2-АИИп $\omega R_a 10$ ".

Процесс сварки осуществляется в следующей последовательности: подготовка кромок свариваемых деталей, прихвата, сварка, зачистка и правка (по необходимости), контроль.

Подготовка кромок деталей из сталей и титановых сплавов заключается в зачистке металлической щеткой наружной и внутренней поверхностей на длине не менее 15 мм и дальнейшем обезжиривании салфеткой, омоченной в ацетоне или спирте.

Подготовка деталей из алюминиевых сплавов должна осуществ-ляться так: обезжиривание, травление в водном растворе $NaOH$, промывка в теплой и затем в холодной воде путем 2-3-кратного оку-пания, осветление в водном растворе HNO_3 , промывка, сушка.

При сборке деталей перед сваркой местные зазоры и осеждения кромок не должны превышать 0,15 мм при толщине стенок $\delta = 1...3$ мм.

Прихватка деталей проводится с помощью стальных хомутов или на оправках не менее чем в 3-х точках равномерно по окружности ручной сваркой без окисного проплавления и без прищадки.

Для выполнения длинных прямолинейных и кольцевых швов целесо-образно применять автоматическую сварку, обеспечивающую наилуч-шее качество швов и высокую производительность. Скорость автоматической сварки обычно составляет 10...30 мм/с.

Для обеспечения качественной защиты от взаимодействия с воз-духом прихватку и сварку титановых сплавов необходимо выполнять в аргоновых камерах с контролируемой атмосферой.

При сварке без прищадочной проволоки допускается провисание шва до 10 % толщины стенки.

Правка кольцевых швов в зоне приварных фланцев производится между двумя вращающимися роликами с усилием сжатия, обеспечивающим пластическую деформацию околошовной зоны. Допустимый перекося фланца относительно опорной плоскости не более 0,5 мм.

Для оценки качества сварных соединений применяются следующие виды контроля:

- внешний осмотр на отсутствие трещин, подрезов, прожогов с помощью лупы 6-8-кратного увеличения;
- определение размеров швов с помощью измерительных инструментов и шаблонов;
- метод капиллярной дефектоскопии (люминесцентный или цветной) для выявления дефектов, выходящих на поверхность;
- рентгеновский метод для выявления наружных и внутренних дефектов;
- ультразвуковой (акустический) метод;
- испытания на прочность и герметичность.

Физический метод неразрушающего контроля должен быть указан в чертеже изделия, например, так: "Контроль сварных швов - рентгеновский".

Задание. Описать последовательность выполнения сварных соединений, выбрать метод сварки (аргодуговой, лазерный, плазменный), привести схему выбранного метода сварки, схему правки, описать выбранные методы контроля.

4.10. Термообработка

Основным видом термической обработки материалов бабблеров и баков является отжиг для устранения наклана и снятия внутренних напряжений после обработки давлением, сварки и правки. Отжигу подвергаются детали из ЗОМТИА, ВИС, титановых сплавов. Режимы термообработки конкретных марок материалов изложены в инструкциях ВИАМ.

Отжиг титановых сплавов необходимо осуществлять в вакуумных печах ($T = 600...650^{\circ}\text{C}$) для устранения газонасыщения и охрупчивания поверхностного слоя.

С целью уменьшения термического коробления жестких тонкостенных изделий термообработку рекомендуется проводить в специальных приспособлениях.

4.11. Химическая обработка (нанесение покрытий)

Химическая обработка изделий из сталей и алюминиевых сплавов осуществляется по следующей технологической схеме: обезжиривание, травление (кислотное – для сталей, щелочное – для алюминиевых сплавов), промывка в проточной воде или с использованием барботажа, нанесение химического покрытия (Хим.Пас. – пассивирование – для нержавеющих сталей, Хим.Фос. – фосфатирование – для низколегированных сталей, Хим.Окс. – оксидирование – для алюминиевых сплавов), промывка в воде, сушка.

Титановые сплавы не рекомендуется подвергать химической обработке после вакуумного отжига из-за возможного наводороживания и оруптивания поверхностного слоя.

Приведенная информация о химической обработке носит справочный характер. Подобные сведения изложены в отраслевых стандартах и инструкциях ВИАМ.

Задание. Описать технологический процесс нанесения химического покрытия.

4.12. Упрочнения ШИД

Поверхностным пластическим деформированием (ШИД) упрочняются участки изделий с концентраторами напряжений и неблагоприятными остаточными напряжениями. Такими участками для баллонов и баков являются сварные швы, околосварные зоны, закругления отбортовок. Главная цель упрочнения – создание в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия и, как следствие, повышение усталостной прочности и ресурса изделий, работающих при переменных нагрузках.

Основным методом ШИД является дробеударный: поток стальных шариков диаметром 0,5...2 мм направляется со скоростью 5...50 м/с на обрабатываемую поверхность и упрочняет ее. Процесс проводится на дробометных, вибрационных, ультразвуковых, пневмо- и гидродробеструйных установках. При "мокрой" упрочнении уменьшаются нагрев поверхностного слоя и износ шариков.

Толщина упрочненного слоя после обработки примерно равна диаметру единичного отпечатка, параметр R_a шероховатости – половина его глубины, а продолжительность процесса оценивается из условия 5-кратного покрытия отпечатками шариков упрочняемой поверхности. Остаточные напряжения сжатия распределены неравномерно на глу-

бине упрочненного слоя и максимум этих напряжений вблизи поверхности примерно равен пределу текучести обрабатываемого материала.

Эффективность ПЦ оценивается при усталостных испытаниях упрочненных и неупрочненных изделий на гидростендах с пульсирующим давлением жидкости или вибростендах.

Необходимость упрочнения определяется конструктором изделия и отражается в чертеже, например, так: "Сварные швы и окошковые зоны шириной 20 мм упрочнить ПЦ на глубину 0,2 мм.

Задание. Выбрать способ дробеударного упрочнения, привести схему обработки. Рассчитать скорость соударения и диаметр шариков из условия обеспечения выбранных глубины упрочнения и параметра R_z шероховатости.

Примечание. Глубину упрочнения рекомендуется назначать равной $0,15 s$ (s — толщина стенки), а параметр шероховатости — не большим $0,005 s$.

4.13. Испытания на прочность

Испытания на прочность проводятся путем создания избыточного давления жидкости или (иногда) газа внутри изделия, выдержки под давлением и последующей оценки внешнего состояния изделия.

Давление опрессовки принимается равным $1,25 p$, где p — рабочее давление. Величина испытательного давления, испытательная среда и время выдержки должны быть указаны в технических требованиях чертежа изделия, например, так: "Баллон испытать на прочность давлением воды с хромпиком 15 МПа в течение 5 минут".

Подсоединительные штуцера и заглушки должны имитировать функциональные элементы. Моменты затяжки резьбовых соединений указываются в технологической документации.

Опрессовка изделий осуществляется чаще всего жидкостью — маслом АМГ-10, водопроводной водой с хромпиком, дистиллированной водой. Если давление опрессовки меньше 2 МПа, то в качестве испытательной среды допускается использовать воздух, а испытания проводить в ванне с водой, расположенной в защитном устройстве.

Испытания проводятся на стенде, в состав которого могут входить следующие элементы: насос, баки с испытательной жидкостью или баллоны с испытательным газом, фильтр, предохранительный и редукционный клапаны, манометры, краны, ванна, коллектор для подсоединения

нения объектов испытаний и др. Изделие считается выдержавшим испытание, если на нем нет видимых утечек, деформаций, трещин.

После испытаний изделия производится промывка и сушка.

Задание. Назначить испытательную среду, испытательное давление, время выдержки. Рассчитать момент затяжки болтов при установке заглушки на фланец изделия. Разработать принципиальную гидравлическую (или пневматическую) схему испытательного стенда и описать порядок работы на нем.

4.14. Контроль герметичности

Контроль герметичности проводится путем создания избыточного давления газа или (иногда) жидкости внутри изделия, выдержки под давлением и последующей оценки утечек контрольного вещества.

Давление опрессовки при контроле герметичности должно быть не менее рабочего давления, но не более давления испытания на прочность. Величина этого давления, время выдержки, контрольная среда, а также группа герметичности должны быть указаны в технических требованиях чертежа изделия, например, так: "Баллон испытать на герметичность давлением смеси гелия с воздухом 10 МПа в течение 5 минут. Группа герметичности 2-5 ГОСТ 100128-74".

Нормы герметичности (нормы утечек) устанавливаются в зависимости от назначения изделий и измеряются в единицах расхода жидкости ($\text{см}^3/\text{с}$) или в единицах газового потока ($\text{м}^3 \text{ Па}/\text{с}$). Группы и соответствующие им нормы герметичности изделий, работающих под давлением жидкости и газов приведены в табл. 4.

При назначении норм и группы герметичности изделий с фланцевыми стыками, уплотняемыми резиновыми кольцами, следует учитывать, что минимальный расход утечек составляет $10^{-7} \text{ см}^3/\text{с}$ на 1 метр периметра стыка.

Контроль изделий (кроме изделий кислородной системы) на герметичность следует проводить рабочей средой или средой, вязкость которой меньше вязкости рабочей среды. Для контроля изделий кислородной системы необходимо использовать воздух, азот или гелий.

В случае использования для контроля герметичности другого (не рабочего) вещества, но одинакового с рабочим агрегатного состояния, следует учитывать, что утечки обратно пропорциональны динамической вязкости веществ.

Наиболее часто применяемые газы и жидкости имеют при нормальной температуре значения динамической вязкости ($\text{мПа}\cdot\text{с}$): воздух -

Таблица 4

Группы и нормы герметичности изделия по ОСТ 100128-74

Изделия, работающие под давлением жидкости		Изделия, работающие под давлением газа	
Группа герметичности	Норма $\text{см}^3/\text{с}$, не более	Группа герметичности	Норма Па.л/с , не более
I-1	10^{-12}	2-1	$1,3 \cdot 10^{-10}$
I-2	10^{-11}	2-2	$1,3 \cdot 10^{-8}$
I-3	10^{-10}	2-3	$1,3 \cdot 10^{-6}$
I-4	$2 \cdot 10^{-10}$	2-4	$1,3 \cdot 10^{-5}$
I-5	10^{-9}	2-5	$1,3 \cdot 10^{-4}$
I-6	$2 \cdot 10^{-9}$	2-6	$1,3 \cdot 10^{-3}$
I-7	10^{-8}	2-7	$2,6 \cdot 10^{-3}$
I-8	10^{-6}	2-8	$1,3 \cdot 10^{-2}$
I-9	$3 \cdot 10^{-5}$	2-9	$2,6 \cdot 10^{-2}$
I-10	$5,5 \cdot 10^{-5}$	2-10	$1,3 \cdot 10^{-1}$
I-11	$8,5 \cdot 10^{-5}$	2-11	$1,3 \cdot 10$
I-12	$1,4 \cdot 10^{-4}$	2-12	$6,6 \cdot 10^2$
I-13	$2,8 \cdot 10^{-4}$		
I-14	$5,5 \cdot 10^{-4}$		
I-15	10^{-3}		
I-16	$2,8 \cdot 10^{-3}$		
I-17	$1,5 \cdot 10^{-2}$		
I-18	$4 \cdot 10^{-2}$		
I-19	$8,5 \cdot 10^{-2}$		
I-20	$1,5 \cdot 10^{-1}$		

Примечание. Утечки более $1,5 \cdot 10^{-1} \text{ см}^3/\text{с}$ и $6,6 \cdot 10^2 \text{ Па.л/с}$ указываются в технической документации численно.

0,018, кислород - 0,020, углекислый газ - 0,015, гелий - 0,020, азот - 0,018, вода - 1,0, керосин - 2,2, смазочное масло - 170, гидравлическая жидкость (масло АМГ-10) - 20.

Метод контроля герметичности назначается в зависимости от установленной группы герметичности изделия (табл.5), требований экономичности и техники безопасности.

Таблица 5

Методы контроля герметичности

Метод контроля герметичности	Диапазон контролируемых групп герметичности
Метод радиоактивных меток	I-1...I-16; 2-1...2-5
Керосино-меловой метод	I-8...I-16
Гидростатический метод	I-7...I-16
Пневмогидравлический метод	I-9...I-17; 2-6...2-11
Пневматический метод	I-7...I-17; 2-6...2-11
Массо-спектрометрический метод	I-7...I-20; 2-5...2-7
Манометрический метод	I-9...I-20; 2-7...2-12
Метод мерных емкостей	I-17...I-20

Наиболее применяемыми методами являются гидростатический, пневмогидравлический, пневматический, масс-спектрометрический (способ "шупа").

При гидростатическом методе изделие заполняется жидкостью под давлением и после выдержки производится осмотр изделия и индикация течей фильтровальной или копировальной бумагой. Изделие считается герметичным, если при проверке не обнаружено следов отпотевания и наличия пятен жидкости, например, масла на бумаге.

При пневмогидравлическом методе изделие погружается в ванну с водой, внутри изделия создается избыточное давление воздуха и ведется наблюдение за проверяемой поверхностью. Изделие считается герметичным, если на проверяемой поверхности не появились пузырьки воздуха.

При пневматическом методе изделие заполняется азотом или воздухом под давлением, на проверяемые места наносится пенообразующий состав, например, мыльная эмульсия и ведется визуальное наблюдение. Оценка герметичности производится по наличию или отсутствию пузырьков газа в пенообразующем составе.

При масс-спектрометрическом методе способом "шупа" изделие заполняется гелием или его смесью с воздухом под давлением, затем по проверяемым участкам перемещают шуп, соединенный шлангом с гелиевым (масс-спектрометрическим) течеискателем типа ПТИ. При прохождении шупа над течью, гелий, вытекающий из нее, засасывается в шуп и фиксируется течеискателем. О величине течи судят по отклонению стрелки регистрирующего прибора.

При выборе метода контроля рекомендуется отдавать предпочтение тем методам, которые позволяют совмещать операции испытаний на прочность и контроль герметичности с одного подключения. Процесс испытаний в этом случае следует вести так: испытания на прочность, сброс давления и осмотр изделия, контроль герметичности.

Задание. Назначить норму и группу герметичности, метод контроля, контрольную среду, давление и время выдержки, разработать принципиальную пневматическую (или гидравлическую) схему контрольного стенда и описать порядок работы на этом стенде.

4.15. Промывка

Технологический процесс промывки заключается в очистке внутренней поверхности изделия водными растворами моющих средств, нейтрализации (отмывке) их остатков вначале горячей, затем холодной водой, сушке чистым сухим воздухом ($T = 50 \dots 60^\circ\text{C}$), контроле и укупорке.

Промывка осуществляется одним из следующих методов: прокачкой моющей жидкости, сартотажем воздуха в полости изделия или в ванне, заполненной моющей жидкостью, в ультразвуковой ванне с моющим раствором. Ультразвуковой метод очистки позволяет удалять окалину после сварки и другие трудноудаляемые традиционными методами загрязнения.

Контроль чистоты наружных поверхностей производится визуально или по чистоте салфеток "на отсутствие пятен". Чистота внутренних поверхностей определяется коловенным методом, путем прокачки чистой воды через изделие и контрольный фильтр с тонкостью фильтрации 12...16 мкм. На фильтре не должно быть механических примесей и пятен.

Укупорка заключается в постановке металлических заглушек, контровке проволокой и пломбировании.

Задание. Описать выбранный процесс промывки, привести схему прокатного станда или ультразвуковой ванны для промывки изделия.

4.16. Окраска

Окраска наружных поверхностей баллонов и баков проводится с целью предохранения их от коррозии.

Цвет окраски определяется назначением изделия: детали воздушной системы окрашиваются в черный цвет, топливной — в желтый, масляной — в коричневый, гидравлической — в синий, кислородной — в голубой, противопожарной — в красный, водяной — в светло-зеленый.

Изделия из нержавеющей стали и титановых сплавов допускается не окрашивать полностью, а наносить только опознавательные кольца соответствующего цвета.

Метод химической подготовки поверхности к окраске, грунт, эмаль, цвет указываются в технических требованиях чертежа, например, так: "Покрытие: Хим.Пас.лкл / грунт, эмаль голубая".

Процесс окраски выполняется в следующей последовательности: обезжиривание путем протирки поверхностей смоченной спиртом или бензином салфеткой, грунтовка, сушка, зачистка наждачной шкуркой № 00, обезжиривание, окраска эмалью, сушка, контроль качества по эталону.

Грунтовку и окраску баллонов и баков рекомендуется проводить в электростатическом поле. Этот метод увеличивает производительность за счет автоматизации процесса, уменьшает потери лакокрасочных материалов, улучшает условия труда.

Процесс сушки рекомендуется проводить при повышенной температуре ($T = 100...150^{\circ}\text{C}$), например, в радиационно-конвекционных сушильных камерах. Горячая сушка сокращает продолжительность процесса, повышает адгезию, твердость и прочность покрытий.

Задание. Описать процесс окраски, привести схемы установок для электростатической окраски и горячей сушки.

4.17. Маркирование

Маркирование неокрашенных тонкостенных деталей авиационной техники может проводиться электрохимическим, электроискровым или лазерным методами с глубиной буквенно-цифровых знаков не более 0,05 мм.

Информация маркировки для окрашенных баллонов и баков печатается на бумажном трафарете, который затем приклеивается к изделию нитроклеем с дальнейшим покрытием бесцветным нитролаком.

Метод маркирования и информация должны быть указаны в технических требованиях чертежа, например, так: "Маркировать на трафарете название и номер изделия, рабочее и испытательное давление, дату изготовления. Трафарет приклеить и покрыть бесцветным нитролаком". Место маркировки необходимо указать.

Задание. Назначить и описать метод маркирования.

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Основными рабочими технологическими документами являются маршрутные и операционные карты.

Маршрутная карта предназначена для описания последовательности (маршрута) изготовления изделия по стандартным или типовым операциям и содержит следующую информацию: обозначение и наименование детали; обозначение, наименование или содержание операций; код профессии исполнителя и тарифной сетки; разряд работы; нормы подготовительно-заключительного и штучного времени; количество деталей, на которое установлена норма времени; объем производственной партии в штуках.

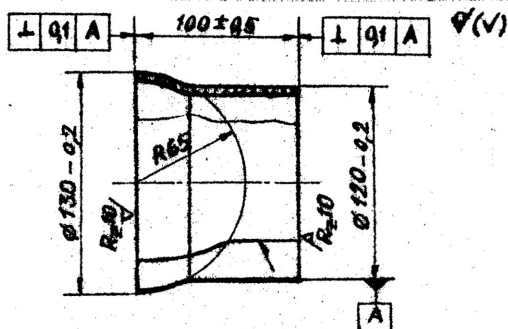
Операционная карта служит для описания стандартных и типовых операций с указанием методов и приемов их выполнения. В операционной карте приводятся: обозначение и номер детали (изделия); наименование операции; содержание переходов; нормы основного времени на переход; наименование и модель оборудования; коды и наименования приспособлений, вспомогательного, режущего и измерительного инструментов.

В курсовом проекте следует разработать по указанию руководителя технологические маршруты изделия, входящих деталей (длина, обечайки, штуцера, фланца), деталей штамповой оснастки и др. Типовые примеры оформления таких документов, по форме и содержанию несколько отличающихся от принятых на производстве, приведены в приложении.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Авиационные материалы: Метод. указания и рекомендации для выполнения курсовых и дипломных проектов / В.С.Белоусов, А.Д.Лисунов, Б.К.Смирнов, В.М.Степанов; Новосиб. электротехн. ин-т. - Новосибирск, 1985.
2. Лазерная обработка материалов: Метод. указания и рекомендации для выполнения курсовой работы / В.С.Белоусов, А.К.Карпец; Новосиб. электротехн. ин-т. - Новосибирск, 1987.
3. Гидроверывная штамповка листовых деталей: Метод. указания для лабораторной работы / В.С.Белоусов; Новосиб. электротехн. ин-т. - Новосибирск, 1985.
4. Денкер Н.Н., Владимирский В.Н. Технология окраски самолетов и вертолетов гражданской авиации. - М.: Машиностроение, 1988. - 128 с.
5. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. - М.: Машиностроение, 1985. - 184 с.
6. Технология самолетостроения: Учебник для авиационных вузов / А.А.Асибов, Н.М.Вялков, В.В.Бойцов и др.; Под ред. А.Л.Асибова. - М.: Машиностроение, 1982. - 551 с.

Маршрут обработки патрубка



Вид заготовки -
лист 2000x1000x1,5
Материал - 12Х18Н10Т

Опера-ция	Наименование или со-держание операции	Оборудо-вание	Приспо-собление	Инстру-мент
I05	Рубить лист на поло-сы и карточки 372 x 210	Гильотин-ные нож-ницы		
II0	Снять заусенцы и зачистить кромки	Верстак		Напильник
II5	Свернуть заготовку в трубу ϕ 120, δ = 10	Листоги-бочная машина		Гибочная оправка
I20	Варить ААрДЭС	Сварочная машина	Сварочное приспособл.	
I25	Люминесцентный конт-роль сварного шва	Приборы и материалы для конт-роля		
I30	Штамповать	Установка для формообразо-вания		Разъемная матрица
I35	Разрезать на 2 час-ти и торцевать их с обеспечением разме-ра 100±0,5	Токарный станок	Оправка	Резец
I40	Контроль размеров		Циркуль	Штангенцир-куль, шаблон, угольник
I45	Химическая обработ-ка: Хим.Пас	Ванны	Подвески	
I50	Маркировать на бир-ке			