

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

Назаров Эркин Мухамедович, Абдужабаров Нуриддин Анварович

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Учебное пособие для студентов авиационных высших учебных заведений по
направлению бакалавриата 5310400 - «Авиастроение и техническая
эксплуатация воздушных судов»

*Допущено
Министерством высшего и среднего специального
образования Республики Узбекистан
в качестве учебного пособия для студентов высших
технических учебных заведений*

Ташкент - 2013

Назаров Э. М., Абдужабаров Н.А. Технология изготовления деталей летательных аппаратов. – Ташкент.

Рецензенты:

К.Б.Усманов – к.т.н., профессор кафедры «Авиастроение» ТашГТУ

И.Н.Гагиев – Главный технолог ГАО «ТАПОиЧ»

Учебное пособие «Технология изготовления деталей летательных аппаратов» включает в себя ряд разделов, освещающих процессы изготовления деталей летательных аппаратов из листовых, профилированных, трубчатых и других полуфабрикатов путем раскроя и штамповки. Приведены сведения о материалах, используемых для штампованных деталей. Рассмотрены способы получения точных форм и размеров деталей. Учебное пособие рассчитано для бакалавров по направлению 5310400 – «Авиастроение и техническая эксплуатация воздушных судов», 5310500 – «Автомобилестроение и тракторостроение».

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие написано для студентов технических вузов, обучающихся по направлению “Авиастроение и техническая эксплуатация воздушных судов”.

Заготовительно-штамповочные работы представляют собой процессы обработки, основанные на пластической деформации материалов и позволяющие получать разнообразные по форме, размерам и назначению детали, изготавливаемые из металлических и неметаллических листов, лент, профилей и труб. В силу специфичности конструкции летательных аппаратов заготовительно-штамповочные работы являются одним из основных процессов изготовления деталей. Холодной штамповкой перерабатываются 70-80% от веса всех материалов летательного аппарата, стоимость которых составляет около 40% стоимости изготовления летательного аппарата (самолета). В самолетостроении трудоемкость заготовительно-штамповочных работ составляет 10-12% от общей трудоемкости изготовления самолетов.

Возрастающая возможность оборудования, применяемого для заготовительно-штамповочных работ, позволяет изготавливать крупногабаритные детали из листового и профилированного материала, т. е. заменить сварные и клепаные узлы цельноштампованными деталями, что отвечает современным тенденциям сокращения количества расчлененных элементов в конструкции летательных аппаратов, что в конечном счёте, снижает общий вес конструкции и трудоёмкость клёпально-сборочных работ.

В книге дана общая характеристика заготовительно-штамповочных работ в производстве летательных аппаратов; классификация характерных деталей самолетов, вертолетов и ракетно-космической техники, получаемые путем холодной штамповки; общая классификация технологических процессов при выполнении заготовительно-штамповочных работ. Приведены технологические схемы выполнения операций резки, гибки, обтяжки, вытяжки и др.

Авторы, учитывая, что заготовительно-штамповочные работы в странах СНГ и других странах пока еще связаны с плазово-шаблонным методом производства, сочли целесообразным ввести в книгу специальную главу, освещающую сущность и методы плазово-шаблонного метода передачи форм и размеров, указанных в чертежах конструкции изделия на детали, узлы и агрегаты летательных аппаратов.

Также рассмотрена эволюция развития методов и средств обеспечения взаимозаменяемости в производстве летательных аппаратов и указана возможность полного перехода на независимый метод обеспечения взаимозаменяемости путем использования современных прогрессивных систем CATIA, UNIGRAPHICS, PRO-Engineer, T-flex, т. е. полного отказа от плазово-шаблонного метода производства.

Рекомендованы методы количественной оценки физических явлений, возникающих при различных операциях, в частности, аналитические зависимости, характеризующие распределение напряжений и деформаций в заготовке, устанавливаемых совместным решением уравнений равновесия и пластичности с использованием характерных для каждой операции граничных условий.

Авторы выражают благодарность за помощь, оказанную в подготовке рукописи книги к изданию Ф. И. Вахидову, А. С. Халилову, Е. В. Когай, А. В. Когай.

Глава I. Основные понятия и определения.

1.1. Сущность технологии заготовительно-штамповочных работ.

Заготовительно-штамповочные работы – это один из способов обработки металлов давлением на специальном оборудовании с использованием технологической оснастки. В литературе эта разновидность штамповки называют листовой штамповкой, а иногда холодной штамповкой.

В зависимости от температуры заготовки и скорости деформации все виды штамповки можно разделить на листовую и объемную штамповку. При листовой штамповке почти не происходит принудительное смещение объемов заготовки и изменение её толщины; требуемые формы и размеры деталей обеспечиваются формоизменением плоской или прямолинейной заготовки путем её пластического деформирования. Основными полуфабрикатами для изготовления деталей холодной штамповкой являются листы, пресованные профили и трубы. При выполнении операций объёмной штамповки заготовки подвергаются существенным изменениям форм и размеров сечений путем принудительного смещения объемов материала заготовки. Исходными полуфабрикатами изготовления деталей для изготовления объемной штамповки могут являться листы большого сечения, прутки, бруски и т.д.

Заготовительно-штамповочные работы включают в себя комплекс различных технологических операций раскроя и формообразования, выполняемые на специализированном оборудовании и различных прессах. Основным инструментом для выполнения этих работ являются штампы различного назначения.

Отличительной чертой листовой штамповки является высокая производительность труда, высокий коэффициент использования материала (КИМ), широкие возможности механизации и автоматизации технологических процессов, достаточная точность воспроизведения размеров деталей, возможность изготовления сравнительно жестких деталей при малых сечениях материала.

В связи с расширением применения трудно деформируемых материалов и крупногабаритных цельноштампованных деталей, имеются тенденции к возрастанию удельной трудоёмкости заготовительно-штамповочных работ.

В таблице 1.2. показана классификация кроенных и штампованных деталей летательных аппаратов изготавливаемых из листов, профилированных и трубчатых полуфабрикатов, число таких деталей для широкофюзеляжных самолетов и космических аппаратов исчисляется десятками тысяч. Из листовых материалов пресованных профилей и монолитных панелей изготавливают при помощи штамповки внешнюю обшивку и панели, элементы шпангоутов, стрингеров, нервюр, лонжеронов, дверей, люков и т.д. Из трубчатых полуфабрикатов изготавливаются детали тяг управления и трубопроводы гидро- и газовых систем различного назначения.

Внешние обшивки, образующие аэродинамический обвод, являются наиболее крупногабаритными и сложными по форме деталями летательных аппаратов.

В таблице 1.1. показаны процентные соотношения трудоемкостей заготовительно-штамповочных работ при изготовлении ряда типовых деталей.

Таблица 1.1.

Доля трудоемкости различных работ от общей трудоемкости заготовительно-штамповочных работ

№	Виды работ	Доля трудоемкости от общей трудоемкости ЗШР, %
1	Изготовление обшивок	15
2	Изготовление деталей из пресованных профилей	25-27
3	Изготовление деталей из трубопроводов	10
4	Штамповка с помощью эластичных сред	15
5	Штамповка сложных по форме деталей на листо-штамповочных молотах	12-14
6	Раскройные работы	12
7	Объемная штамповка	8-10

Заготовительно-штамповочные работы характеризуются большим объемом подготовки производства. Так для серийного производства самолета среднего класса необходимо изготовить: несколько десятков тысяч шаблонов (при плазово-шаблонном производстве); инструментальных штампов 2,5-3 тысячи; свинцово-цинковых штампов 2-2,5 тысячи; оправок и форм-блоков 3,5-4,0 тысячи; несколько сот обтяжных пуансонов.

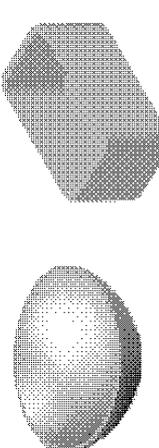
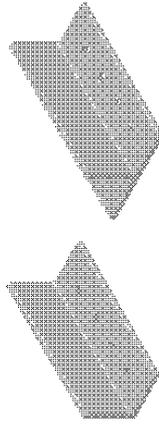
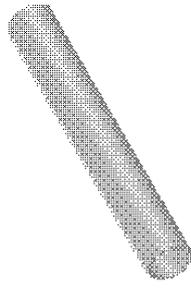
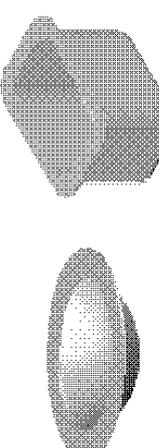
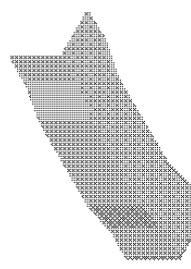
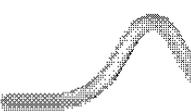
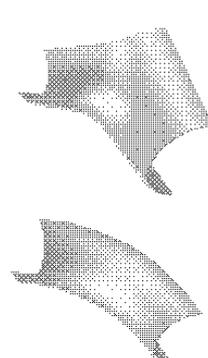
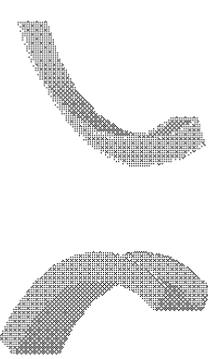
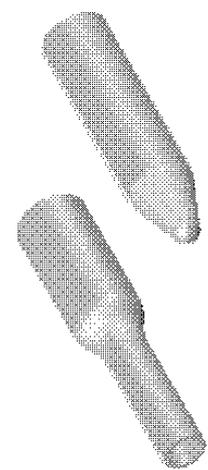
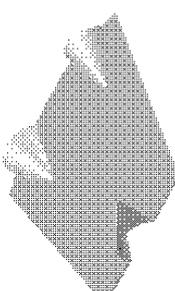
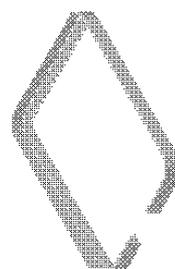
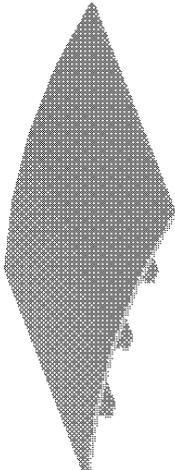
Заготовительно-штамповочные работы в производстве летательных аппаратов имеют существенные отличия от этих работ в общем машиностроении. Это обусловлено специфическими конструктивно-технологическими особенностями объекта производства: сложность форм деталей, специфические свойства применяемых материалов, большие габариты многих деталей и др. Классификация кроенных и штампованных деталей представлена в таблице 1.2.

Большое влияние на выбор методов и средств листовой штамповки и на объем подготовки производства оказывает пока еще имеющий место плазово-шаблонный метод производства. При этом методе форма и размеры деталей определяются специальными взаимно увязанными эталонами, макетами и шаблонами, т.е. осуществляется связанный метод обеспечения взаимозаменяемости.

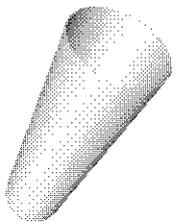
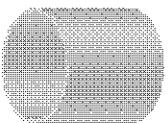
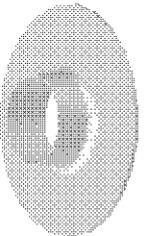
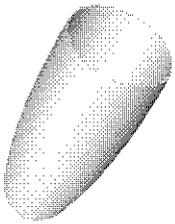
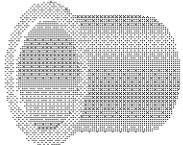
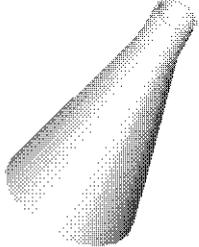
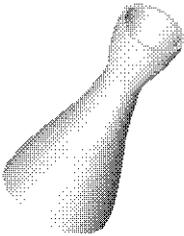
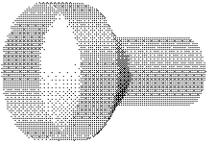
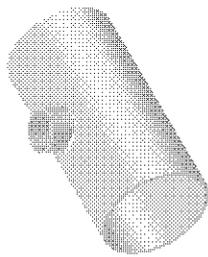
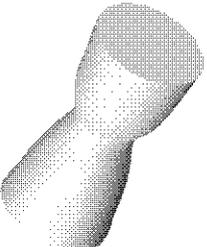
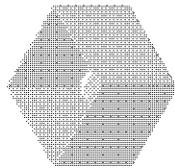
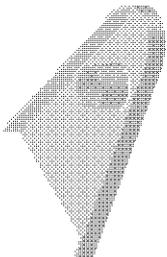
Классификация кроенных и штампованных деталей Таблица №1.2.

I класс. Плоские детали без бортов Круглые диаметром более 150 мм		Тип 1		Тип 3		Тип 2	
Тип 2		Тип 3		Тип 4		Тип 5	
		С прямоугольными контурами		Внутренняя обшивка		С криволинейными резками и вырезами	
Тип 3		Тип 4		Тип 5		Тип 6	
		С криволинейными контурами		Сбои штамповки		С криволинейными резками и вырезами	
II класс. Детали штампованные с эллиптическими срезами Штампуемые в 1 переходе		Тип 1		Тип 5		Тип 4	
Тип 2		Тип 3		Тип 4		Тип 5	
		Штампуемые в 2 перехода		III класс. Детали обивочной кривизны С прямыми резками без вырезов		Детали многогранных кривизны	
Тип 1		Тип 2		Тип 3		Тип 4	

Продолжение таблицы №1.2.

<p><i>Чашеобразные детали без отбортовки</i></p>	<p>Тип 3</p> 	<p>VI класс. Детали из прокатанных профилей</p>	<p>Тип 1</p> 	<p>VIII класс. Детали из труб</p>	<p>Тип 1</p> 
	<p>Тип 4</p> 		<p>Тип 2</p> 		<p>Тип 2</p> 
<p><i>Детали типа загиб</i></p>	<p>Тип 5</p> 	<p>Тип 3</p> 	<p>Тип 3</p> 		
	<p>Тип 6</p> 	<p>Тип 4</p> 	<p>IX класс. Монолитные панели</p> 		

Продолжение таблицы 1.2.

<p>X класс. Детали в виде тел вращения</p>	<p>Конические</p>		<p>Тип 1</p>	<p>XI класс. Детали изготавливаемые вытяжкой</p>	<p>Цилиндрические</p>		<p>Тип 1</p>	<p>XII класс. Детали с отбортовкой</p>	<p>Отбортовка кромок отверстий</p>	
<p>X класс. Детали в виде тел вращения</p>	<p>Двойной кривизны</p>		<p>Тип 2</p>	<p>Цилиндрические с бортом</p>		<p>Тип 2</p>	<p>Отбортовка по торцу тела вращения</p>	<p>Отбортовка по торцу тела вращения</p>		
										<p>Тип 2</p>
<p>X класс. Детали в виде тел вращения</p>	<p>Энкопферменной кривизны</p>		<p>Тип 3</p>	<p>Цилиндрические ступенчатые</p>		<p>Тип 3</p>	<p>Отбортовка в листовом цилиндрической детали</p>	<p>Отбортовка в листовом цилиндрической детали</p>		
										<p>Тип 3</p>
<p>X класс. Детали в виде тел вращения</p>	<p>Энкопферменной кривизны с доннышком</p>		<p>Тип 4</p>	<p>Коробчатые</p>		<p>Тип 4</p>	<p>Отбортовка в штампованной детали</p>	<p>Отбортовка в штампованной детали</p>		
										<p>Тип 4</p>

Для производства летательных аппаратов характерен мелкосерийный, а для ряда изделий единичный типы производства. Это обуславливает применение упрощенных методов универсальных и специализированных средств производства.

Учитывая современные международные требования к качеству летательных аппаратов, а также к техническому уровню предприятий, выпускающих продукцию, необходимо провести перестройку в области заготовительно-штамповочных работ в направлении более широкого применения САПР на этапах технологической подготовки производства и изготовления деталей летательных аппаратов. Например, автоматизировать разработку технологических процессов изготовления деталей, создать оборудование с ЧПУ для выполнения всех раскройных работ без использования шаблонов, а также станки с ЧПУ для получения формообразующих элементов всей заготовительно-штамповочной оснастки по программам, т. е. полностью перейти на бесплазовый метод обеспечения взаимозаменяемости деталей.

1.2. Материалы, используемые для штампованных деталей.

В современных конструкциях летательных аппаратов наибольшее применение находят высокопрочные алюминиевые, магниевые и титановые сплавы; стали, в том числе высокопрочные легированные, жаропрочные и коррозионно-стойкие; композиционные материалы; медь, латунь и д.р.

При выборе конструкционных материалов для летательных аппаратов наибольшее внимание уделяется удовлетворению требования обеспечения наибольшей прочности и жесткости деталей и сборочных единиц при наименьшей их массе, т.е. обеспечению весовой эффективности. Весовая эффективность материала определяется отношением допустимых напряжений ($\sigma_{доп}$) и модуля упругости (E) к плотности материала (ρ), т.е. $\frac{\sigma_{доп}}{\rho}$ и $\frac{E}{\rho}$.

Имеется ряд критериев оценки конструктивной прочности материала:

- критерии оценки прочностных свойств материала, определяемых независимо от его назначения, т.е. характеризуют свойства материала вообще, например:

$\sigma_{\epsilon}, \sigma_{0.2}, \delta, \psi$ и др;

- критерии оценки конструктивной прочности в связи со служебными свойствами данного изделия, т.е. теми свойствами, которые характеризуют работоспособность материала в условиях службы изделия;

- критерии оценки прочности конструкции в целом, определяемой при стендовых, натурных и эксплуатационных источниках.

Одним из важных технологических свойств машиностроительных материалов является штампуемость. Штампуемость – это способность материала изменять свою форму при штамповке без образования трещин, разрывов, расслоений, полос сдвига и т.п. На штампуемость материала оказывает влияние много факторов: химический состав материала, величина зерна, твердость, механические характеристики, условия деформации и др. В настоящее время нет однозначного показателя штампуемости, по которому можно было бы судить о пригодности поставляемого материала к тем или иным формоизменяющим штамповочным операциям. Обычно за основу берут данные, характеризующие химический состав и механические свойства металла либо результаты технологических испытаний. При испытаниях на штампуемость воспроизводят те условия, в которых находится металл при штамповке. Считается, что образец выдержал испытания, если после его формообразования отсутствуют трещины, отслаивания, надрывы, изломы.

В общем случае сравнительную оценку штампуемости различных материалов можно сделать сравнивая также их характеристики, например, такие как относительное удлинение δ и предел текучести σ_T - чем выше эти характеристики, тем лучше штампуемость материала. Также большое влияние на штампуемость металла оказывает отношение предела текучести к пределу

прочности $\frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_{\epsilon}}$ – чем меньше это значение, тем лучше штампуемость.

Современной спецификой производства летательных аппаратов является постоянная модификация изделий в условиях установившегося серийного производства. Поэтому, иногда в числе изменяющихся конструктивно-технологических параметров деталей может быть замена материала какой-либо штампуемой детали. В этом случае для определения штампуемости вновь вводимого материала при заданных формоизменяющих операциях проводят технологические испытания, при которых материал испытывает деформации реального процесса. О пригодности материала к операциям штамповки судят путем внешнего осмотра образцов. Признаком того, что образец выдержал испытание, является отсутствие трещин, надрывов, складок, изломов и др.

В таблице 1.3 приведены основные материалы, применяемые для штампуемых деталей летательных аппаратов.

В таблице указаны некоторые характеристики материалов и основная область их применения.

Таблица 1.3

Сравнительные характеристики штампуемых материалов

Тип сплава	Материал	Состояние материала	σ_{σ} , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Область применения
АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ	Д16	Отожженные	231	-	10	Обшивки, детали каркаса
		Отожженные и естественно состаренные	412	270	10-13	
		Нагартованные после закалки и естественно состаренные	440	345	8-10	
		Нагартованные после закалки и искусственно состаренные	475	440	3-4	

Продолжение таблицы 1.3

Тип сплава	Материал	Состояние материала	σ_{ϵ} , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Область применения	
А Л Ю М И Н И Е В Ы Е С П Л А В Ы	АМц	Отожженные Нагартованные Без термообработки	88 186 98	-	20-22 3-4 10	Баки, емкость сварных конструкций, трубопроводы	
	АМг2	Отожженные Нагартованные	166 265	-	16 3-4	Баки, емкость сварных конструкций, трубопроводы	
	АМг5	Отожженные Без термообработки	275	137	15 12-15	Заклепки	
	АМг6	Отожженные Нагартованные	314 373	157 275	15 6	Сварные конструкции: днища баков, трубопроводы, обшивки, детали каркаса сварных отсеков	
	В95	Отожженные Закаленные и искусственно состаренные	245 392- -250	402- -451	5-7	Обшивки, монолитные панели, стыковочные узлы, пояса лонжеронов, шпангоутов, нервюр, стрингеры.	
	Д20		Отожженные	218	-	15	Баки, емкости
			Закаленные и естественно состаренные	275	-	12	
			Закаленные и искусственно состаренные	373	275	8	
	Д19		Отожженные	218	-	10	Обшивки и заклепки в зонах повышенных температур (до 300 °С)
			Закаленные и естественно состаренные	409	265	10-13	
			Нагартованные после закалки и искусственно состаренные	438	339	8-10	
	В65		Отожженные	400	-	20	Заклепки
АК4		Закаленные и искусственно состаренные	373	275	3-4	Обшивки, монолитные панели, работающие при температуре не выше 200 °С	
АК4-1		Закаленные и искусственно состаренные	383	300	4	Обшивки, монолитные панели фюзеляжей и крыльев	
АК-6		Закаленные и искусственно состаренные	373	28	8-10	Обечайки баков; емкости	
АК8		Закаленные и искусственно состаренные	391	294	8	Обечайки баков; емкости	

Продолжение таблицы 1.3

Тип сплава	Материал	Состояние материала	σ_{ϵ} , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Область применения
МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ	МА8	Отожженные	177	98	26	Листовые обшивки элеронов, рулей, закрылков и др.; малонагружаемые детали
	МА14	Отожженные	255	-	20	Детали каркаса и внутреннего оборудования, не подвергающиеся сварке
ТИТАНОВЫЕ СПЛАВЫ	ОТ 4-0	Отожженные	490-638	-	30-40	Детали оболочки, трубопроводы и др. сварные узлы, работающие при температуре до 400 °С
	ОТ 4-1	Отожженные	589-736	-	20-40	
	ВТ 6	Отожженные После закалки и старения	932-1079 1079-1226	- -	10-13 6	Баки и емкости ракет-носителей
	ВТ 14	Отожженные После закалки и старения	834-883 1128-1275	- -	10-15 6-15	Баки и емкости
СТАЛИ	20	Нормализованные	412	245	25	Малонагруженные детали каркаса и внутреннего оборудования
	45	Нормализованные	598	353	16	
	30ХГСА	Закалка с отпуском	1079-1619	834-1275	9	Холодно- и горячештампованные шпангоуты, лонжероны и другие
	30ХГСНА	Закалка с отпуском	1472-1864	1373	9	
	X15H9Ю (CH-2)	Нагартованные	1373	1275	8	Обшивки; носки и законцовки крыльев; рубашки камеры сгорания ракетных двигателей
		нормализованные	1128	441	20	
	12X18H10T	Закалка с отпуском	510	196	40	Обшивки; штампованные детали, сварные узлы из листа, сильфоны
	ХН60ВТ	Закаленные	440	220	32	Емкости высокого давления, баки космических аппаратов
	ХН77ТЮР	Закаленные	730-780	350	50	Силовые шпангоуты ракетно-космической техники
ВНС2 X15H5Д2Т	Нормализованные с отпуском	1275-1373	10791-128	15	Высокопрочные, коррозионно-стойкие листовые детали баков емкостей, работающих при температурах до 400 °С	

Продолжение таблицы 1.3

Тип сплава	Материал	Состояние материала	σ_{ϵ} , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Область применения
СТАЛИ	ВНС5 1Х15Н4АМЗ	Нормализованные с отпуском	1354- -1570	903	15	Лонжероны, шпангоуты, подmotorные рамы
	20Х3НВФАС (ЭИ415)	Закаленные с отпуском	883	834	12	Силовые шпангоуты космических аппаратов
	23Х2НВФА (ЭИ659)	Закаленные с отпуском	1128	932	12	Огневая стенка камеры сгорания ракетного двигателя
	23Х2Н13ФА (ЭИ763)	Закаленные с отпуском	1128	932	12	Рубашки жидкостных ракетных двигателей (ЖРД)
Коррозионно- стойкие жаропрочные стали	1Х21Н5Т (ЭИ811)	Закаленные	687	441	18	Заклепки, рубашки камер сгорания ракетных двигателей
	09Х164Б (ЭП56)	Закаленные с отпуском	1177	883	8	
	10Х16Н45А					
Медь	М2	Отожженные	196- -245	88-147	60	Заклепки, сильфоны
Латуни	Л62	Отожженные	638- -736	-	40-50	Сильфоны
	Л80	Отожженные	294- -343	-	45-55	
БРОНЗЫ	Бр2,0	Отожженные	392- -589	-	40-50	Пружины и другие упругие элементы, сильфоны
	Бр2,5	Отожженные	292- -589	-	30-50	
	БНТ1,7	Отожженные	592- -589	-	40-50	
	БНТ1,9	Отожженные	592- -589	-	30-50	

Как было сказано выше, характерной особенностью авиакосмической техники, является постоянная модификация летательных аппаратов. Как правило, наряду с совершенствованием тактико-технических характеристик самолетов, вертолетов и ракетно-космической техники изменяются и конструктивно-технологические характеристики аппаратов зачастую с использованием новейших материалов. Внедрение новых материалов на производстве может повлечь за

собой создание новых технологических процессов, использование нового технологического оборудования, разработки новых режимов термической обработки деталей.

1.3. Термическая обработка заготовок и деталей из алюминиевых и титановых сплавов.

Термическая обработка металлов – это процесс обработки изделий из металлов и сплавов путем теплового воздействия с целью изменения их структуры и свойств в заданном направлении. В заготовительно-штамповочном производстве целью термообработки является изменение таких технических свойств материала как прочность, пластичность, твердость, вязкость и др. Изменение механических свойств материалов при нагревании и охлаждении происходит вследствие фазовых и структурных превращений и уменьшения внутренних напряжений. Основными операциями термообработки являются: закалка, отжиг, нормализация, отпуск, искусственное и естественное старение.

По способности к термической обработке алюминиевые сплавы делятся на неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой. К первой группе относятся сплавы группы АМц и АМг. Эти сплавы отличаются высокой пластичностью, хорошей свариваемостью и высокой коррозионной стойкостью.

Сплавы АМц и АМг используются в отожженном состоянии. Отжиг производят при температуре 350-420 °С.

К сплавам, упрочняемым термической обработкой относятся: алюминиевые сплавы нормальной прочности, например, Д1, Д16; высокопрочные сплавы В95, В94, В96, ВАД23; жаропрочные – АК4, Д19, Д20; сплавы повышенной пластичности – Д18, АК6, АК8. Для этих сплавов для снятия нагартовки производят отжиг при температуре 350-370 °С.

Упрочняющая термическая обработка состоит в закалке и естественном старении. При закалке сплавы Д1 и Д18 нагревают до температуры 495-505 °С, Д16 до 490-500 °С, затем охлаждают в воде с температурой не выше 40 °С. Продолжительность старения при комнатной температуре составляет 5-7 суток.

Большое практическое значение имеет начальный или инкубационный период старения (20-60 минут), когда сплав сохраняет высокую пластичность и низкую твердость. Это позволяет проводить ряд штамповочных операций. Для проведения этих операций с естественно состаренными сплавами их можно подвергнуть обработке на «возврат», которая состоит в кратковременной выдержке сплава (1-2 мин) при температуре 230-300 °С – это восстанавливает пластичность свежезакаленного состояния. Однако, применение обработки на «возврат» ограничено тем, что у тонкостенных деталей снижается коррозионная стойкость, а у толстостенных восстановление пластичности не успевает пройти по всему сечению. Увеличение выдержки приводит к искусственному старению на поверхности изделия, что приводит к снижению пластичности. Искусственное старение дуралюмина применяют очень редко, так как эта группа материалов при искусственном старении приобретает помимо низкой пластичности чувствительность к концентрации напряжений.

Высокопрочный сплав В95 приобретает максимальную прочность после закалки при температуре 460-475 °С и искусственного старения при 120-140° С в течении 24 часов. Естественное старение для этого сплава не применяют, так как оно происходит очень медленно и приводит к низкой коррозионной стойкости сплава.

Жаропрочные сплавы АК4, АК4-1, Д20 применяются после закалки и искусственного старения при температуре 185-200°С в течении 9-24 часов.

Ковочные сплавы АК6, АК8 и другие штампуются при температурах 450-475 °С. Сплавы применяются после закалки и искусственного старения при температурах 150-165 °С в течение 6-15 часов.

Магниевого сплавы МА8, МА14 применяют в отожженном состоянии (МА8), температура отжига 320-350°С в течении получаса, сплав МА14 применяют после искусственного старения при температуре 170°С в течение 10-24 часов.

Титановые сплавы ОТ4-1, ОТ4 в основном подвергаются отжигу, закалке и старению. Отжиг в основном проводится после холодной штамповки для снятия

наклепа. Отжиг технического титана проводится при температурах 670-800°C с выдержкой от 15 мин до 3 часов. Отжиг проводится в вакууме в среде нейтрального газа. Старение проводится при температурах 480-550°C.

Сплав ВТ6 подвергается закалке при температурах 900-950°C и искусственному старению при 500°C в течение 2-4 часов.

Сплав ВТ14 закаливается при температуре 840-990°C и подвергается искусственному старению при 480-560°C в течении 8-16 часов.

Термическая обработка стальных сплавов представляет собой огромное разнообразие различных режимов нагрева и охлаждения заготовок и деталей при их термообработке. Поэтому, в целях сокращения объема данной книги этот материал здесь не помещается, а интересующиеся этим вопросом читатели могут воспользоваться специальной литературой. [19]

Для осуществления термической обработки полуфабрикатов и деталей в промышленности используются различные термические печи и нагревательные установки.

Термообработку алюминиевых сплавов проводят в основном в печах, заполненных расплавленной селитрой, а также в печах аэродинамического подогрева (ПАП).

Для термообработки деталей из различных сталей в основном используются камерные печи.

Детали, выполненные из некоторых сплавов титана, термообрабатываются в вакууме или в среде нейтрального газа, например, аргона.

1.4. Классификация операций разделения полуфабрикатов и формообразования.

Заготовительно-штамповочные работы разделяются на две основные группы: *разделительные* и *формоизменяющие*. Кроме того, в ряде случаев, в процессе изготовления деталей также применяются соответствующие операции механической обработки – фрезерование и сверление.

Под *разделительными операциями* понимают раскрой листовых и профилированных полуфабрикатов. Эти операции могут быть как окончательными (для изготовления плоских деталей) так и предварительными или совмещенными (для объемных деталей). К разделительным операциям относятся: вырубка, пробивка отверстий, отрезка, обрезка и надрезка (рис.1.1)

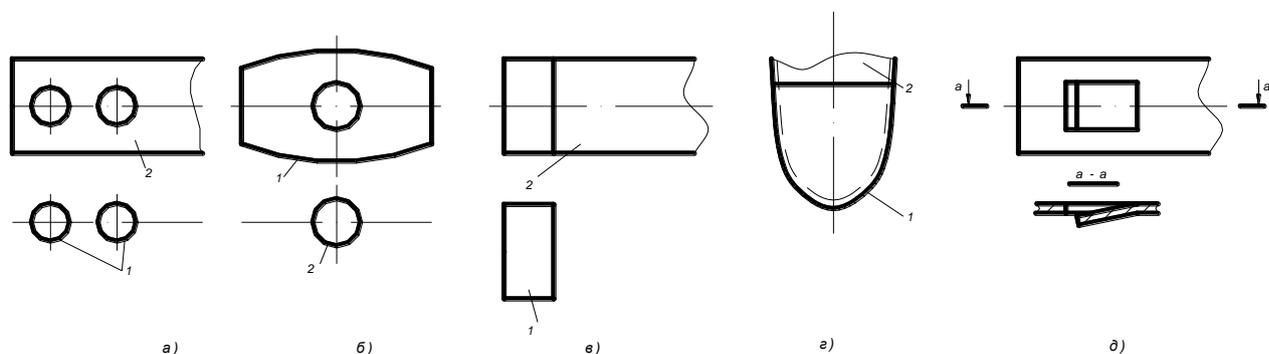


Рис.1.1. Разделительные операции.

а) - вырубка; б) - пробивка; в) - отрезка; г) - обрезка; д) - надрезка.
 1- деталь; 2 - отходы.

На рис.1.2. приведена классификация разделительных операций, применяемых в заготовительно-штамповочных работах.



Рис.1.2 Классификация разделительных операций.

Разделительные операции выполняются на различном оборудовании: гильотинных, роликовых, дисковых ножницах; штампах, фрезерных станках.

Заготовка из сталей и титана зачастую раскраиваются при помощи луча плазмы или луча электронной пушки.

Формообразующие операции – это процессы превращения плоских или прямолинейных заготовок в детали пространственных форм. Формообразование производится путем деформирования заготовок внешними нагрузками, вызывающими напряжение в очаге деформации, несколько превосходящим предел текучести, но не достигающим разрушающих нагрузок. После снятия внешних нагрузок форма детали сохраняется вследствие возникновения в заготовке остаточных (пластических) деформаций.

Формоизменяющие операции могут быть элементарные и совмещенные. К элементарным операциям относятся: гибка, вытяжка, раздача, обжим, обтяжка, отбортовка, выдавливание и др. При выполнении этих операций на заготовку воздействуют усилия одного характера: изгибающий момент, растяжение или сжатие.

В большинстве случаев для повышения производительности, уменьшения прикладываемых усилий либо повышения качества деталей применяют совмещенные процессы, в которых реализовываются две и более элементарные операции: вырубка и пробивка, вытяжка и обжим, гибка с тангенциальным растяжением или сжатием, гибка с радиальным сжатием или растяжением, раздача или обжим со сжатием и др.

В классификации, приведенной на рис 1.3. указаны основные операции формоизменения, применяемые при изготовлении деталей из листовых и профилированных заготовок. Большинство, приведенных в классификации, процессов представляют из себя совмещенные операции, в которых используются две и три элементарные операции.

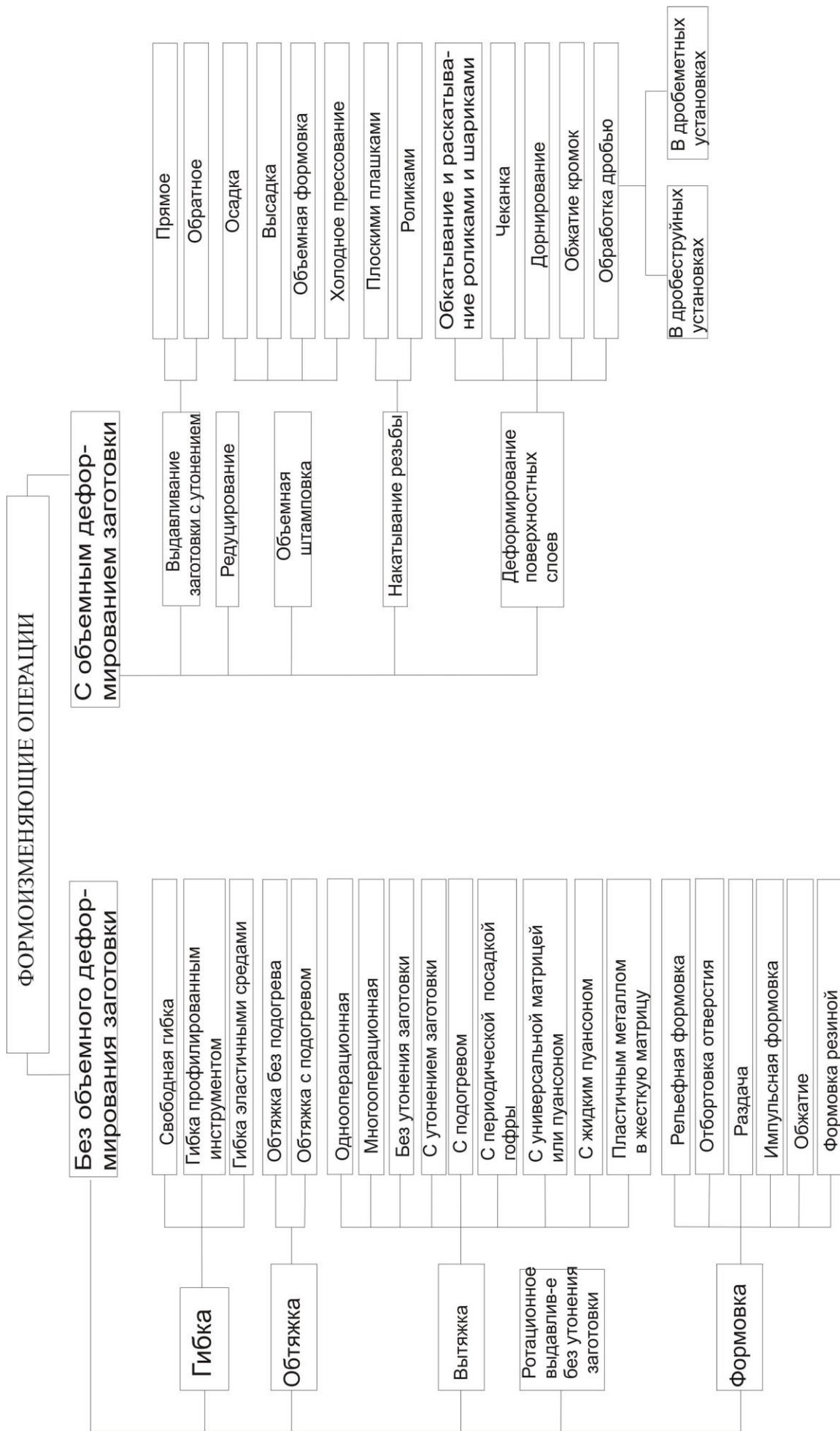


Рис. 1.3. Классификация формоизменяющих операций

Подробно механизмы деформирования штампуемых деталей будут рассмотрены в соответствующих разделах учебника, а также будет дана качественная и количественная оценка напряженно-деформированного состояния заготовок в очагах деформации.

1.5. Защитные покрытия деталей.

Защитные покрытия служат для предохранения деталей от коррозии. Покрытия бывают металлические и неметаллические. Металлические покрытия делятся на анодные и катодные. Анодные покрытия, являясь анодом к основному материалу, защищают его не только от механических воздействий, но и от электрохимической коррозии в случае разрушения покрытия. При разрушении в отдельных местах катодных покрытий или в случае наличия в них пор корродирует основной материал, при чем с большей скоростью, чем при отсутствии покрытия. В качестве неметаллических покрытий служит окраска непосадочных поверхностей лакокрасочным покрытием.

Защита от коррозии стальных деталей.

В зависимости от служебных требований к стальным деталям могут быть применены следующие виды защитных покрытий: цинкование, кадмирование, химическое оксидирование (воронение), фосфатирование, меднение, никелирование, хромирование, металлизация.

Независимо от вида защитного покрытия перед его нанесением поверхность подвергается специальной обработке:

- предварительное обезжиривание - удаление консервирующей смазки с использованием содово-щелочного раствора;
- удаление ржавчин и окалин механическим или электрохимическим способом;
- обезжиривание электрохимическим или химическим способом с последующей промывкой в теплой, а затем проточной холодной воде;

- декапирование – легкое травление кислотой поверхности непосредственно перед нанесением покрытий для удаления тончайшей пленки окисла, образовавшейся после очистки.

Детали после очистки немедленно переносятся в ванну для нанесения защитных покрытий.

Цинкование – наиболее распространенный вид защитных покрытий стальных деталей от атмосферной коррозии.

Цинкование производят в цианистых или кислых электролитах. Детали навешивают на катод. Анодом служат пластины цинка. Цианистые электролиты дают более прочные и блестящие покрытия. Кислые электролиты более дешевы, но создают пленки с худшими защитными свойствами по сравнению с цианистыми электролитами.

Кадмирование отличается от цинкования обеспечением стойких покрытий. Поэтому кадмирование применяется для деталей, работающих в условиях воздействия морской воды, спирто-глицериновой смеси или горячей воды; для деталей, работающих в условиях тропического климата.

Кадмирование выполняют в цианистых или борфтористоводородных электролитах.

Детали с $\sigma_e > 1400 \text{ МПа}$ кадмируются в хлористоаммонийном электролите.

Цинкованию и кадмированию часто подвергаются резьбовые детали.

Химическое оксидирование (воронение) – процесс создания на поверхности металла искусственной оксидной пленки (0,5-1,5 мкм), которая при наличии смазки может защитить металл от коррозии. Оксидированная поверхность должна иметь высокую чистоту обработки.

Оксидирование производится погружением детали в кипящий щелочно-окислительный раствор. После оксидирования детали промывают в теплой проточной воде, а затем в мыльной воде (для повышения защитных свойств). Далее детали промывают в горячей воде, сушат и промасливают погружением в пушечную смазку или в минеральное масло, нагретые до 120-130 °С.

Фосфатирование – химический процесс образования на поверхностях стальных деталей защитной пленки из фосфатов железа и цинка. Пленки обладают высокой пористостью и защищают металл от атмосферной коррозии после нанесения лакокрасочных покрытий или промасливания.

Фосфатирование выполняют в водном растворе ортофосфорной кислоты, монофосфата цинка и азотнокислого цинка.

Перед фосфатированием поверхности деталей подвергаются пескоструйной или дробеструйной обработке.

Меднение – подслоя для нанесения никеля и хрома.

Перед меднением поверхность полируют механическим или электролитическим способом.

Меднение деталей сложной конфигурации осуществляется в цианистых электролитах. На простых деталях сначала наращивают пленку в 3-5 мкм в цианистых электролитах для хорошего сцепления покрытия с основным металлом, а затем продолжают наращивание до нужной толщины с большой скоростью в кислых электролитах.

После меднения детали промывают и сушат.

Никелирование – защитно-декоративное покрытие. Никелирование производят по подслою меди.

Электролитом для никелирования служит водный раствор сернокислого никеля, хлористого никеля и борной кислоты. Анодом служат полосы никеля.

После никелирования детали промывают, сушат и полируют.

Хромирование. Различают защитно-декоративное и твердое (износоустойчивое) хромирование. При защитно-декоративном хромировании пленка хрома наносится на слой никеля (толщина пленки 0,5-1,5 мкм).

Хромирование производится в электролите, содержащем хромовый ангидрид и раствор серной кислоты. После хромирования детали промывают и полируют.

Твердое хромирование применяют для повышения износостойкости и коррозионной стойкости. Толщина пленки хрома 20-80 мкм. Поверхность,

подлежащая хромированию, шлифуется. После хромирования детали приводятся к точному размеру путем шлифования или хонингования.

Защита от коррозии алюминиевых сплавов.

Детали из алюминиевых сплавов защищают от коррозии анодным оксидированием (анодированием) и лакокрасочными покрытиями.

Перед анодированием детали проходят специальные операции подготовки поверхности:

- обезжиривание в водном растворе тринатрийфосфата или органическими растворителями с последующей промывкой в проточной горячей, а затем холодной воде;
- травление в растворе щелочи с промывкой в проточной горячей и холодной воде;
- осветление в растворе азотной кислоты с промывкой в холодной проточной воде.

Для анодирования детали подвешивают на анод. Катодом служат пластины из свинца или нержавеющей стали. Электролитом служит раствор серной или хромовой кислоты. Образующийся на поверхности детали-анода кислород окисляет алюминий – создается пористая пленка Al_2O_3 .

Анодирование в серной кислоте позволяет получить пленку с более высокими защитными свойствами, но приводит к сильному изменению размеров деталей.

После анодирования детали промывают в холодной, а затем в горячей проточной воде. Плакированные обшивки кипятятся в воде, что приводит к гидратации пленки (образованию $Al_2O_3 \cdot nH_2O$) с увеличением ее объема, плотности и повышения защитных свойств. В дальнейшем наружную поверхность обшивки покрывают бесцветным лаком, а внутреннюю грунтуют.

Детали из неплакированных материалов, а также обшивки, окрашиваемые цветной эмалью, после анодирования для повышения защитных свойств

подвергаются операции наполнения путем погружения в горячий раствор хромпика.

После наполнения детали промывают, сушат, грунтуют, а наружные поверхности, кроме того, окрашивают эмалями требуемого цвета.

Защита от коррозии магниевых сплавов.

После подготовки поверхности детали из магниевых сплавов подвергаются двойному оксидированию: химическому или электрохимическому в растворе двуххромовокислого калия и азотной кислоты, затем анодированию в водном растворе бифторида аммония, двуххромовокислого калия и ортофосфорной кислоты. После анодирования детали промывают, подвергают наполнению в растворе хромпика, затем снова промывают и сушат. На высушенные детали наносят два слоя грунта и два-три слоя эмали.

Перспективные методы защитных покрытий деталей и оснастки.

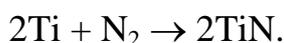
Метод и о н н о - п л а з м е н н о г о н а п ы л е н и я поверхности деталей еще недостаточно широко применяются в производстве летательных аппаратов. В настоящее время область применения этого метода ограничивается в основном обработкой режущих инструментов в целях повышения их износостойкости.

Однако, учитывая высокое качество покрытий, выполненных этим методом было бы целесообразно расширить область применения ионно-плазменного метода напыления на обработку рабочих поверхностей штампов, используемых в заготовительно-штамповочном производстве, а также ряда деталей в конструкции летательных аппаратов.

Сущность ионно-плазменного метода напыления заключается в конденсации материала покрытия на обрабатываемую поверхность из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой покрываемой поверхности (КИБ) [17].

На рисунке 1.4. показана схема установки для выполнения вакуумного ионно-плазменного метода напыления.

Холодный плазменный поток в камере (аноде) (1) генерируется в результате эрозии материала в катодных пятнах, горящих на охлаждаемом катоде (3), который изготавливают из того же материала, который осаживается на деталь (2). Подача в вакуумное пространство реагирующих газов (азота, металла и др.) в условиях ионной бомбардировки приводит к конденсации покрытия на поверхности подложки (2) благодаря протеканию плазмохимических реакций. Плазма с ионами катода разгоняется посредством приложения отрицательного к подложке потенциала, на поверхности которой проходит плазмохимическая реакция ионов с реактивным газом, например:



В виду высокой плотности энергии в катодном пятне возможно испарение любых электропроводящих материалов, в том числе тугоплавких металлов IV-VI групп Периодической системы элементов Менделеева.

Отрицательный потенциал порядка 1 kV перед нанесением покрытия обеспечивает предварительную ионную очистку изделия и его прогрев до заданной температуры ионами металлической плазмы, а потенциал 140-220 В во время протекания процесса позволяет получить плотное покрытие из TiN твердостью $2,2-3,0 \cdot 10^4$ Н/мм.

Газофазная металлизация через карбонилы в настоящее время имеет широкое применение в автомобильной, абразивной, электронной

промышленности, стоматологии и других отраслях [22].

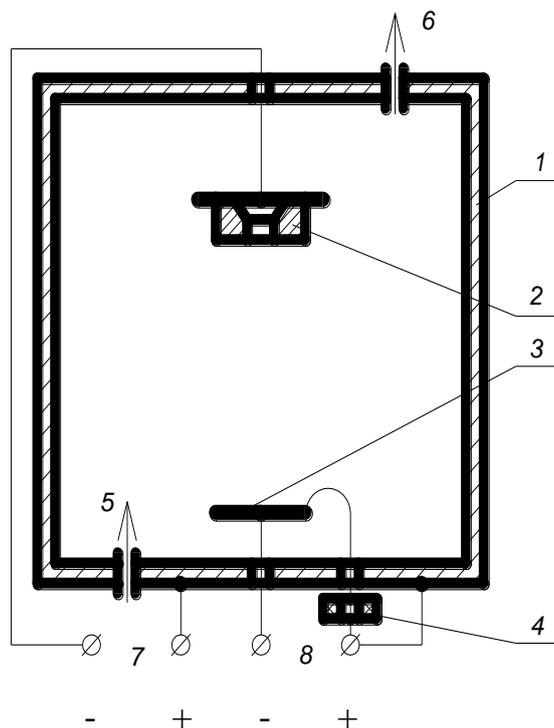


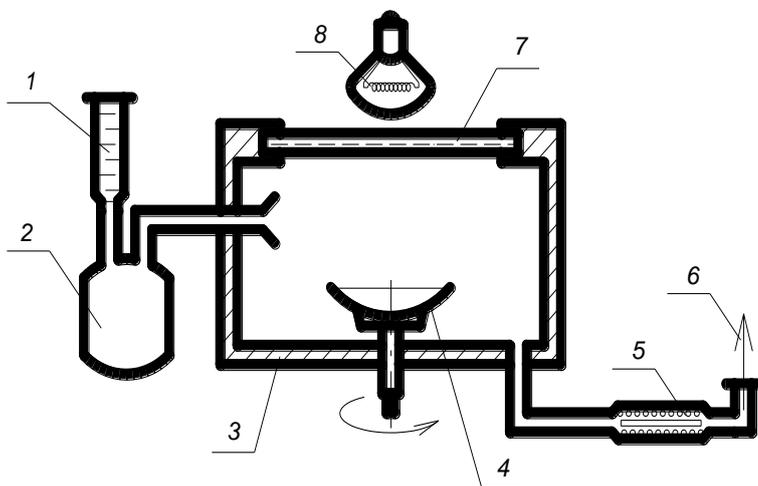
Рис. 1.4. Схема установки вакуумного ионно-плазменного метода:
 1 – вакуумная камера (анод); 2 – заготовка;
 3 – испаритель (катод); 4 – электромагниты;
 5 – подача реакционного газа; 6 – к вакуумному насосу; 7 и 8 – источники питания.

Бурное развитие в последнее время химии металлоорганических соединений, особенно химии карбониллов металлов, а также большие объемы промышленного производства многочисленных металлоорганических веществ, являющихся дешевыми и удобными исходными веществами для перевода их в газообразное состояние с последующим осаждением на подложку в виде прочных покрытий, дает предпосылки для внедрения этого метода покрытия металлов и неметаллов в производстве самолетов и ракетно-космической техники.

Сущность карбонильного метода антикоррозионного покрытия, например никелевого покрытия заключается в том, что деталь (подложка) помещается в вакуумную камеру (рис. 1.5.) и подогревается каким-либо способом до температуры 100-180°C; в камеру подаются пары карбонила $Ni(CO)_4$ – на поверхности подложки осаждается чистый никель. Адгезия покрытия, выполненного карбонильным методом значительно прочнее, чем при гальваническом методе никелирования, а скорость покрытия – в 20 раз выше, например, при температуре стальной подложки 200°C эта скорость составляет $V=40-60$ мкм/час; для хромирования при этом же режиме $V=150-200$ мкм/час.

Рис. 1.5. Схема установки для получения никелевых антикоррозионных покрытий карбонильным методом:

1 – емкость с карбониллом; 2 – испаритель; 3 – вакуумная камера (реактор); 4 – подложка; 5 – дожигатель следов карбонила; 6 – к вакуум-насосу; 7 – стекло; 8 – инфра-красный источник тепла.



Практически любой металл можно получить из газовой фазы термическим разложением соответствующего исходного вещества (металлоорганические соединения и галогениды металлов) на подложке, нагретой до температуры его термораспада. Но для газофазной металлизации предпочтение следует отдать металлоорганическим соединениям, т. к. они имеют значительно более низкие

температуры разложения на подложке (от 60 до 300 °С) по сравнению с галогенидами металлов (от 250 до 1500 °С).

Карбонилы, используемые в качестве исходных веществ для получения металлических пленок и покрытий из газовой фазы удовлетворяют следующим требованиям:

- ▲ переходят в газовую фазу без разложения и создают достаточную концентрацию паров;
- ▲ продукты разложения карбонила металла газообразны и не вступают в побочные реакции;
- ▲ доступность и дешевизна.

В таблице № 1.4. приведены карбонилы, соответствующие указанным требованиям.

Таблица 1.4.

Наиболее используемые карбонилы металлов.

Металлическое покрытие	Карбонил	Температура нагрева °С		Примечания
		Карбонила	Подложки	
Ванадий	$V(CO)_6$	20-25	70-100	Порошок
Хром	$Cr(CO)_6$	30-50	350-700	Порошок
Молибден	$Mo(CO)_6$	30-60	450-700	Порошок
Вольфрам	$W(CO)_6$	40-70	450-700	Порошок
Железо	$Fe(CO)_5$	20-30	100-300	Весьма токсичная жидкость
Кобальт	$Co_2(CO)_8$	20-25	180-220	Порошок
Никель	$Ni(CO)_4$	20-30	100-300	Весьма токсичная жидкость

В ряде случаев в реактор подается водород и покрытие производится в токе H_2 .

Глава II. Методы и средства обеспечения взаимозаменяемости штампующих деталей.

Взаимозаменяемость – это свойство конструкции, позволяющее производить ее безподгоночную сборку из отдельно изготовленных деталей и узлов без их дополнительной обработки.

Для обеспечения взаимозаменяемости при изготовлении конструкций, состоящих из относительно жестких деталей, изготовленных на металлорежущих станках, пользуются Единой системой допусков и посадок (ЕСДП), оформленной в виде стандартов международной системы ISO. Если при независимом изготовлении деталей (узлов) выдержаны указанные стандартом предельные отклонения размеров, то возможна сборка узла (машины) без подгоночных работ.

При изготовлении летательных аппаратов, отличающихся сложностью формы, малой жесткостью и большими габаритами элементов аппарата, применение независимого метода обеспечения взаимозаменяемости является технически весьма сложной задачей. В ряде стран, где производится авиаракетная техника, на предприятиях недостаточно оснащенных современным оборудованием с ЧПУ, и не имеющих соответствующего кадрового обеспечения, пока еще пользуются системой зависимого метода обеспечения взаимозаменяемости, созданной в 30^х годах прошлого столетия. Производство, характерной особенностью которого является зависимый метод обеспечения взаимозаменяемости выпускаемой продукции принято называть плазово-шаблонным методом производства (см. § 2.1).

В современных высокоразвитых проектных организациях и предприятиях полностью отказались от плазово-шаблонного метода производства и перешли к созданию комплексных систем проектирования и производства, позволяющих на всех уровнях производства (и контроля качества) достичь независимого метода обеспечения взаимозаменяемости (см. § 2.5).

2.1. Плазово-шаблонный метод производства.

Отличительной особенностью конструкции летательных аппаратов является сложность форм, малая жесткость и большие габариты многих их элементов. В классификации характерных деталей летательных аппаратов (см. Табл. 1.2.) показаны примеры сложных по форме обшивочных деталей имеющих двойную и знакопеременную кривизну, а также ряд деталей внутреннего набора имеющие сложные геометрические формы.

Сложность форм летательных аппаратов приводит к особенностям оформления их чертежей: в отличие от чертежей изделий общего машиностроения в конструктивных чертежах ряда объектов летательных аппаратов не проставляются размеры, определяющие формы деталей, панелей, агрегатов. Проектировщики летательных аппаратов разрабатывают специальные теоретические чертежи, в которых графическим, табличным и аналитическим методами задаются внешние обводы изделия.

Малая жесткость и большие габариты элементов конструкции приводят к изменению их формы в зависимости от положения в пространстве. Поэтому при изготовлении деталей такого характера применение допусков, методов и средств измерений общего машиностроения не представляется возможным. В производстве летательных аппаратов для обеспечения взаимозаменяемости деталей, узлов и агрегатов сложной формы и малой жесткости применяется в ряде случаев система, основанная на использовании плазово-шаблонного метода производства.

Сущность плазово-шаблонного метода производства заключается в том, что на этапе проектирования и технологической подготовки производства летательного аппарата создаются группы специальных плоских и пространственных эталонов формы и размеров его агрегатов и ряда деталей (плазы, шаблоны, макеты и др.). Затем способом непосредственного копирования форма и размеры эталонов переносятся на технологическую и контрольную оснастку, с оснастки на детали, панели, узлы и агрегаты рис. 2.1. Все эталоны сочленяющихся деталей в процессе изготовления взаимно увязываются, т. е. здесь

имеет место зависимый метод обеспечения взаимозаменяемости. Исходным эталоном является теоретический плаз, построенный по теоретическому чертежу. Вторичными эталонами являются шаблоны, макеты, поверхности, калибры и др. Все эталоны объединяются общим названием к о н т р о л ь н о - э т а л о н н а я о с н а с т к а.

2.2. Теоретический чертеж. Теоретический плаз.

Т е о р е т и ч е с к и й ч е р т е ж – это графическое изображение на бумаге внешних контуров летательного аппарата в масштабе от 1:10 до 1:50. Масштаб чертежа выбирается в зависимости от габаритов изображаемого объекта.

В чертеже даются компоновочные размеры, определяющие взаимное расположение составных частей (агрегатов) летательного аппарата, а также каким-либо способом приводятся данные, определяющие геометрию агрегатов по их отдельным сечениям.

Форма агрегата может быть задана различными способами: теоретическими таблицами, математическими формулами, электронной версией..

Теоретический чертеж разрабатывается опытным конструкторским бюро (ОКБ) на этапе эскизного проектирования летательного аппарата.

Т е о р е т и ч е с к и й п л а з – это теоретический чертеж агрегата или узла летательного аппарата, вычерченный несмываемой тушью в натуральную величину на специальных щитах или листах.

На этом плазе производится увязка теоретических обводов агрегатов в разных проекциях на основе геометрических построений.

Разметка плаза производится по данным теоретического чертежа вручную либо на специальных электронных графопостроителях.

К о н с т р у к т и в н ы й п л а з – это плаз, на котором вычерчен конструктивный чертеж узла с входящими в него деталями в натуральную величину. Выполняется конструктивный плаз несмываемой тушью на прозрачном материале (винипроз, диамат и др.), либо на фанере, дюралюминиевых листах.

Конструктивные плазы, выполненные на прозрачном материале, имеют ряд преимуществ:

- прозрачность материала позволяет упростить и ускорить технологический процесс изготовления шаблонов, используя для этой цели фотокопирование;

- благодаря прозрачности материала можно путем непосредственного сличения размеченного конструктивного плаза с другими плазами повысить качество увязки размеченного узла и осуществить быстрый и качественный контроль контуров шаблонов;

- удобно производить корректировку плазов, т. к. тушь легко соскабливается с поверхности винипроза и диамата.

Основным недостатком плазов, выполненных на этих материалах, является то, что со временем материал усыхает, т. е. происходит нарушение первоначальной степени точности плаза. Поэтому для особо ответственных сечений агрегатов и отсеков (например, по стыкам отсеков и агрегатов) конструктивные плазы вычерчивают на дуралюмине, либо изготавливается металлический шаблон контрольно-контурный (ШКК).

Теоретические и конструктивные плазы в плазово-шаблонном методе производства являются первоисточниками обеспечения взаимозаменяемости в производстве летательных аппаратов.

2.3. Основные и производственные шаблоны.

О с н о в н ы е ш а б л о н ы применяются для изготовления, технологической увязки и контроля производственных и эталонных шаблонов. Эти шаблоны являются основными носителями форм и размеров, а также различной технической информации. К числу основных шаблонов относятся:

ШКК – шаблон контрольно-контурный;

ДШКК – детальный шаблон контрольно-контурный;

ОК – отпечаток контрольный.

Шаблоны ШКК применяются для:

- конструктивной увязки узлов, расположенных в одной плоскости;
- изготовления технологической увязки и контроля производственных и эталонных шаблонов;
- изготовления и контроля шаблонов ДШКК.

Шаблоны ШКК изготавливаются из металла и опиливаются по теоретическому (внешнему) контуру узла или агрегата. Вся разметка на шаблонах аналогична разметке конструктивного плаза. Перед разметкой заготовка ШКК окрашивается эмалью красного цвета. Линии, цифровая информация и различные надписи наносятся на окрашенную поверхность несмываемой тушью либо острозаточенной чертилкой. На шаблоне сверлятся и разделяются базовые отверстия (БО) и некоторые другие технологические отверстия (см. Табл. 2.2.).

Шаблон ДШКК изготавливается только на детали, связанные с теоретическим контуром летательного аппарата. Этот шаблон используется для изготовления, технологической увязки и контроля детального комплекта шаблонов. Окрашивается ДШКК в красный цвет.

Отпечаток контрольный (ОК) представляет собой копию конструктивного плаза, отпечатанную на стальном или дюралюминиевом листе фотоконтактным способом.

ОК предназначаются для изготовления, технологической увязки и контроля узлового и детального комплекта рабочих шаблонов.

Производственные шаблоны применяются для изготовления и контроля заготовительно-штамповочной и сборочной оснастки, а также для изготовления деталей. Эти шаблоны являются рабочей оснасткой, окрашиваются в черный цвет и хранятся в производственных цехах.

Шаблоны изготавливаются комплектно и увязываются между собой по базовым и технологическим отверстиям. Например, комплект шаблонов ШРД, ШВК, ШКС, ШП, гибочная матрица (ГМБ) увязываются между собой через базовые (БО), шпилечные (ШО) и другие технологические отверстия.

Обводы шаблонов выполняются по теоретическим, наружным и внутренним обводам детали (рис. 2.1.).

- Шаблон контрольно-контурный (ШКК), обводы которого образуются линиями пересечения наружных поверхностей обшивки и соединяющейся с ней детали;
- Шаблон контурный (ШК), представляющий собой контур, образованный линиями пересечения наружных поверхностей детали и внутренней поверхности обшивки;
- Шаблон внутреннего контура (ШВК), образуемый линиями пересечения внутренних поверхностей деталей;
- Шаблон развертки детали (ШРД), представляющее собой наружное очертание детали при развертке на плоскости.

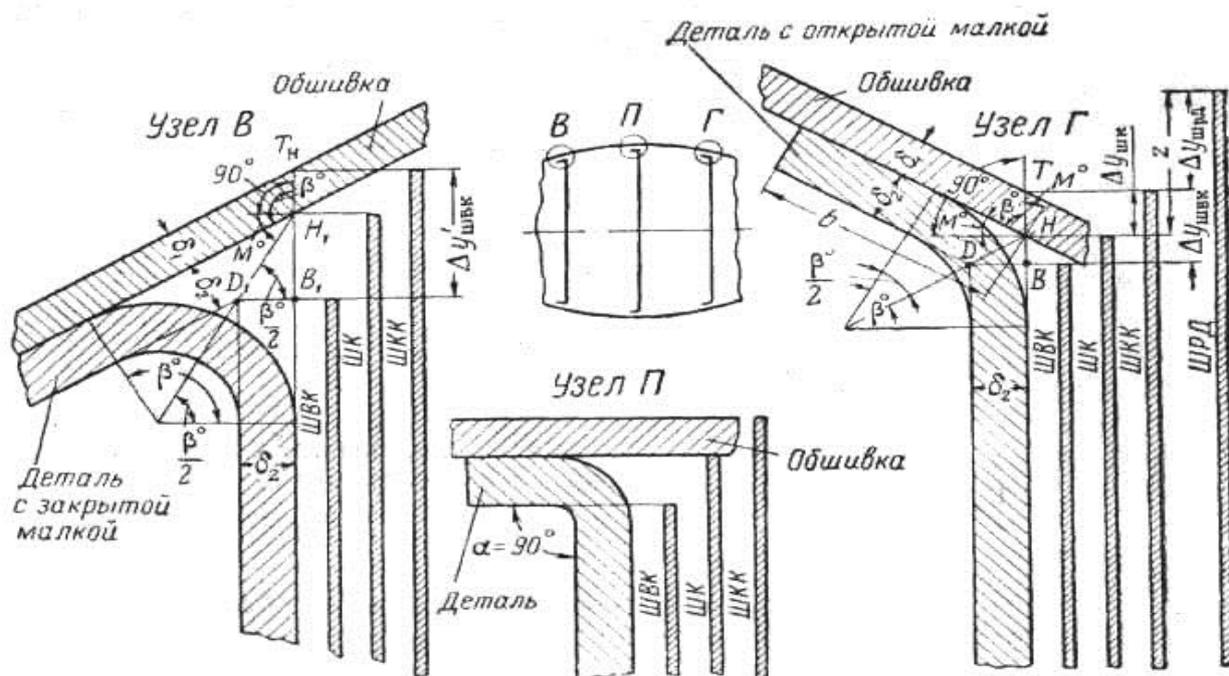


Рис. 2.1. Схема построения контуров различных шаблонов.

2.4. Объёмная оснастка.

Под термином объёмная оснастка здесь понимается оснастка, служащая для изготовления деталей из листового материала имеющих трехмерное измерение всей поверхности детали либо некоторых ее зон (Табл. 1.1., детали IV и VI классов).

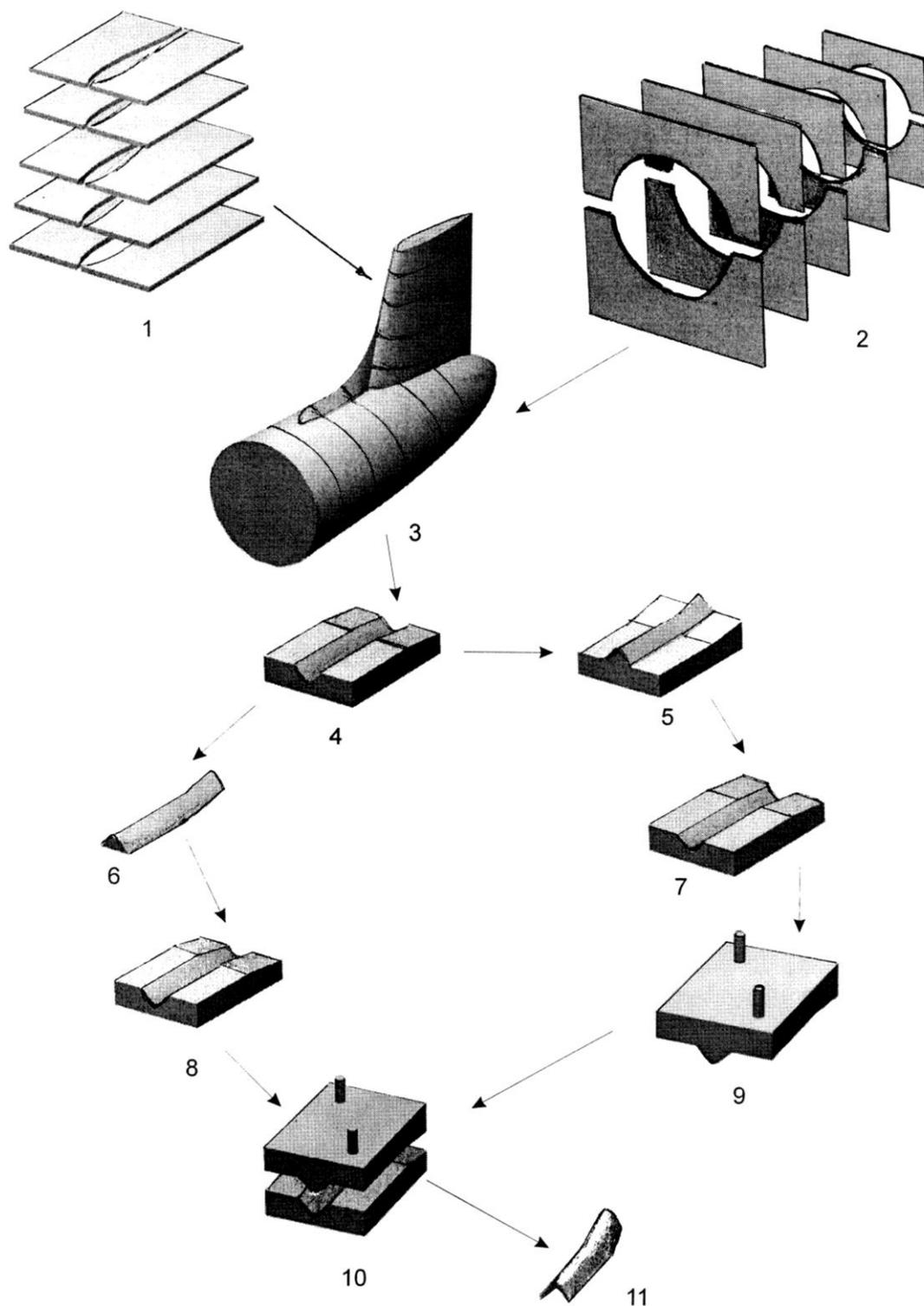


Рис. 2.2. Схема копирования формы зализа кия с эталона поверхности хвостовой части фюзеляжа.

1 - КРС кия. 2 - КРС фюзеляжа. 3 - Эталон поверхности хвостовой части фюзеляжа. 4- Контр-эталон поверхности зализа (ПСК). 5 - ПСК зализа. 6 - Гипсомодель зализа. 7- Гипсослепок зализа. 8 - Матрица штампа. 9 - Пуансон штампа. 10 - Штамп. 11 - Зализ кия.

Приведенные в данном параграфе методы и средства получения объемной оснастки наиболее ярко отражают специфику плазово-шаблонного метода

производства, т.е. переноса форм и размеров основного эталона на производственную оснастку путем непосредственного копирования.

На рис. 2.2. показана схема увязки оснастки для изготовления залива кия. Эталон поверхности хвостовой части фюзеляжа изготавливается из древесины либо из песочно-клеевой массы (ПСК). В качестве клея используется эпоксидная смола. Тестообразная песочно-клеевая масса после затвердевания имеет высокую прочность и твердость поверхности, поэтому оснастка из пескослепка может служить как эталоном поверхности, так и производственной оснасткой для проведения правки листовых деталей при помощи деревянных и резиновых киянок.

Гипсомодели и гипсослепки изготавливаются из строительного гипса. По ним отливаются из расплавленного цинка матрицы и пуансоны штампов. Отливка производится в специальных опоках.

Обтяжной пуансон служит для формообразования обшивок в основном двойной кривизны. Изготавливаются обтяжные пуансоны из древесины либо в виде пескослепка (см. Гл. IX). Для получения точной формы рабочей поверхности пуансона используется КРС.

2.5. Эволюция методов и средств обеспечения взаимозаменяемости.

Плазово-шаблонный метод обеспечения взаимозаменяемости зародился в XVIII веке в судостроении. Судостроители плазом (от франц. place - место) называют помещение на судостроительном предприятии с гладким полом (окрашенным в черный цвет). На плазе наносят в натуральную величину кривые теоретического чертежа судна, по которым изготавливают шаблоны для раскроя или формообразования отдельных элементов обшивки и каркаса судна.

В 30^х годах XX века методы и средства плазово-шаблонного производства были заимствованы самолетостроителями у судостроителей.

На протяжении ряда десятилетий методы и средства построения плазов и переноса форм и размеров с последних на производственную оснастку не

претерпевали изменений. Плазы чертили вручную по таблицам, пользуясь деревянными рейками и лекалами; шаблоны опиливали вручную.

С середины прошлого века проводились большие работы по совершенствованию плазово-шаблонного метода: находились новые технические решения, позволяющие в одних случаях вообще исключить лишние операции из технологических процессов изготовления оснастки, в других – резко повысить точность и снизить трудоемкость ряда операций путем их механизации. В качестве нововведений стали применять макеты поверхностей и объемное копирование путем слепков, а также графоаналитические способы проектирования внешних поверхностей агрегатов.

Но усовершенствования плазово-шаблонного метода, хотя снижали трудоемкость и повышают точность изготовления плазово-шаблонной оснастки, они не изменяли принцип многозвенного, зависимого метода обеспечения взаимозаменяемости (рис. 2.1. - рис. 2.5.).

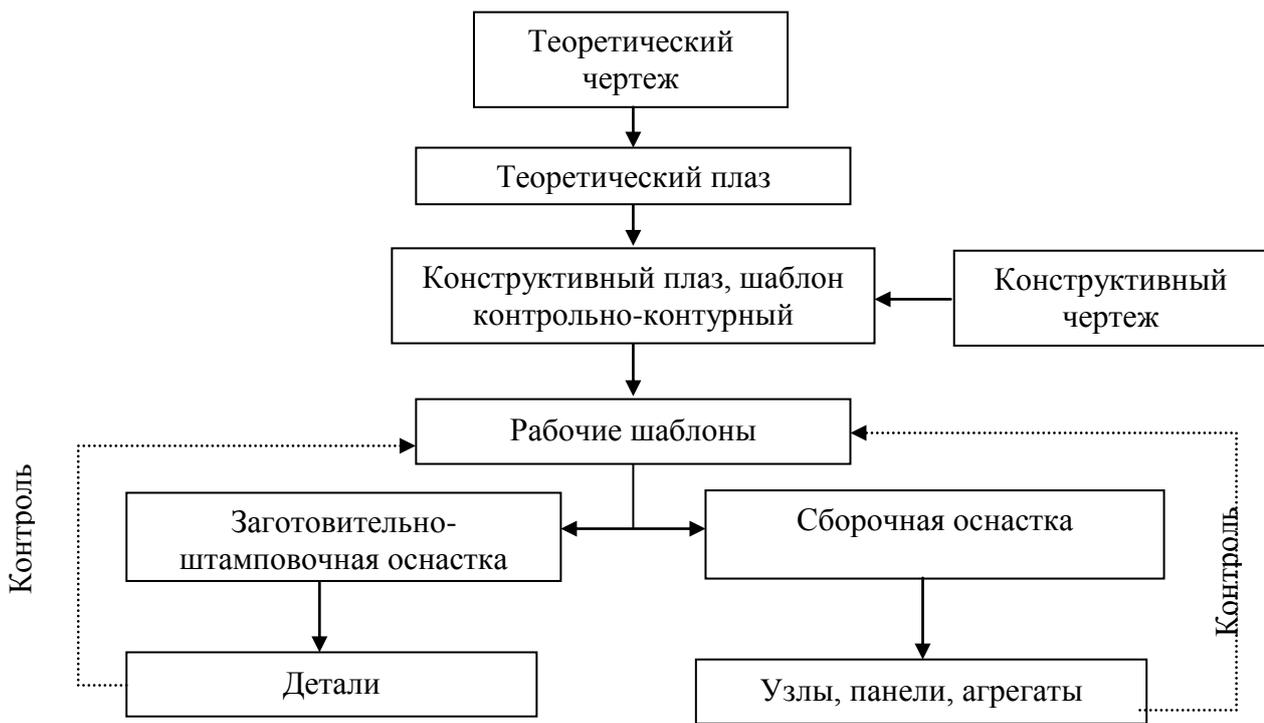


Рис. 2.4. Схема переноса форм и размеров с теоретического плаза на детали, узлы и агрегаты.

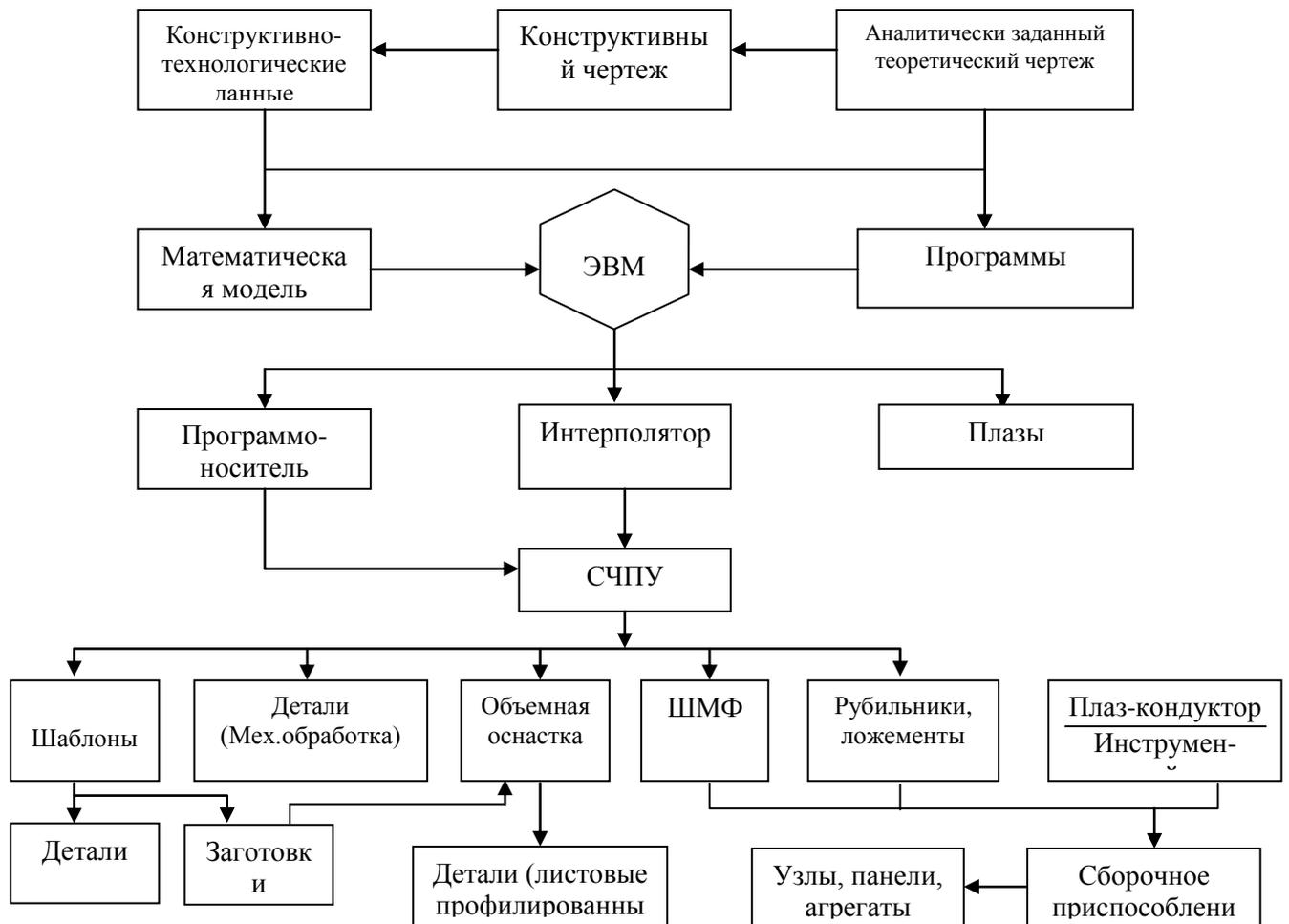


Рис. 2.5. Схема частично зависимого метода обеспечения взаимозаменяемости.

В связи с интенсификацией производства и повышения требований к геометрической точности конструкции летательных аппаратов появилась необходимость в коренной перестройке методов обеспечения взаимозаменяемости.

В ряде стран-производителей авиа-ракетной техники в последние десятилетия стали все шире применяться на этапе проектирования и производства комплексные системы CAD/CAM, создан большой парк станков с числовым программным управлением (СЧПУ). Это позволило внедрить в производство не зависимый метод обеспечения взаимозаменяемости при изготовлении деталей и сборочных единиц летательных аппаратов. На рис.2.6 показаны схема независимого метода обеспечения взаимозаменяемости в системе САТІА.

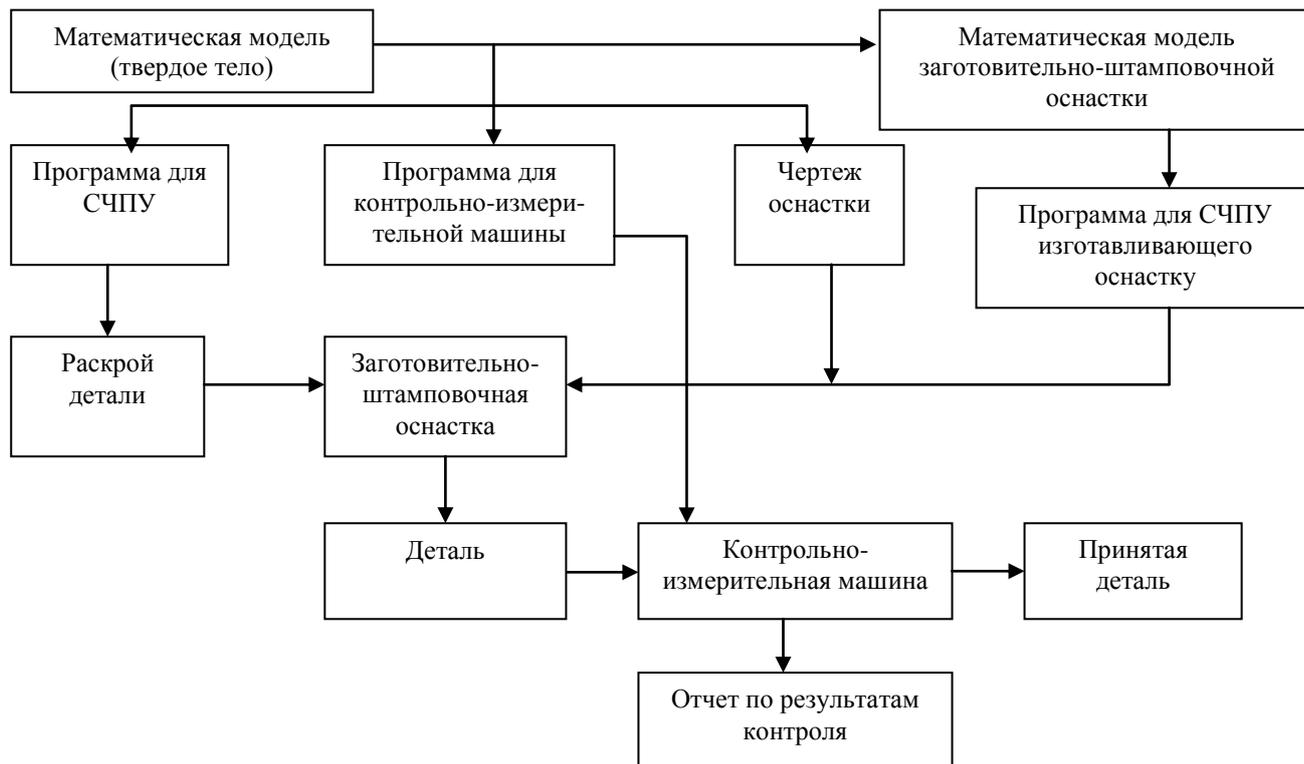


Рис. 2.6. Схема увязки форм и размеров в системе САТІА для штамповки листовых

Глава III. Изготовление деталей путем разделения заготовки (Раскройные работы).

3.1. Основные требования к раскройным работам.

К раскройным работам относятся все виды работ, связанные с разделением материала, как для получения готовых деталей, так и подготовки заготовок для дальнейшего изготовления из них плоских или пространственных деталей.

Одним из основных требований к раскройным работам является обеспечение возможно большей величины коэффициента использования материала (КИМ). Этот коэффициент ($K_{им}$) характеризует полноту использования материала при изготовлении деталей:

$$K_{им} = \frac{\sum m_{дет}}{m_{мат}},$$

где $K_{им}$ – КИМ;

$\sum m_{дет}$ - суммарная масса деталей, изготовленных из заданного материала;

$m_{мат}$ - масса материала.

Величина КИМ существенно влияет на себестоимость детали по статье расходов на материал:

$$C_{м} = \frac{m_{дет}}{K_{им}} c_{м},$$

где $C_{м}$ - затраты на материалы;

$c_{м}$ - стоимость единицы массы материала.

Если отходы материала на предприятии не используются, то их стоимость переходит в стоимость деталей, т. е.:

$$C_{м} = (m_{дет} + m_{отх}) c_{м},$$

где $m_{отх}$ - масса отходов.

Стоимость отходов для авиационных материалов в среднем составляет (0,07-0,1) $c_{м}$.

Учитывая, что стоимость современных авиационных материалов весьма высока необходимо вести раскройные работы с наиболее полным использованием материала, изыскивать пути повышения КИМ. На современных авиа-космических заводах для профилированных заготовок $K_{им} = 0,8 - 0,9$, для листовых материалов - $K_{им} = 0,5 - 0,6$.

Основными организационно-технологическими путями рационального раскроя являются:

- методы и средства раскроя должны обеспечить возможность использования отходов при изготовлении крупных деталей для изготовления более мелких деталей;
- широкое использование шаблонов группового раскроя (ШГР);
- использование электронно-вычислительной техники и станков с числовым программным управлением (СЧПУ) для проведения раскройных работ.

Однако, одними из главных требований к раскройным работам являются: обеспечение точности размеров заготовок и деталей, а также высокое качество кромок среза – чистота, отсутствие заусенцев, перпендикулярность основной плоскости детали.

3.2. Классификация раскройных работ.

Методы и средства раскроя зависят от формы и размеров заготовок и деталей, марки материала и ее толщины. На рис. 3.1. дана классификация процессов раскроя листовых материалов [6] с указанием технологического оборудования и оснастки.

Заготовки и детали с прямолинейными резами больших размеров (500-3000 мм и более) из алюминиевых и магниевых сплавов раскраиваются на гильотинных ножницах. Крупногабаритные детали, имеющие криволинейные или смешанные резы раскраиваются путем фрезерования на специальных радиально-фрезерных, копировально-фрезерных станках, а также на фрезерных станках с числовым программным управлением.

Для обрезки припусков на крупногабаритных пространственных деталях, для резки стальных заготовок и деталей, а также для единичных случаев применяют раскрой на вибрационных, роликовых и дисковых ножницах.

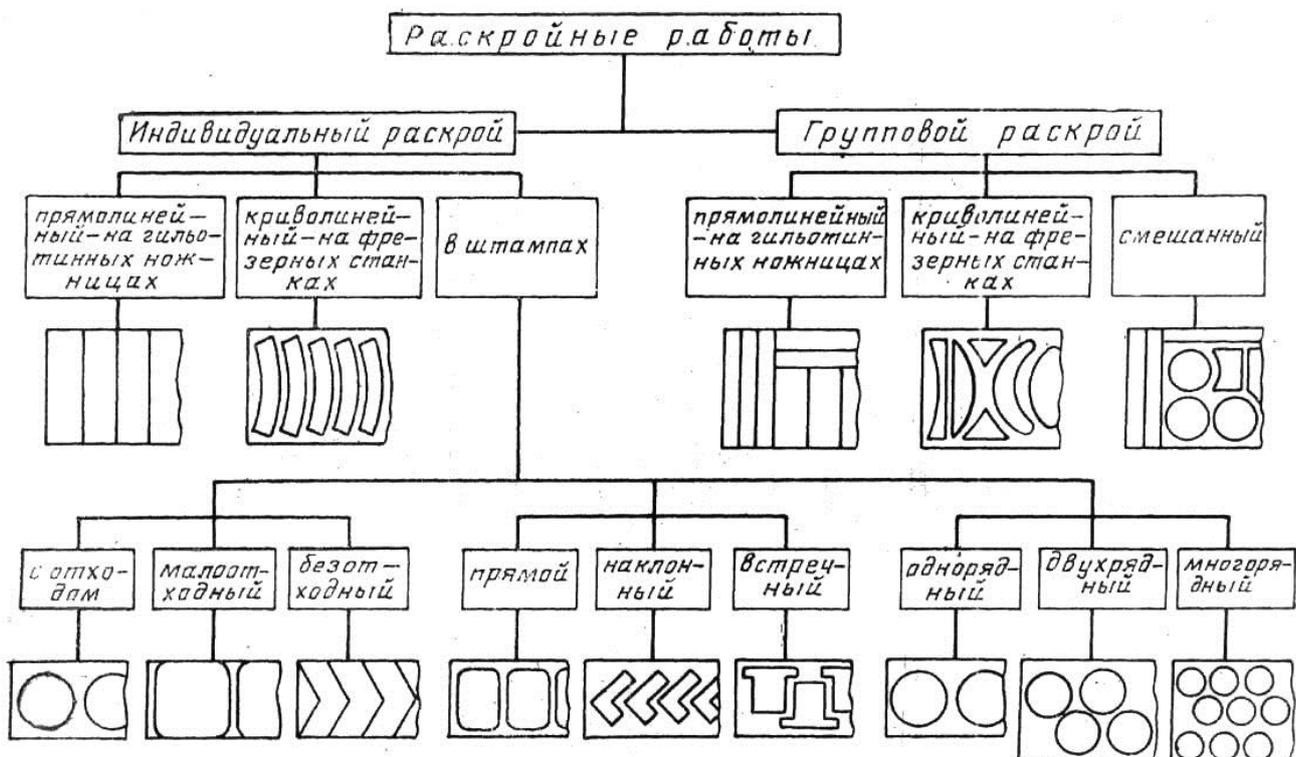


Рис. 3.1. Классификация процессов раскроя листовых полуфабрикатов.

Раскрой небольших плоских заготовок и деталей производится в специальных штампах.

Для деталей имеющих элементарную форму (круг, квадрат, прямоугольник и др.) коэффициент $K_{ин}$ можно определить аналитическим способом. Например, для круглых деталей, вырезаемых из полосы при однорядном раскroe:

$$K_{ин} = \frac{\pi d^2}{4(d + 2a)(d + b)},$$

а для двухрядного раскроя:

$$K_{ин} = \frac{\pi d^2}{2(d + 2a + \frac{d + b}{2} \sqrt{3})(d + b)},$$

где d – диаметр детали;

a и b – размеры внешней и внутренней перемычек.

Если принять в расчетах $a=b=s$ (s – толщина металла), то для однорядного раскроя $k_{им} \approx 0,7$, а для двухрядного $k_{им} \approx 0,78$.

Если полоса отрезается от листа, то при раскрое листа на полосы, также получают отходы, поэтому суммарный КИМ будет еще меньше.

Таким же путем рассчитывается $k_{им}$ для других деталей простых форм.

Для заготовок и деталей, имеющих сложные формы, составляются специальные раскройные карты, на основании которых планируется и осуществляется раскрой деталей, определяются нормы расхода материала на каждую деталь, размеры и количество отходов.

Раскройные карты выполняются на бумаге, в определенном масштабе, путем накладывания раскраиваемых деталей на листы стандартного формата.

По раскройной карте плазово-шаблонный цех изготавливает шаблон группового раскроя (ШГР), который представляет собой раскройную карту в натуральную величину, выполненную на металле (см. Табл. 2.2.). На ШГР должны размещаться различные детали комплектно на определенное количество выпускаемых машин (самолетов, вертолетов, ракет и проч.).

На основании раскройных карт определяется коэффициент использования материала:

$$k_{им} = \frac{\sum F_{дет}}{F_{л}}$$

где $\sum F_{дет}$ - суммарная площадь деталей;

$F_{л}$ - площадь раскраиваемого листа.

Определив значение $k_{им}$ можно затем определить норму расхода материала на каждую деталь $m_{пр}$, а также массу материала $m_{к}$, расходуемого на комплект деталей:

$$m_{пр} = \frac{m_{дет}}{k_{им}},$$

$$m_{к} = m_{пр} \cdot n = \left(\frac{m_{дет}}{k_{им}} \right) n,$$

где $m_{дет}$ - масса готовой детали;

n – количество деталей данного наименования на машину.

3.3. Механизмы деформирования и разделения при резке металлов.

Процесс резки при раскрое заключается в сдвиге одной части полуфабриката относительно другой под действием двух противоположенных сил, приложенных к заготовке ножами ножниц, либо матрицей и пуансоном штампа (рис. 3.2.).

На рис. 3.2. показана последовательность деформирования и разрушения заготовки:

а – при внедрении ножей в толщу металла от 0 до h_1 (см. д) происходит упругое сжатие и затем пластическая деформация в зоне режущих кромок – усилие P резко возрастает;

б – вблизи режущих кромок ножей возникают трещины вследствие достижения предельной пластической деформации;

в – соединение трещин, движущихся навстречу друг другу при достижении хода ножа h_2 – усилие P снижается;

г – разделение заготовки;

д – график зависимости P от h .

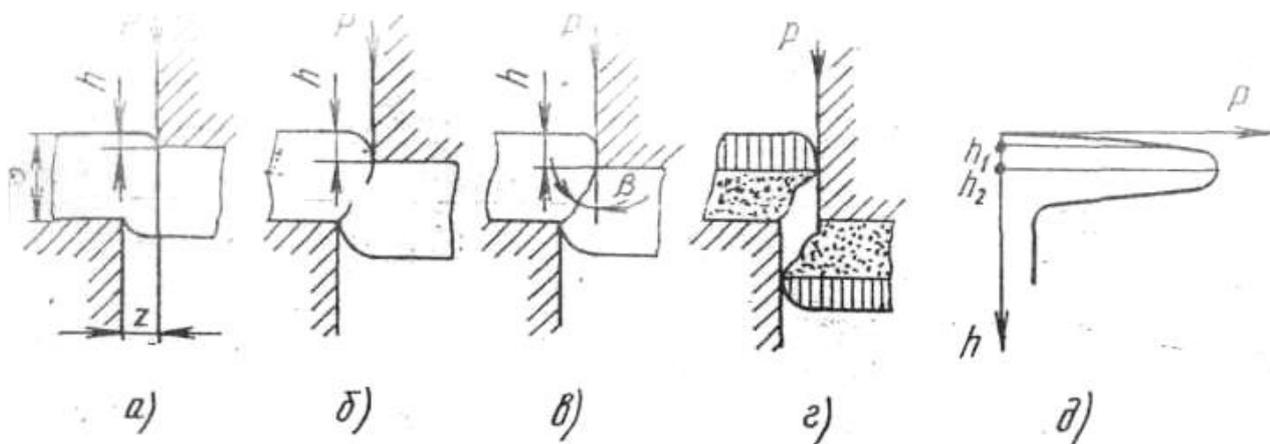


Рис. 3.2. Последовательность стадий деформирования и разрушения при резке на ножницах.

Величина h_2 различна для разных материалов: для упругих материалов совершенно незначительна, для пластичных – до $0,5s$.

В профиле среза заготовки (рис. 3.2, г) имеются две зоны: блестящие (с двух сторон заготовки) шириной h_2 – зоны непосредственного соприкосновения с ножами (заштрихованы вертикальными линиями), шероховатая (помеченная точками) – зона, образованная соединенными трещинами.

Угол наклона кромки среза β зависит от величины зазора z между ножами ножниц (матрицей и пуансоном штампов).

Определение деформирующего усилия P .

Подбор технологического оборудования и оснастки производится по максимальному деформирующему усилию, т. е. Когда $P = P_{\max}$ (см. рис. 3.2, д). Практически установлено что:

$$P_{\max} = \kappa L s \sigma_{cp} = \kappa \sigma_{cp} F_{cp},$$

где L – длина линии среза или периметр контура детали (при раскрое в штампах);

s – толщина заготовки;

σ_{cp} - сопротивление срезу (принято $\sigma_{cp} = \frac{P_{\max}}{F_{cp}}$);

F_{cp} - начальная площадь среза ($F_{cp} = Ls$).

Сопротивление срезу $\sigma_{cp} \approx (0,6 - 0,7) \sigma_s$ - у пластичных и $\sigma_{cp} \approx (0,75 - 0,85) \sigma_s$ - у упругих металлов.

Коэффициент $\kappa \approx 1,1 - 1,3$ учитывает притупление режущего инструмента, изменение зазора z , колебания толщины и свойств листовых полуфабрикатов.

Из приведенного уравнения видно, что для определенного металла единственным направлением уменьшения P_{\max} является снижение мгновенной площади резания F_{cp} . При раскрое на ножницах (например гильотинных) уменьшение мгновенной площади среза производится наклоном лезвия ножа на угол Θ (рис. 3.3.).

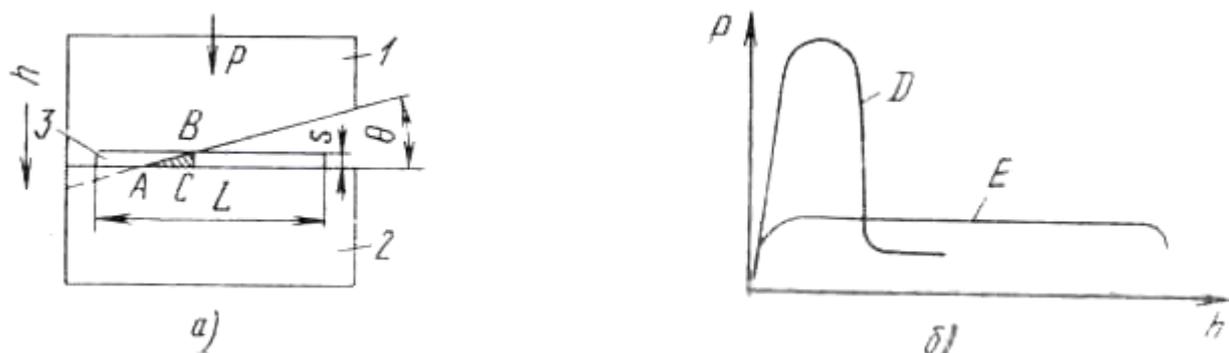


Рис. 3.3. Резка на ножницах:

а – резка с наклонным лезвием ножа;

б – графики усилий при резке: на ножницах с параллельными (кривая Д) и наклонными (кривая Е) лезвиями; 1, 2 – ножи; 3 – заготовка.

Из рисунка видно, что в каждый момент под лезвиями ножей находится лишь часть площади среза, равная площади треугольника АВС; эта мгновенная площадь определяется из формулы:

$$F_{cp} = \frac{S^2}{2 \operatorname{tg} \Theta},$$

Тогда усилие резания определяется по формуле:

$$P_{\max} = k \frac{\sigma_{cp} S^2}{2 \operatorname{tg} \Theta},$$

Угол наклона лезвий ножей принимается в пределах $\Theta = 3^\circ - 6^\circ$.

Площадь под графиком $P = f(h)$ (рис. 3.3, б) характеризует работу, затрачиваемую на пластическое деформирование и разрушение при резании.

Работа при резании одного и того же материала на ножницах с параллельными и наклонными лезвиями ножей должна быть одинакова, поэтому одна и та же работа производится в первом случае – большим усилием на коротком пути, во втором – небольшим усилием на длинном пути. Усилие резания с наклонными лезвиями ножей в десятки раз меньше, чем при резании параллельными лезвиями. Однако, для резки тонких листов, когда требуется повышенное качество реза и для резки неметаллов, применяются ножницы с параллельными ножами.

Зазор z между ножами (матрицей и пуансоном) должен подбираться так, чтобы трещины, образовавшиеся в зоне противоположных режущих кромок ножей, при своем развитии встретились в средних слоях заготовки.

Если известен угол β (см. рис. 3.2, в), то оптимальным будет зазор:

$$z = (s - h_1) \operatorname{tg} \beta.$$

Практикой установлено, что для упругих материалов $\beta=4^\circ$, а для пластичных - $\beta=6^\circ$.

При зазорах больше или меньше оптимального ухудшаются кромки реза и повышается усилие резания.

Для большинства деформируемых сплавов рекомендуется следующие зазоры:

- при толщине $s \leq 1$ мм – $z = (0,04 - 0,06)s$;
- при толщине $s = 1-2$ мм – $z = (0,06 - 0,1)s$.

При резке на штампах принимаются нижние пределы оптимальных зазоров, т. к. в процессе работы штампы изнашиваются.

3.4. Раскрой на ножницах.

В серийном производстве летательных аппаратов раскрой на ножницах является основным видом раскроя для деталей и заготовок, имеющих прямолинейные очертания контуров. Наиболее производительными являются раскрой на гильотинных (рис. 3.4, а, б) и на роликовых ножницах (рис. 3.4, в).

На гильотинных ножницах разрезают листы толщиной от 0,5 до 25 мм и длиной реза до 8000 мм.

Раскрой листов на гильотинных ножницах производят па упорам, пример настройки которой приведен на рис. 3.4, б. При резке сравнительно тонких заготовок ($s = 0,5 \div 2$ мм), если B полосы превышает 200-500 мм, то для предотвращения провисания отрезаемой полосы применяют передний упор. В обоих случаях полуфабрикат (лист) движется в направлении упоров.

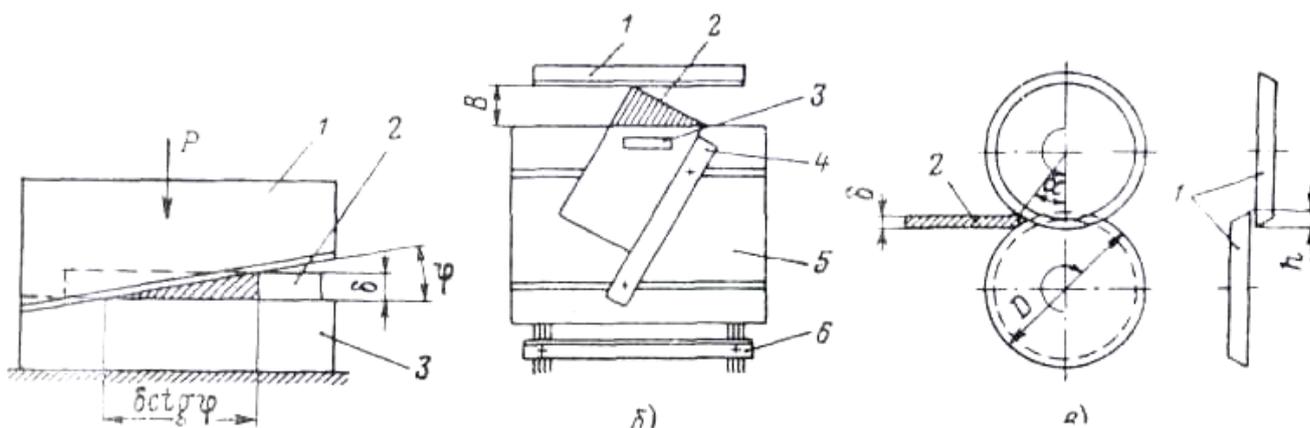


Рис. 3.4. Способы резки по прямым линиям.

а – гильотинными ножницами (1 – верхний нож, 2 – разрезаемый лист, 3 – нижний нож); б – схема настройки упоров на гильотинных ножницах (1 – задний упор, 2 – отрезаемая заготовка, 3 – прижим, 4 – боковой упор или направляющая линейка, 5 – стол ножниц, 6 – передний упор, В – расстояние между режущей кромкой нижнего ножа и задним упором); в – резка роликовыми ножницами (1 – ножи, 2 – разрезаемая заготовка).

Точность резки на гильотинных ножницах зависит от толщины листа, состояния режущих кромок ножей и конфигурации отрезаемой заготовки или детали. Например, для полос длиной до 2000 мм из листа толщиной 0,5-10 мм допуски на ширину от 50 до 500 мм составляют соответственно 0,25-3 мм.

При ручной подаче листов производительность гильотинных ножниц не превышает 25-30 резов в минуту. Для повышения производительности раскройных работ на ножницах необходимо автоматизировать подачу листов в зону реза.

Резка ленточного материала производится роликовыми ножницами (Рис. 3.4, в) со скоростью перемещения листового материала 15-35 м/мин. Верхние и нижние ролики вращаются в разные стороны, увлекая лист в зону резания силами трения. Захват и перемещения листа происходят в том случае, если угол захвата $\Theta_1 \leq 12^\circ$. Диаметр роликов должен составлять по величине $D \geq 30s$ (где s – толщина разрезаемого материала). Для облегчения разделения листа при раскросе один ролик должен заходить за другой (перекрытие) на величину $h=(0,2 \div 0,4)s$.

На роликовых ножницах также производится обрезка припуска на деталях после штамповки.

В серийном производстве для резки лент обычно применяются многороликовые ножницы, с регулируемым расстоянием между парами ножей.

Резку по криволинейным контурам листовых материалов из неметаллов, цветных сплавов, сталей и титана производят дисковыми и вибрационными ножницами (Рис. 3.5.).

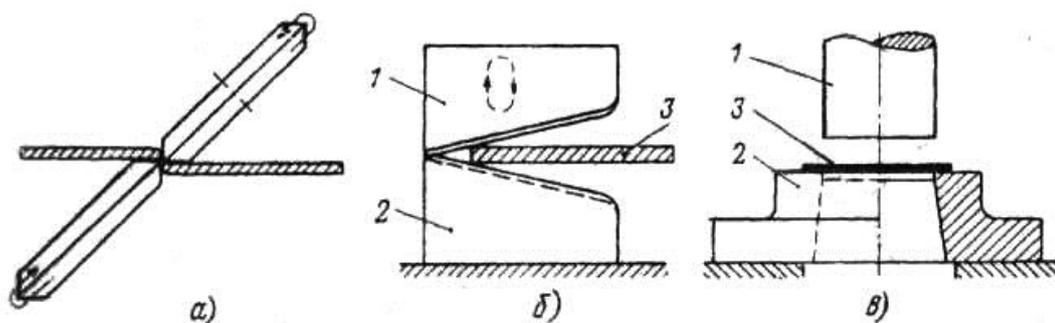


Рис. 3.5. Способы резки по криволинейным контурам:

а – дисковыми ножницами; б – вибрационными ножницами (1 – подвижный нож, 2 – неподвижный нож, 3 – разрезаемый лист); в – штампом (1 – пуансон, 2 – матрица, 3 – полуфабрикат).

Наклонно поставленные под углом 45° ножи позволяют в процессе резки поворачивать лист относительно ножей и вырезать заготовки и детали с криволинейными контурами.

Для возможности резки по кривой с малым радиусом кривизны диаметр ножей не должен быть более 60-70 мм. Такими ножами возможна резка по кривым с радиусом кривизны менее 40-50 мм. Толщина разрезаемого материала при этом не должна превышать $\frac{1}{30 D}$, т. е. 2,5 мм.

Резка на дисковых ножницах, как правило, производится вручную по разметке. Производительность резки при этом составляет 2-10 мм/мин. Дисковые ножницы применяют в единичном и мелкосерийном производстве.

Для вырезки заготовок и деталей из листового материала, а также для вспомогательных работ в единичном и мелкосерийном производстве используются вибрационные ножницы (рис. 3.5, б).

Подвижный нож ножниц с амплитудой 2-3 мм совершает 1200-2000 возвратно-поступательных движений в минуту. Нижний нож в процессе резки

может управляться, т. е. опускаться и подниматься, что позволяет в широком диапазоне изменять величину захода ножей и вырезать как по наружным, так и по внутренним прямолинейным и криволинейным контурам с минимальным радиусом кривизны 12-15 мм.

Качество реза и производительность резки на вибрационных ножницах значительно ниже, чем на роликовых и дисковых ножницах.

3.5. Раскрой в штампах.

Физический процесс вырезки заготовок и плоских деталей при помощи штампов аналогичен процессу резки на ножницах, т. е. процесс, заключается в сдвиге одной части полуфабриката относительно другой до появления микротрещин, идущих от режущих кромок, дальнейшего их соединения и отделения одной части заготовки от другой (рис. 3.6.).

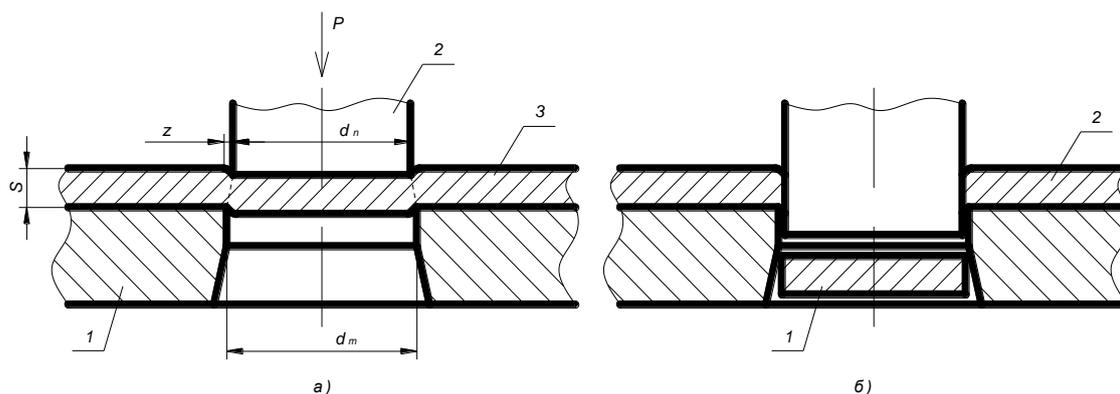


Рис. 3.6. Схема резки штампом.

а – начальный этап резки (1 – матрица, 2 – пуансон, 3 – заготовка); б – конечный этап резки (1 – деталь (отход), 2 – отход (деталь)).

Если после раскроя используется верхняя часть заготовки (позиция 4 рис. 3.6.), то она является деталью с отверстием диаметром d_n , а позиция 5 – заготовкой; если используется позиция 5, то она является круглой деталью диаметром d_n , а позиция 4 – заготовкой.

Усилие необходимое для резки в штампе определяется выражением:

$$P_{\max} = 1,3 L s \tau_{cp} = F_{cp} \sigma_{вр}$$

где P – усилие резки;

$1,3$ – коэффициент, учитывающий, неравномерность толщины заготовки и других свойств материала;

L – длина периметра реза;

s – толщина материала;

$\tau_{\text{ср}}$ – сопротивление материала срезу;

F – площадь реза;

$\sigma_{\text{вр}}$ – предел прочности материала.

На качество изделия и величину усилия необходимого для вырубki детали существенное влияние оказывает величина зазора z между режущими кромками матрицы и пуансона. На рис. 3.7. показана последовательность вырубki штампом при различных зазорах z .

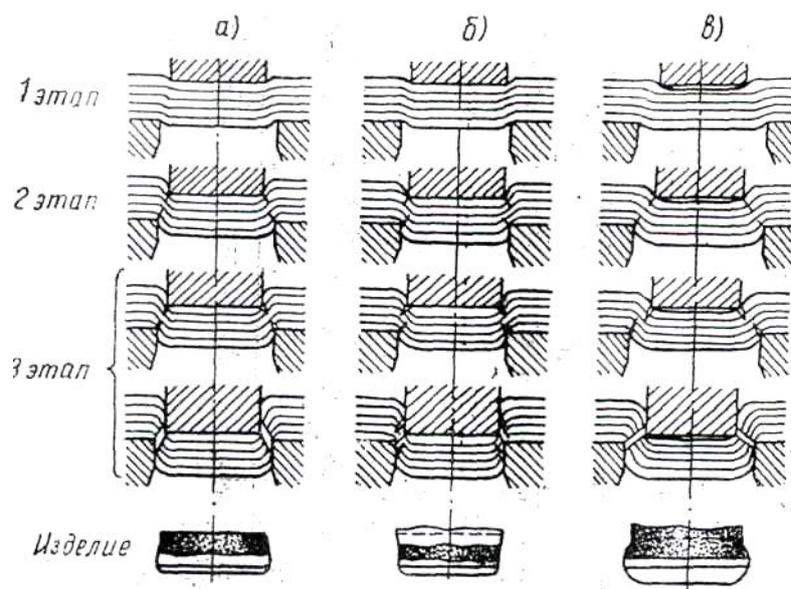


Рис. 3.7. Последовательность вырубki штампом с нормальным (а), слишком малым (б) и слишком большим (в) зазорами между матрицей и пуансоном.

На схеме (рис. 3.7.) видно, что на первом этапе происходит деформация листа; на 2 этапе – появление скалывающих трещин; на 3 этапе происходит распространение скалывающих трещин на всю толщину материала и полное его разделение. Распространение трещины по толщине материала происходит значительно быстрее углубления пуансона, и при нормальном зазоре z скалывающие трещины совпадают и дают срез без образования заусенцев. Уменьшение зазора z против нормального приводит к образованию неровной

поверхности среза изделия, к появлению заусенцев и увеличению усилия резки (рис. 3.7.). При излишне большом зазоре (рис. 3.7, в) образуется неразрывная кольцевая перемычка, которая при движении пуансона разрывается и образует шероховатую поверхность скалывания с большими рваными заусенцами, имеющими вид затянутых краев.

В производстве летательных аппаратов применяется большое разнообразие штампов, которые можно объединить в следующие группы (рис. 3.8.):

а) по назначению и характеру выполняемых работ (рис. 3.8.):

- вырубные штампы – отделяемая часть заготовки является деталью (рис. 3.8, а);

- пробивные штампы – отделяемая часть заготовки является отходом (рис. 3.8, б);

- отрезные штампы – одна деталь отделяется от другой (рис. 3.8, в);

- обрезные штампы – для удаления припуска с готовых деталей (рис. 3.8, г);

- надрезные – для выполнения надреза незамкнутого контура в заготовке (рис. 3.8, д);

- разрезной – для разделения деталей (рис. 3.8, е).

б) по конструкции:

- штампы открытые без направляющих. Эти штампы применяются для неточных работ, т. к. для них требуются увеличенные величины зазоров z . При работе этими штампами трудоемкость центрирования матрицы с пуансоном при установке их в прессе довольно высокая;

- штампы с направляющими колонками (рис. 3.9.). Эти штампы наиболее распространены в производстве. Они просто устанавливаются на прессе и обеспечивают большую точность воспроизведения контура детали.

Кроме указанных конструкций иногда применяют штампы упрощенной конструкции: пластинчатые, листовые и др.

Вырубные штампы по характеру действия подразделяются на штампы: простого действия (за один ход пресса изготавливается одна деталь или

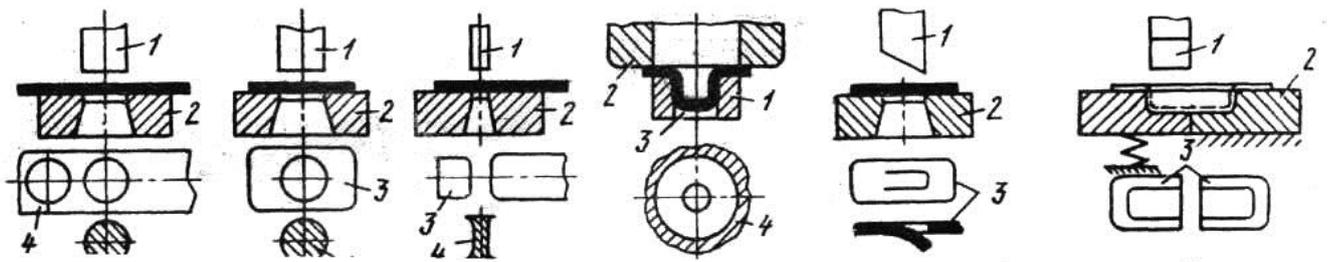


Рис. 3.8. Классификация штампов по назначению:

a – вырубной; *б* – пробивной; *в* – отрывной; *г* – обрезной; *д* – надрезной; *е* – разрезной.

1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – деталь; 4 – отходы.

пробивается одно отверстие); последовательного действия, совмещенного действия, группового раскроя и универсальные.

В вырубном штампе простого действия за один ход плунжера пресса изготавливается одна деталь или пробивается одно отверстие.

В штампах последовательного действия заготовка или деталь изготавливается за два или более ходов пресса. На рис. 3.9. изображен штамп, в котором из полосы получают деталь за три хода пресса, т. е. за три перемещения вверх и вниз верхней части штампа с пуансоном 3. За первый ход пресса в полосе пробивается одно отверстие, за второй ход – два отверстия, а за третий ход вырезается деталь.

При высоких требованиях к точности размеров детали и точности взаимного расположения, вырубаемых в ней контуров в условиях крупносерийного производства используются штампы совмещенного действия. С технологической точки зрения эти штампы наиболее совершенны, т. к. за один ход пресса на них вырубается деталь по внешнему контуру, и пробиваются соответствующие отверстия. Схема штампа совмещенного действия для вырубки детали сложной формы показана на рис. 3.10.

Применение штампов совмещенного действия в условиях мелкосерийного производства экономически не оправдывается, так как их изготовление чрезвычайно дорого.

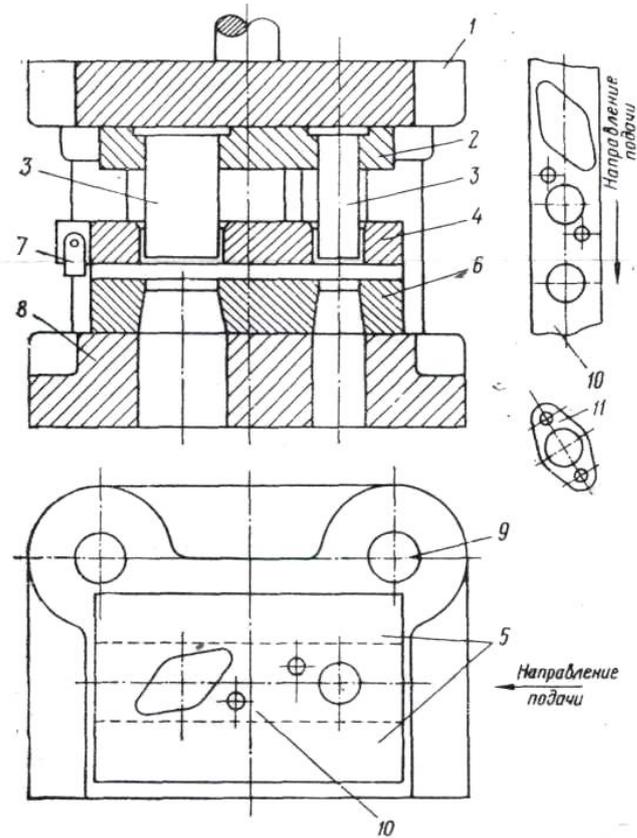


Рис. 3.9. Штмп последовательного действия:

1 – верхний башмак; 2 – держатель пуансона; 3 – пуансоны; 4 – сьемник; 5 – направляющие полосы; 6 – матрица; 7 – упор; 8 – нижняя плита; 9 – направляющая колонка; 10 – заготовка; 11 – готовая деталь.

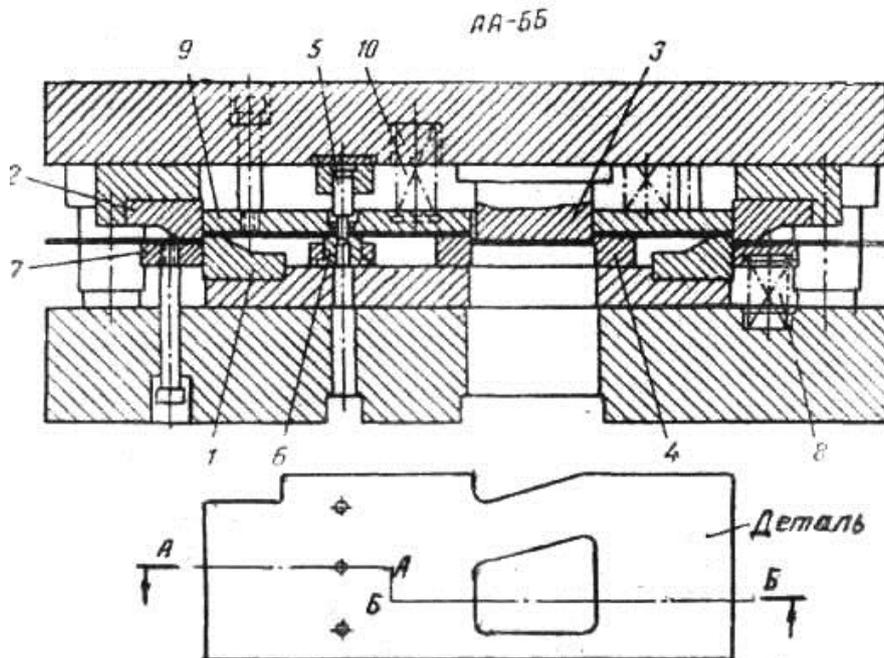


Рис. 3.10. Схема штампа совмещенного действия.

1 и 2 – пуансон и матрица для вырубкн внешнего контура детали; 3 и 4 – пуансон и матрица для вырубкн окна; 5 и 6 – пуансоны и матрицы для пробивки отверстий; 7 – сьемник листа; 8 – пружина сьемник; 7, 9 – сьемники детали; 10 – пружина сьемника 9.

В мелкосерийном и опытном производстве применяются универсальные штампы, позволяющие изготавливать детали за несколько ходов пресса по элементам. Стоимость этих штампов в 10 – 15 раз ниже стоимости специальных штампов. Для раскроя на универсальных штампах можно применять пресса более малой мощности.

Штампы группового раскроя позволяют за один ход плунжера пресса вырубать несколько деталей, например, на рис. 3.11. изображена схема штампа для вырубki 24^х деталей.

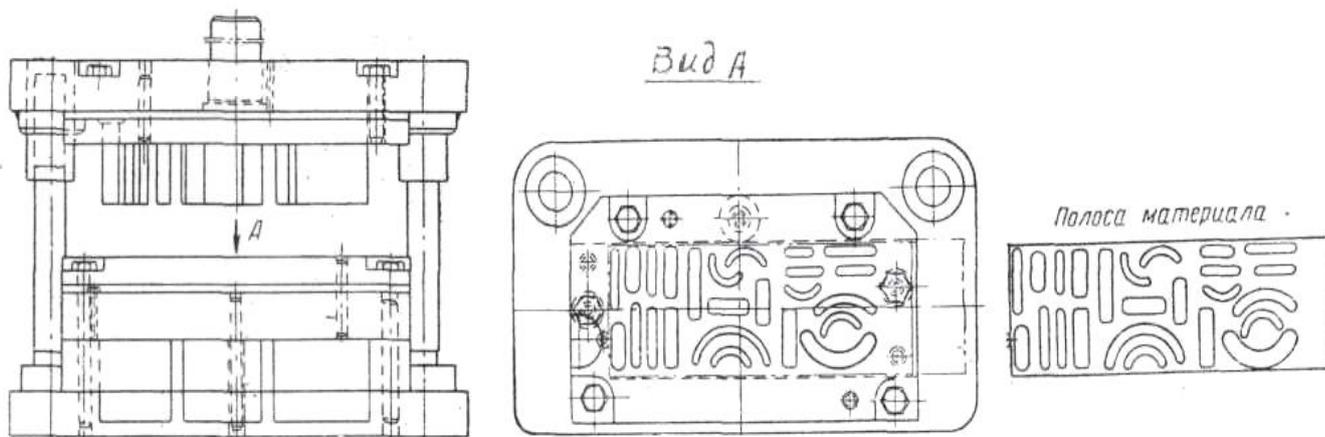


Рис. 3.11. Штамп группового раскроя листа.

Применение штампов группового раскроя повышает производительность труда и снижает стоимость деталей за счет сокращения времени на переналадку пресса и снижения технологической стоимости оснастки. Кроме того, применение штампов группового раскроя повышает коэффициент использования материала (КИМ).

Раскрой при помощи штампов с эластичными матрицами.

Для упрощения и удешевления вырубного штампа можно в качестве универсальной матрицы использовать эластичный материал – резину или полиуретан. При штамповке-вырезке резиной (рис. 3.12.) функции матрицы выполняет резина 1, а функции пуансона – вырезной блок 2, имеющий в плане форму и размеры вырезаемой детали.

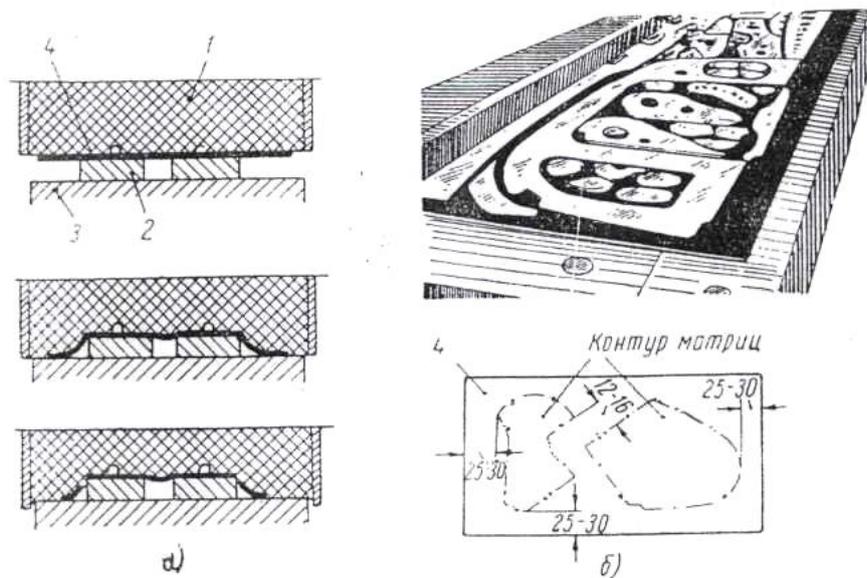


Рис. 3.12. Штамповка-вырезка резиной.

а – схема процесса вырезки; б – групповая штамповка-вырезка деталей при помощи резины; 1 – резина; 2 – вырезной блок; 3 – подштамповая плита; 4 – заготовка.

При помощи резины или полиуретана можно производить групповую вырезку деталей. В этом случае вырезные блоки размещаются на подштамповой плите прессы и вырезку деталей производят из целого листа, накладываемого на блоки.

На рис. 3.13. показана типовая конструкция универсального блока для вырезки-пробивки полиуретаном листовых заготовок.

Универсальные блоки для вырезки полиуретаном, устанавливаемые на быстроходные прессы и работающие под высоким давлением 50 – 100 МПа должны быть снабжены перепускным клапаном 10 (см. рис. 3.13.) в целях предотвращения разрежения в полости контейнера и выпрессовки из него подушки при обратном ходе после вырезки. Клапаны устанавливаются в отверстия подштамповой плиты, а подклапанные пространства соединяются с атмосферой.

Вырезные шаблоны простой конфигурации толщиной 2-3 мм изготавливаются из инструментальной стали марок У8, У10. Более сложные по конфигурации шаблоны изготавливаются из сплавов Х12, Х12Ф.

Вырезку небольшого количества деталей из мягких алюминиевых, магниевых и медных сплавов толщиной менее 1,5 мм можно производить на незакаленных вырезных шаблонах, на них можно изготовить 50-100 деталей. Ориентированная стойкость шаблонов изготовленных с термической обработкой составляет: 50-60 тысяч деталей при вырезке из материалов невысокой прочности и 20-30 тысяч деталей при вырезке деталей из более прочных материалов.

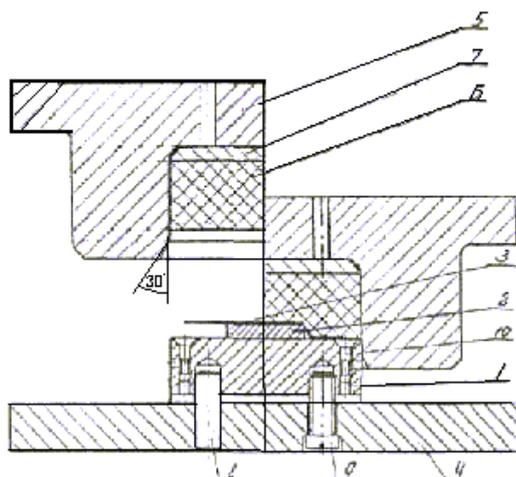


Рис. 3.13. Конструкция универсального блока для вырезки-пробивки полиуретаном:

1 – подштамповая плита; 2 – вырезной шаблон; 3 – заготовка; 4 – нижняя плита; 5 – контейнер-обойма; 6 – полиуретановая подушка; 7 – пластина для удаления изношенного полиуретана; 8 – штифт; 9 – винт; 10 – перепускной клапан.

Режущие свойства шаблонов восстанавливаются перешлифовкой рабочей поверхности шаблона.

3.6. Раскрой на фрезерных станках и ленточных пилах.

Криволинейный раскрой крупногабаритных деталей из алюминиевых, магниевых и титановых сплавов производится, как правило, на специальных фрезерных станках. В промышленности до последнего времени все еще находят применение вертикально-фрезерные, радиально-фрезерные и копировально-фрезерные станки, на которых раскрой ведется с использованием шаблонов фрезерования (ШФ) (рис. 3.14.).

Пакеты листов из нержавеющей стали и титановых сплавов фрезеруют трехзубыми концевыми фрезами диаметром 14 мм (из быстрорежущей стали) на

копировально-фрезерных станках. Толщина пакета без предварительной вырезки 4-6 мм и 8-10 мм по периферии.

Пакеты карточек или листов из алюминиевых и магниевых сплавов фрезеруют двузубыми концевыми фрезами диаметром 8 мм на радиально-, вертикально- и копировально-фрезерных станках. Толщина пакета в пределах 10-12 мм.

На вертикально-фрезерных станках вырезают детали небольших размеров из пакета карточек. Пакет, скрепленный совместно с шаблоном перемещается рабочим вручную (рис. 3.14, а). Крупногабаритные детали и заготовки (размером до 1000-3000 мм) при групповом раскрое вырезают на радиально-фрезерных станках. Пакт листов с ШФ закрепляют на столе (рис. 3.14, б). Фрезерную головку перемещают вручную. Отход материала при групповом раскрое сравнительно небольшой – 10-25%.

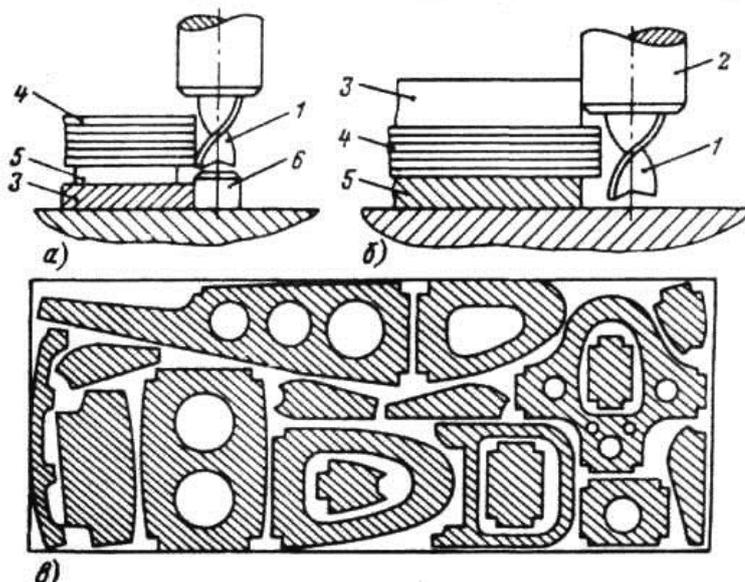


Рис. 3.14. Раскрой деталей фрезерованием.

а – на вертикально-фрезерном станке; б – на радиально-фрезерном станке; в – пример карты группового раскроя. 1 – фреза; 2 – копирное кольцо; 3 – шаблон (ШФ); 4 – пакет листов или карточек; 5 – подкладка; 6 – палец.

Шаблоны ШФ на пакете листов фиксируют и закрепляют по отверстиям, которые сверлятся сверлильной головкой, имеющейся на втором хоботе радиально-фрезерного станка. На этих станках при раскрое деталей сначала по

шаблону группового раскроя (ШГР) сверлят в пакете листов все отверстия диаметром обычно 2,5-3 мм.

Листы из алюминиевых и магниевых сплавов размером до 1200×7000 мм раскраивают, как правило, на копировальном сверлильно-фрезерном станке.

В современном авиа-космическом производстве для раскройных работ широкое применение имеют раскройные станки со следящими приводами и с числовым программным управлением, например, станки РФП-1, РФП-2.

Раскрой на ленточных пилах применяют при распиловке заготовок из листов и плит с последующим фрезерованием кромок, а также для резки органического стекла, текстолита, сотовых блоков, труб и др.

Режущим инструментом ленточной пилы является «бесконечная» пильная лента, движущаяся между двумя вращающимися шкивами (рис. 3.15.).

Ленточные пилы не оснащаются технологическими приспособлениями, резка производится по разметке при ручной подаче обрабатываемой заготовки. Вследствие нежесткости пильного полотна точность раскроя получается невысокой. Поэтому этот метод резки редко применяется в заготовительно-штамповочных работах.

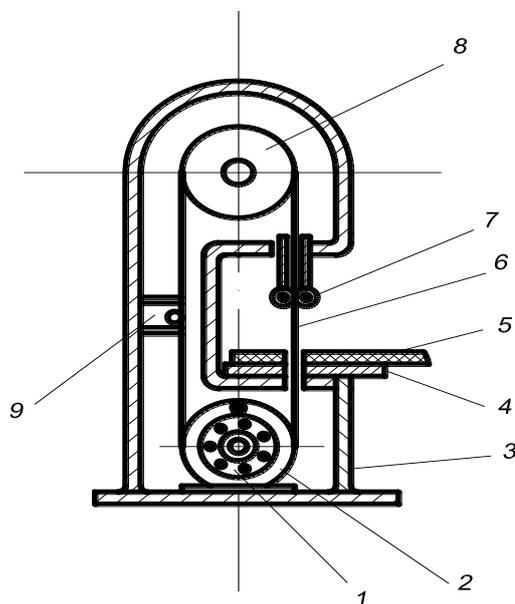


Рис. 3.15. Схема ленточной пилы: 1 – электродвигатель; 2 – ведущий шкив; 3 – станина; 4 – стол; 5 – заготовка; 6 – пильная лента; 7 – роликовые упоры; 8 – верхний шкив; 9 – прижимной ролик.

3.7. Электрохимические и электрофизические методы раскроя.

При электрохимических и электрофизических способах резки отсутствует механическое воздействие инструмента на заготовку. Разделение заготовки происходит вследствие превращения твердого состояния заготовки в зоне обработки в жидкое или газообразное состояние. Эту функцию выполняют источники питания (преобразователи электрического тока) и соответствующий каждому способу инструмент (электроды, горелки, сопла и др.).

Анодно - механическая резка применяется для раскроя заготовки из коррозионно-стойких сталей, жаропрочных сплавов и других трудно-обрабатываемых материалов. Этим методом резки раскраивают заготовки из листов, профилей, труб и прутков.

Станки для анодно-механической резки делятся на две группы – дисковые и ленточные. Режущим элементом для дисковых станков является электрод-инструмент, выполненный в виде диска (рис. 3.16.) из малоуглеродистой стали или латуни.

Сущность разделения заготовки заключается в том, что под действием электрического тока металл заготовки в электролите растворяется, и на его поверхности образуется пассивированная пленка, которая снимается вращающимся диском. При этом возникает электрический разряд, тепловое воздействие которого вызывает местное расплавление металла. Образующийся

шлам выносится из межэлектродного промежутка диском.

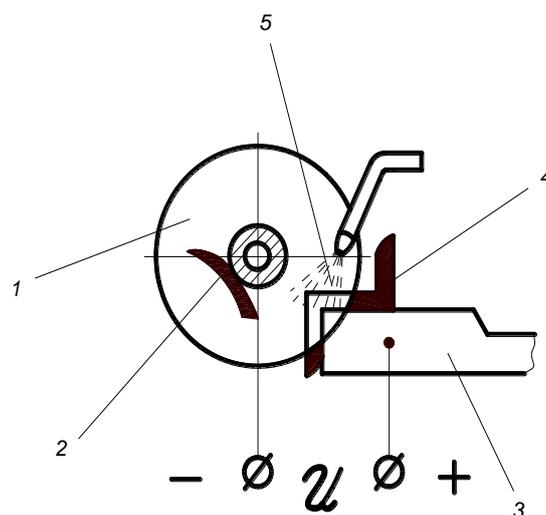


Рис. 3.16. Схема процесса резки на дисковых анодно-механических станках:

1 – диск; 2 – щетка; 3 – зажимное устройство; 4 – заготовка; 5 – электролит.

На ленточных анодно-механических станках возможна вырезка деталей по криволинейному контуру. Электродом-инструментом у этих станков служит бесконечная стальная лента толщиной от 0,8 до 1,4 и шириной от 15 до 40 мм.

При анодно-механической резке используются генераторы постоянного тока либо трансформаторы и выпрямители, подающие к электроду-инструменту (катод) и заготовке (анод) постоянное напряжение 22-30 В (ток – 60-2000 А).

Для резки толстолистовых металлов применяется п л а з м е н н а я р е з к а при температуре дуги от 10000 до 20000 °С. Плазменными горелками можно резать заготовки из алюминиевых сплавов толщиной до 125 мм, коррозионно-стойких сталей до 100 мм.

Одним из преимуществ плазменной резки по сравнению с электрической и газовой резки является то, что на поверхности реза окалина плавится и уносится вместе с расплавленным металлом плазменной струей. Благодаря высокому качеству кромок после плазменной сварки не требуется механическая обработка поверхностей реза.

Э л е к т р о э р о з и о н н у ю о б р а б о т к у применяют для раскроя листов из жаропрочных и коррозионно-стойких сталей.

В качестве режущего инструмента для электроэрозионной резки применяется медная лента либо медная, латунная или вольфрамовая проволока. На рис. 3.17. показана электроэрозионная резка при помощи проволоки.

Большинство станков с электродом-инструментом в виде проволоки оснащены копировальной системой с автоматическим регулированием скоростей подачи по координатам X и Y.

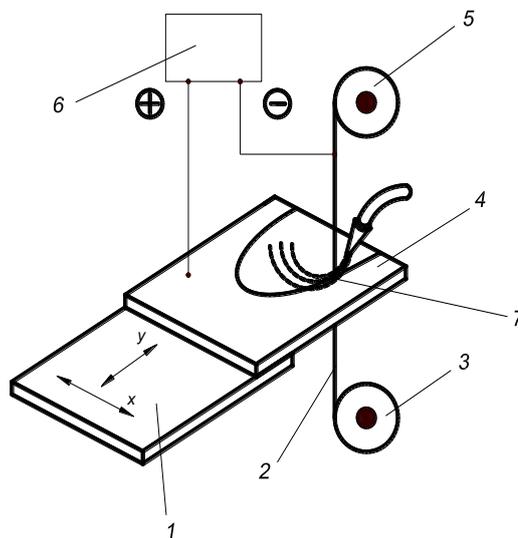


Рис. 3.17. Схема электроэрозионной резки:

- 1 – стол; 2 – электрод-инструмент;
- 3 – нижняя катушка; 4 – электрод-заготовка;
- 5 – верхняя катушка; 6 – генератор импульсов; 7 – электролит.

Наиболее точными и высокопроизводительными станками являются станки с числовым программным управлением, а также станки с оптической координатной установкой, позволяющие вырезать детали непосредственно по увеличенному чертежу.

Газолазерная резка мощностью 0,5 кВт применяется для резки углеродистых сталей толщиной до 10 мм, жаропрочных сталей СН-3, 2Х13, ВСН-2 до 2,5 мм, титановых сплавов ВТ-5, ВТ-14, ОТЧ-1 толщиной до 1,5 мм.

Недостатком газоплазменной резки является то, что этим способом затруднена резка материалов с высокой теплопроводностью, а также металлов с высоким коэффициентом отражения излучения оптических квантовых генераторов. Такими материалами являются, например, алюминий, медь, латунь, тантал, молибден, вольфрам.

Глава IV. Гибочные процессы.

4.1. Общие сведения.

Гибка – это процесс формообразования деталей одинарной кривизны, основанный на упруго-пластическом деформировании путем приложения внешних нагрузок на листовые, профилированные или трубчатые заготовки.

В таблице 1.1. приведены характерные детали летательных аппаратов, изготавливаемые путем гибки, например, детали II-III классов; VII класса – 2÷4 типы; VIII класса – 2 тип; IX класса.

Напряженно-деформированное состояние в зоне изгиба узких полос листового материала и широкого листа несколько отличаются друг от друга: при изгибе узкой полосы (рис. 4.11, а) материал беспрепятственно деформируется в поперечном направлении (по оси z) ε_z вследствие чего нормальные напряжения в этом направлении практически отсутствуют; при изгибе широкой заготовки (листа) деформации по всей ее ширине (за исключением зон, прилегающих к концам) стеснены. Вследствие этого по оси z возникают нормальные напряжения σ_z , которые вызывают искривление сечения детали в плоскости y_z и приводят к образованию седловины (рис. 4.1, б) (седловина на рисунке показана утрировано).

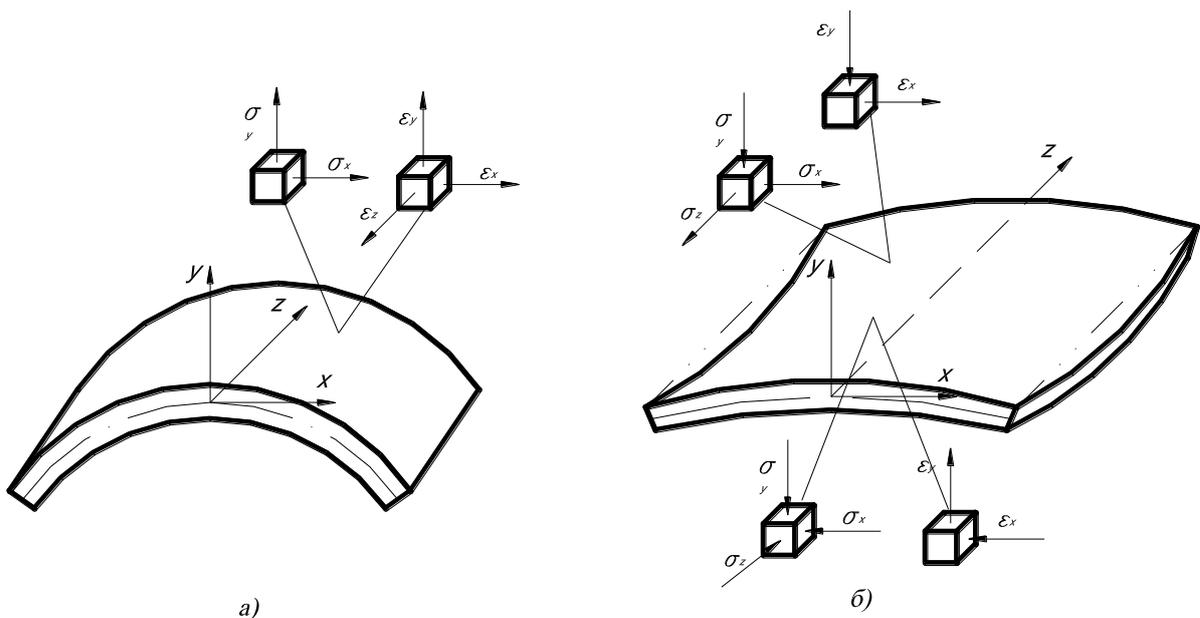


Рис. 4.1. Напряженно-деформированное состояние в зоне изгиба ϕ узкой полосы (а) и широкого листа (б).

При анализе процесса гибки применяют гипотезу плоских сечений, согласно которой исходные плоские сечения заготовки остаются плоскими и после ее гибки, например, сечения $ABCD$ и $A_1B_1C_1D_1$ плоские в неизогнутой зоне остаются плоскими и в изогнутой зоне $A_1B_1C_1D_1$ (рис. 4.2.).

Зона гибки характеризуется радиусом и углом изгиба φ . Различают внутренний $R_{вн}$ и наружный $R_{н}$ радиусы гибки, а также R_0 – радиус нейтрального слоя, характеризующий кривизну поверхности внутри заготовки, которая разграничивает растянутую и сжатую зоны по толщине заготовки.

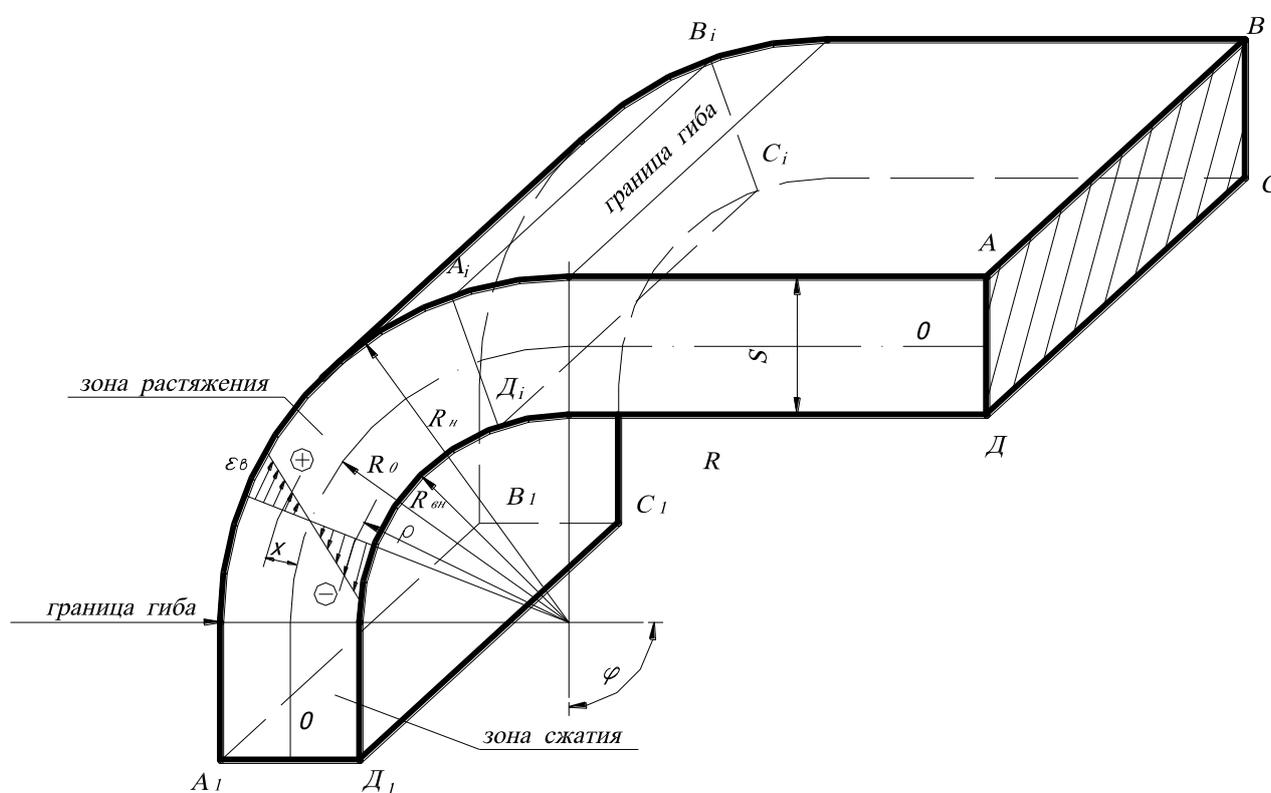


Рис. 4.2. Распределение тангенциальных (касательных) деформаций при гибке.

Н а п р я ж е н н о - д е ф о р м и р о в а н н о е с о с т о я н и е .

Гипотеза плоских сечений практически соблюдается при упругих и малых упругопластических деформациях, но для технических расчетов можно применить эту гипотезу для всех других случаев.

Для любого волокна, расположенного на расстоянии ρ по сечению изгиба (рис. 4.2.) относительная тангенциальная деформация растяжения ϵ_θ определяется по формуле:

$$\epsilon_\theta = \frac{\rho - R_o}{R_o} = \frac{\chi}{R_o} \quad (4.1.)$$

Если нейтральный слой совпадает со средней линией сечения то:

$$\sigma_\theta = \frac{s}{2R_o} = \frac{1}{2\overline{R_o}}, \quad (4.2.)$$

где $\overline{R_o} = \frac{R_o}{s}$ - относительный радиус изгиба.

Для упрощения анализа напряженно-деформированного состояния заготовки будем считать что гибка производится моментом (на практике гибка может производиться усилием и моментом). При гибке моментом можно предположить, что вдоль всего очага деформации действует изгибающий момент M одного значения, определяющий везде постоянную кривизну.

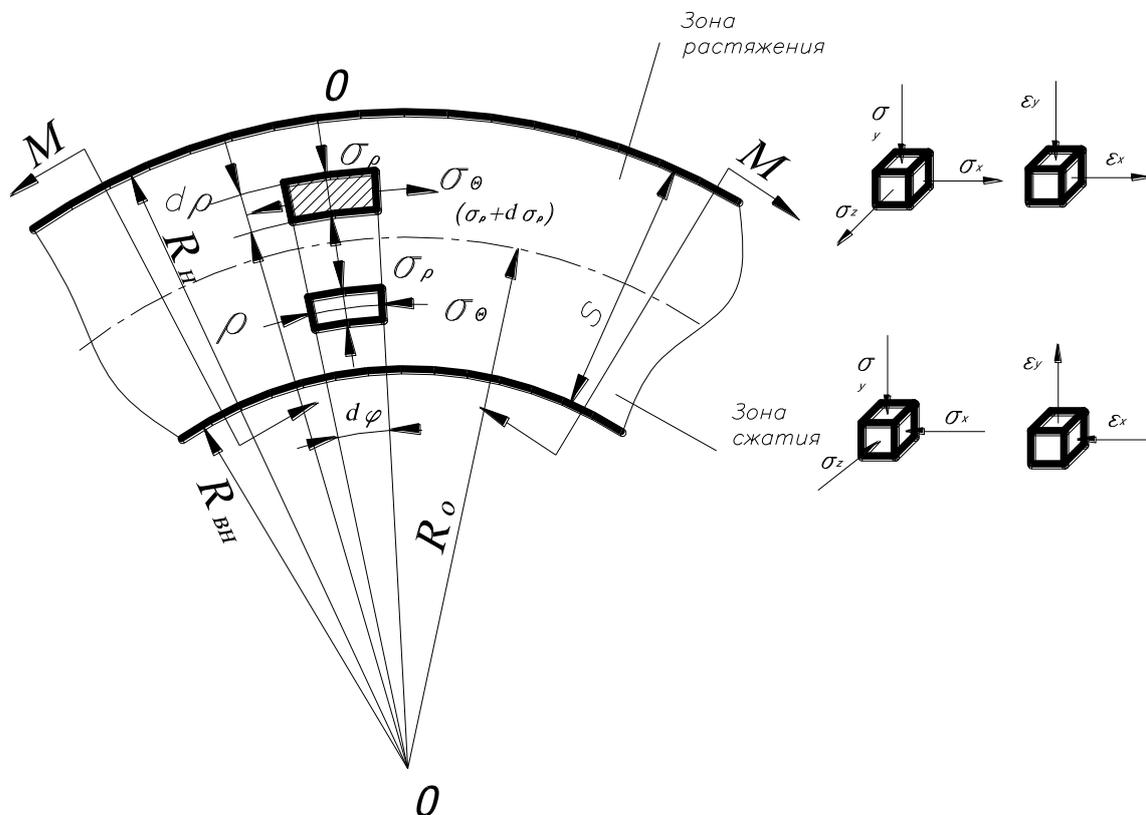


Рис. 4.3. Схема напряженно-деформированного состояния заготовки при гибке моментом M .

При гибке заготовки малым радиусом в очаге деформации наряду с тангенциальными напряжениями σ_θ и деформациями ε_θ возникают радиальные напряжения σ_ρ и деформации ε_ρ вследствие надавливания изогнутых волокон друг на друга, а также аксиальные напряжения σ_z для широкой заготовки (рис. 4.3.) [6].

Как видно из схемы, в очаге деформации возникает объемное напряженное и плоское деформированное состояние. Так как при изгибе моментом отсутствуют перерезывающие силы, указанные напряжения принимаются главными.

Распределение напряжений по очагу деформаций приближенно устанавливается путем совместного решения уравнений равновесия и уравнений пластичности.

Для определения величины радиального напряжения совместно решаются уравнение равновесия (4.3.) и уравнение пластичности (4.4.):

$$\frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{\rho} = 0 ; \quad (4.3.)$$

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = \sigma_s ; \quad (4.4.)$$

$$\frac{d\sigma_\rho}{d\rho} - \frac{\sigma_s}{\rho} = 0 ;$$

откуда $d\sigma_\rho = \sigma_s \frac{d\rho}{\rho} ; \quad (4.5.)$

$$\sigma_\rho = \sigma_s \int \frac{d\rho}{\rho} ;$$

$$\sigma_\rho = \sigma_s \ln \rho + C ; \quad (4.6.)$$

Постоянная C интегрирования определяется из условия: если $\rho = R_n$, то $\sigma_\rho = 0$, т. е.

$$C = -\sigma_s \ln R_n ;$$

$$\sigma_{\rho} = -\sigma_s \ln \frac{R_n}{\rho} \quad (4.7.)$$

Подставляя σ_{ρ} в уравнение (4.4.) получим:

$$\sigma_{\theta} = \sigma_s \left(1 - \ln \frac{R_n}{\rho} \right); \quad (4.8.)$$

Среднее главное напряжение σ_z для плоскодеформированного состояния будет определяться выражением

$$\sigma_z = \frac{\sigma_{\rho} + \sigma_{\theta}}{2},$$

Аналогично определяются уравнения для σ_{ρ} и σ_{θ} в сжатой зоне:

$$\sigma_{\rho} = -\sigma_s \ln \frac{\rho}{R_{вн}} \quad (4.9)$$

$$\sigma_{\theta} = -\sigma_s \left(1 + \ln \frac{\rho}{R_{вн}} \right); \quad (4.10)$$

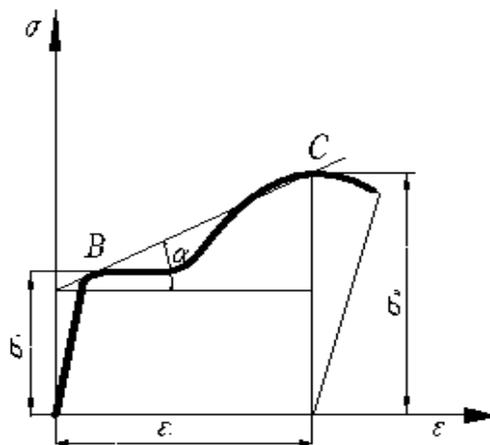


Рис. 4.4. График зависимости между σ и ε .

Приведенные уравнения не учитывают упрочнения (внутреннего наклепа), принималось, что с ростом деформаций напряжения не возрастают и везде остаются равными пределу текучести. При более строгом расчете необходимо учесть, что в процессе изгиба положение нейтрального слоя изменяется, и волокна близ этого слоя переходят из зоны сжатия в зону растяжения.

Чтобы учесть упрочнение металла, нужно принять уравнение пластичности (4.4) в другой форме, с учетом упрочнения, и вновь решать его совместно с уравнением равновесия при тех же граничных условиях.

Уравнение пластичности с учетом упрочнения можно записать так:

$$\sigma_{\rho} - \sigma_{\theta}^i = \sigma_s^i + E_1 \varepsilon_{\theta}, \quad (4.11)$$

где E_1 - модуль упрочнения;

σ_{θ}^i - экстрополированный предел текучести в нейтральном слое.

При изгибе деформация в любом волокне определяется уравнением (4.1), и тогда уравнение пластичности будет иметь следующий вид:

$$\sigma_{\rho} - \sigma_{\theta} = \sigma_s^i + E_1 \frac{\rho - R_0}{R_0} \quad (4.12)$$

Модуль упрочнения E_1 определяется из графика зависимости между σ и ε (рис. 4.4.).

Численно модуль упрочнения E_1 определяется тангенсом угла α :

$$E_1 = \operatorname{tg} \alpha, \text{ или } E_1 = \frac{(\sigma_u - \sigma_s)}{\varepsilon_u}$$

Чтобы определить σ_{ρ} и σ_{θ} следует решить уравнение (4.12) совместно с уравнением (4.3).

Тангенциальные напряжения σ_{θ} по высоте растянутой зоны изменяются от минимального на нейтральном слое, когда $\rho = R_0$ до σ_s на внешнем слое, когда $\rho = R_u$. В сжатой зоне наоборот: на нейтральном слое, когда $\rho = R_0$ σ_{θ} имеет максимальное значение, а на внешнем слое – минимальное и равное σ_s .

Из анализа уравнений (4.7) - (4.10) следует, что радиальные напряжения σ_{ρ} на внешних растянутых ($\rho = R_u$) и на внутренних сжатых слоях ($\rho = R_{\text{вн}}$) слоях равны нулю. Максимальное значение они принимают на нейтральном слое, когда $\rho = R_0$.

Если $\frac{R_{н}}{\rho}$ и $\frac{\rho}{R_{нв}}$ приближаются к единице, то напряжения σ_{ρ} в растянутой и

сжатой зонах приближаются к нулю, и тогда в сечении заготовки остаются только тангенциальные напряжения σ_{θ} . Это может быть в том случае, когда радиус изгиба велик в сравнении с толщиной заготовки. Расчеты показывают, что $\sigma_{\theta} = 1,13 \sigma_s$ при $R_{нв} = 3s$, поэтому с незначительной ошибкой для $\frac{R_{нв}}{s} > 3$

можно принять схему напряженного состояния линейной. Тогда, на основании уравнений (4.8) и (3.10) напряжения по сечению заготовки соответственно в растянутой и сжатой зонах будут равны:

$$\sigma_{\theta} = \sigma_s; \quad -\sigma_{\theta} = \sigma_s, \quad (4.13)$$

или принимая во внимание (3.12), с учетом упрочнения:

$$\sigma_{\theta} = \sigma_T + E_1 \frac{\rho - R_0}{R_0}; \quad \sigma_{\theta} = -(\sigma_T + E_1 \frac{\rho - R_0}{R_0}) \quad (4.14)$$

Уравнения (4.7) и (4.9) устанавливают распределение радиальных напряжений по высоте сечения в растянутой и сжатой зонах. На границах этих зон, т. е. на нейтральном слое, напряжения σ_{ρ} , определенные как по уравнению (4.7) так и по уравнению (4.9), должны быть одинаковыми.

Подставив в указанные уравнения R_0 вместо ρ , приравняв их и решив относительно R_0 получим:

$$R_0 = \sqrt{R_{нв} R_{н}} \quad (4.15)$$

Если учесть, что радиус R_{cp} срединного слоя определяется выражением $R_{cp} = \frac{R_{нв} + R_{н}}{2}$, а $R_{н} = R_{нв} + s$, то при помощи уравнения (4.15) можно определить величину относительного смещения нейтрального слоя от срединной поверхности в зависимости от относительного радиуса $\overline{R_{нв}}$ изгиба.

Из выражения (4.15) можно получить выражение для расчета относительного смещения нейтрального слоя от срединного:

$$c = \frac{R_{cp} - R_0}{s} = 0,5 + \frac{R_{\text{вн}}}{s} - \sqrt{\frac{R_{\text{вн}}^2}{s^2} + \frac{R_{\text{вн}}}{s}} \quad (4.16).$$

При гибке по малым радиусам растяжению подвергается большая часть сечения заготовки, а сжатию – меньшая. Это приводит к некоторому уменьшению толщины заготовки в зоне изгиба.

В процессе гибки, в соответствии с уравнением (4.16) положение нейтрального слоя с изменением кривизны будет также изменяться: в начальный момент, при малой кривизне, $R_0 = R_{cp}$, а в конце процесса $R_0 = R_{cp} - cs$. Это означает, что волокна вблизи срединного слоя меняют знак деформаций: вначале они находились в зоне сжатия, а затем переходят в зону растяжения.

Гибка поперечным усилием P (рис. 4.5.) обладает некоторыми особенностями. В этом случае в очаге деформаций кроме изгибающего момента действуют перерезывающие силы, которые обуславливают появление касательных напряжений в радиальном направлении.

Изгибающий момент M_e , а следовательно и кривизна $1/R_0$ в очаге деформаций (участок между опорами) распределены неравномерно: вблизи опор значение их минимально, а в центральной части, где действуют сосредоточенная сила P – максимально. Вблизи опор, небольшой момент изгибает заготовку лишь упруго, кривизна здесь тоже мала; в зоне приложения силы P кривизна имеет большое значение, и здесь возникают пластические деформации и остаточная кривизна.

В процессе гибки силы, моменты и кривизна непрерывно изменяются. Параметры процесса достигают экстремальной величины при достижении заготовкой требуемой кривизны и угла изгиба; эти параметры подлежат определению.

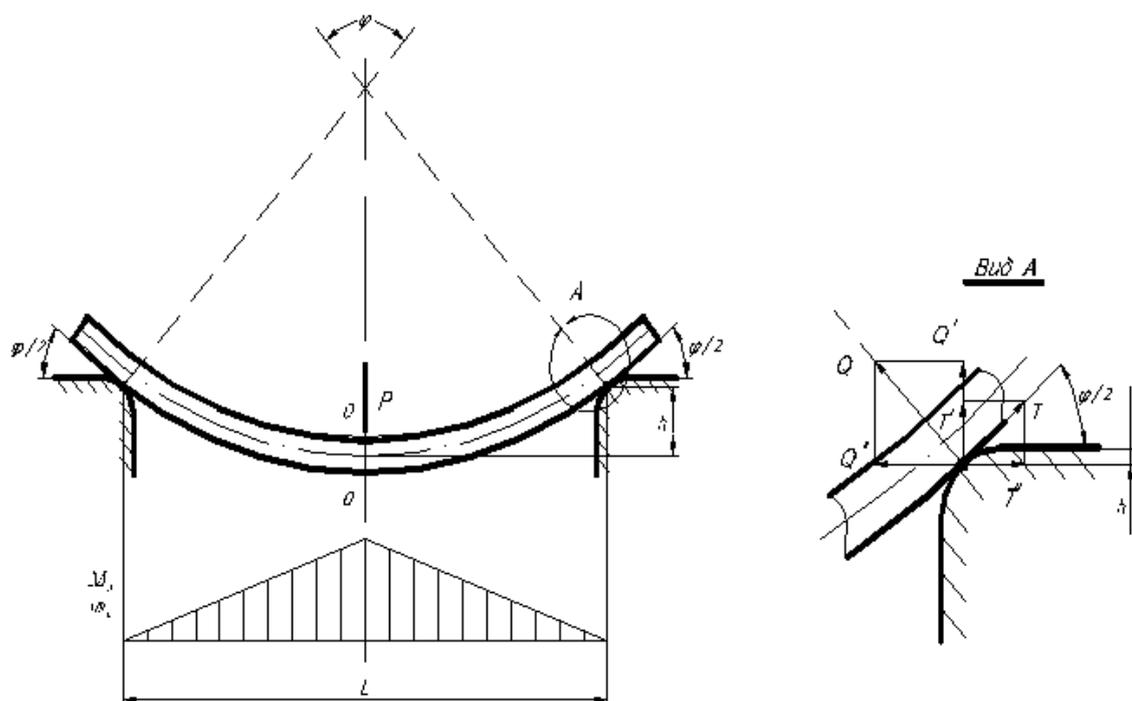


Рис. 4.5. Распределение сил, моментов и кривизны по очагу деформации при гибке поперечной силой.

Далее решаются задачи по расчету параметров процесса, знание которых необходимо при разработке технологических процессов.

4.2. Расчет усилий при гибке.

При любом способе гибки кривизна заготовки образуется вследствие действия силы P , создающей внешний изгибающий момент M_e . Как видим из рис. 4.5. значение этого момента является переменной величиной и в каждом сечении зависит от его расстояния от опор.

Технологическое оборудование подбирается по величине потребной внешней силы P . Эта сила определяется из равенства момента M_e внешней силы P для сечения с наибольшей кривизной моменту M_{in} внутренних сил, действующих в том же сечении. В качестве расчетной схемы свободной гибки примем заготовку лежащую на двух опорах (рис. 4.5.). Сила P вызывает силы реакции Q на опорах, а перемещение заготовки на опорах обуславливает появление силы трения T :

$$T = \mu Q, \quad (4.17)$$

где μ - коэффициент трения скольжения.

Максимальный изгибающий момент $M_{\text{с}}$ в сечении ОО сложится из моментов сил Q и T:

$$M_{\text{с}} = (Q' + T') \frac{l}{2} + (Q'' - T'') h, \quad (4.18)$$

где h - прогиб заготовки.

Из геометрических соображений:

$$Q' = Q \cos \frac{\varphi}{2}; \quad Q'' = Q \sin \frac{\varphi}{2}; \quad T' = \mu Q \sin \frac{\varphi}{2}; \quad T'' = \mu \cos \frac{\varphi}{2}. \quad (4.19)$$

Из условий равновесия сил:

$$P = 2(Q' + T') = 2Q \left[\cos \frac{\varphi}{2} + \mu \sin \frac{\varphi}{2} \right], \quad Q = \frac{P}{2 \left(\cos \frac{\varphi}{2} + \mu \sin \frac{\varphi}{2} \right)} \quad (4.20)$$

Подставляя значение Q в уравнение (4.19), а затем уравнение (4.19) – в (4.18) получим:

$$M_{\text{с}} = P \left[\frac{l}{4} + \frac{h}{2} \frac{\sin \frac{\varphi}{2} - \mu \cos \frac{\varphi}{2}}{\cos \frac{\varphi}{2} + \mu \sin \frac{\varphi}{2}} \right], \quad (4.21)$$

Если не учитывать силу трения $\mu = 0$, то момент $M_{\text{с}}$ можно определить по формуле:

$$M_{\text{с}} = \frac{P}{2} \left(\frac{l}{2} + h \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) \quad (4.22)$$

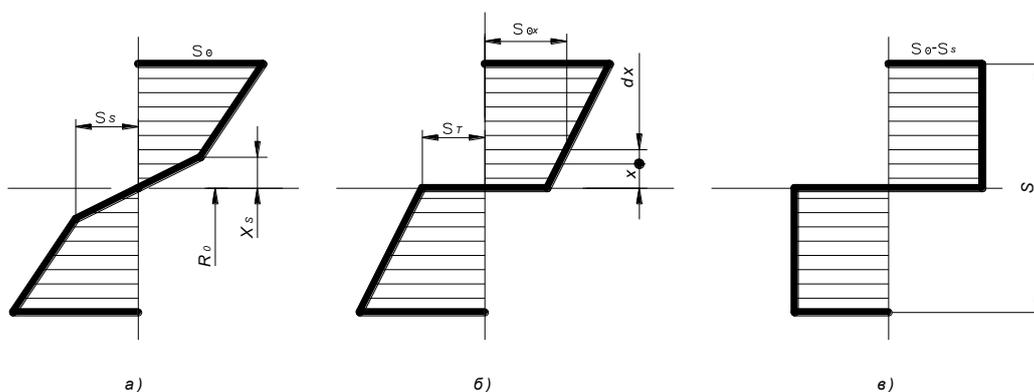


Рис. 4.6. Распределение касательных напряжений σ_{θ} по толщине сечения изгибаемой заготовки.

a – при упруго-пластическом изгибе с упрочнением; *б* – то же без упругой зоны; *в* – при пластическом изгибе без упрочнения.

Для определения момента внутренних сил $M_{вн}$ необходимо задаться законом распределения нормальных напряжений σ_{θ} по высоте сечения. На рис. 4.6. показаны упрощенные эпюры распределения по толщине сечения напряжений σ_{θ} для различных случаев гибки.

Упруго-пластическое деформирование возникает при гибке по большому радиусу в холодном состоянии, когда деформации, определенные уравнением (4.1), невелики. При малых радиусах изгиба ($R_0 \leq 3s$) ширина упруго-деформированного слоя (χ_s) мала и этой величиной можно пренебречь, т. е. считать, что по всей толщине заготовки металл деформируется пластически – распределение напряжений σ_{θ} соответствует эпюре Рис. 4.6, б. При горячем деформировании, когда $\sigma_{\theta} = \sigma_s = const$ (рис. 4.6, в).

Значение элементарного момента $dM_{вн}$ в обозначениях Рис. 4.6, б выражается уравнением:

$$dM_{вн} = \sigma_{\theta x} B x dx \quad , \quad (4.24)$$

где B – ширина заготовки, $B dx$ – элементарная площадь, на которой действуют нагрузки $\sigma_{\theta x}$.

С учетом упрочнения для любого значения x напряжение $\sigma_{\theta x}$ определяется следующим выражением:

$$\sigma_{\theta x} = \sigma_s' + E_1 \frac{x}{R_0}, \quad (4.25)$$

где σ_s' - экстраполированный предел текучести на нейтральном слое.

С учетом уравнения (4.1) уравнение (4.24) примет вид:

$$dM_{\theta i} = (\sigma_s' + E_1 \frac{x}{R_0}) Bx dx \quad (4.26)$$

$$M_{\theta i} = 2\sigma_s' \int_0^{\frac{s}{2}} Bx dx + \frac{2E_1}{R_0} \int_0^{\frac{s}{2}} Bx^2 dx \quad (4.28)$$

$$M_{\theta i} = \sigma_s' \frac{Bs^2}{4} + \frac{E_1}{R_0} \frac{Bs^3}{12}, \quad (4.29)$$

$$\text{или } M_{\theta i} = \sigma_s' S + \frac{E_1}{R_0} J,$$

где S – статический момент сечения;

J – момент инерции сечения.

Без учета упрочнения ($E_1 = 0$) уравнение (4.29) примет вид:

$$M_{\theta i} = \sigma_s' \frac{Bs^2}{4}, \quad (4.30)$$

где B – ширина гйба,

σ_s' – напряжение в нейтральном слое,

S – толщина материала.

Для определения усилия необходимо приравнять моменты внешних и внутренних сил. Для общего случая принимаются уравнения (4.21) и (4.28).

$$P = \frac{S_s' \frac{Bs^2}{4} + \frac{E_1}{R_0} \frac{Bs^3}{12}}{\frac{l}{4} + \frac{h}{2} \frac{\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}} \quad (4.31)$$

Опыты показывают, что максимальные усилия при расстоянии между опорами $l=6-12$ наблюдается в диапазоне углов $\varphi = 30^\circ - 60^\circ$.

Усилие начального момента гибки при $\varphi = 0$; $\mu = 0$; $E_1' = 0$ будет равно:

$$P = \sigma_s' \frac{Bs^2}{l} \quad (4.32)$$

Во всех других случаях гибки, сосредоточенной силой сохраняется основное условие равенства внешнего и внутреннего моментов, и разница будет заключаться лишь в определении плеча внешнего усилия.

4.3. Пружинение при гибке.

Угол изгиба пластически изогнутой заготовки после снятия внешней нагрузки вследствие упругого восстановления металла изменяется. Волокна растянутой зоны сокращаются, а сжатой – удлиняются в соответствии с величиной упругих деформаций ϵ_y . В результате каждое сечение изогнутой заготовки повернется на соответствующий угол, например, сечения AA и BB под действием упругих деформаций разворачиваются в положение A'A' и B'B' (рис. 4.7, б). Такое явление называется п р у ж и н е н и е м.

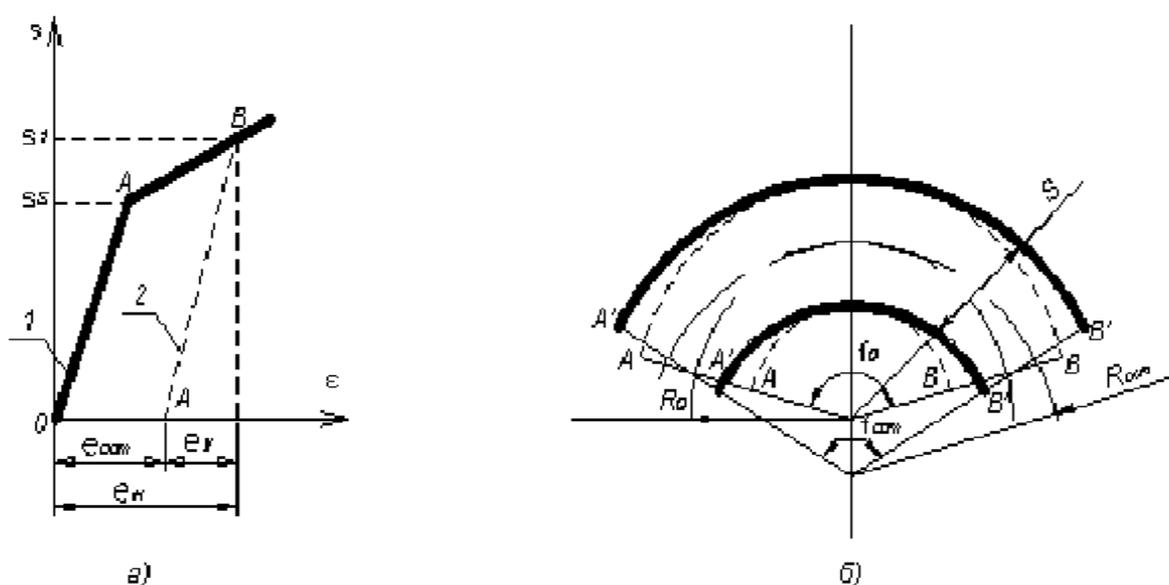


Рис. 4.7. Пружинение после снятия внешних нагрузок.
а – при растяжении; б – при изгибе.

Рассмотрим физическую сущность пружинения на примере деформирования растяжением [6].

На диаграмме растяжения (рис. 4.7, а) показана связь между напряжениями σ и деформациями ε не только во время нагрузки, но и при разгрузке. Ломанная 1 соответствует стадии нагружения, активной стадии, здесь ОА – участок упругой деформации, а участок АВ – пластическая деформации. Прямая 2 соответствует стадии разгрузки, пассивной стадии деформирования: она параллельна прямой ОА упругой части диаграммы нагружения. Пересечение этой прямой с осью ε разделяет истинную деформацию $\varepsilon_{и}$ на остаточную $\varepsilon_{ост}$ и упругую ε_y , которая исчезает при разгрузке. На стадии разгрузки не происходит пластической деформации, а упругая деформация может быть рассчитана по закону Гука. Тогда истинная деформация $\varepsilon_{и}$ рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon_{и} = \varepsilon_{ост} + \varepsilon_y = \varepsilon_{ост} + \frac{\sigma_1}{E}. \quad (4.33)$$

Длина образца $l_{ост}$ после пружинения становится меньше длины $l_{и}$ в конце действия нагрузки и равна $l_{ост} = l_{и} (1 - \varepsilon_y)$.

Рассмотрим, как влияет пружинение на форму изогнутых деталей. Изменение длины волокон выше и ниже нейтрального слоя приводит к изменению радиуса R_0 и угла изгиба φ_0 при действии внешнего момента. Остаточный радиус $R_{ост} > R_0$, остаточный угол $\varphi_{ост} < \varphi_0$.

В соответствии с теоремой о разгрузке можно записать

$$\frac{1}{R_{ост}} = \frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_y}. \quad (4.34)$$

Приближенно связь между кривизной и изгибающим моментом можно представить:

$$\frac{1}{R_y} = \frac{M}{EJ}, \quad (4.35)$$

где $J = \frac{Bs^3}{12}$ - момент инерции заготовки;

B – ширина заготовки;

s – толщина материала.

С учетом уравнения (4.35) уравнение (4.34) примет вид:

$$\frac{1}{R_{\text{ост}}} = \frac{1}{R_0} - \frac{M_B}{EJ} \quad (4.36)$$

или

$$R = \frac{R_0}{1 - \frac{M_B R_0}{EJ}} \quad (4.37)$$

Если учесть, что длина нейтрального волокна при разгрузке остается постоянной, то:

$$R_0 \varphi_0 = R_{\text{ост}} \varphi_{\text{ост}} \quad (4.38)$$

Угол пружинения равен:

$$\Delta \varphi = \varphi_0 - \varphi_{\text{ост}} \quad (4.39)$$

С учетом уравнений (4.37) и (4.38) получим:

$$\Delta \varphi = \varphi_0 \left(1 - \frac{R_0}{R_{\text{ост}}}\right) = \varphi_0 \frac{M_B R_0}{EJ} \quad (4.40)$$

Повысить точность гибки можно путем уменьшения величины изгибающего момента за счет уменьшения σ_s и E_1 . Этого можно достичь штамповкой деталей из заготовок в свежезакаленном или отожженном состоянии. Далее высокой точности гибки можно достичь при деформировании заготовки в нагретом состоянии, когда резко уменьшается σ_s , а $E_1=0$, тогда момент определяется уравнением (4.30), а подстановка его в уравнения (4.37) и (4.40) дает:

$$R_{\text{ост}} = \frac{R}{1 - 3 \frac{\sigma_s R_0}{E S}} \quad (4.41)$$

$$\Delta \varphi = 3 \varphi_0 \frac{\sigma_s R}{E S} \quad (4.42)$$

Также пружинение можно снизить, если прикладывать к заготовке тангенциальные растягивающие усилия.

Практика показывает, что значение угла пружинения $\Delta\varphi$ может составлять для алюминиевых сплавов и пластичных сталей 2-6°, а для высокопрочных материалов 15-18°.

Пружинение увеличивается с увеличением относительного радиуса изгиба $\frac{R_p}{s}$. Полностью упругий изгиб наступает, как следует из уравнений (4.41) и (4.42)

при условии, когда $\frac{\sigma_s R_0}{E s} = 1$.

При проектировании штампа необходимо учесть пружинение заготовки: угол на штампе должен быть равен $\varphi_{дет} + \Delta\varphi$, где $\varphi_{дет}$ – угол изгиба детали, а радиус изгиба (R_0) при заданном радиусе детали $R_{дет}$ определяется по формуле:

$$R_0 = \frac{R_{дет}}{1 + R_{дет} \frac{M_a}{EJ}} \quad (4.43)$$

Значение радиусов даны по срединному слою заготовки: внутренний радиус изгиба $R_{вн}$, по которому делается пуансон, равен $R_{вн} = R_0 - \frac{s}{2}$.

Приведенные выше уравнения не всегда обеспечивают совпадение расчетных и практических данных, т. к. на результаты расчетов влияют: несовпадение нейтрального слоя деформаций и напряжений; колебания механических характеристик заготовок, в частности σ_s , E_1 ; отклонения толщины материала от номинального и др.

Технологические пути снижения пружинения.

Можно спроектировать технологический процесс, обеспечивающий минимальную величину пружинения $\Delta\varphi$. Например, для изготовления особо точных деталей гибку можно производить следующими способами:

▲ Изгиб в две операции: предварительный изгиб без растяжения, термообработка (отжиг или закалка) для разупрочнения материала и снятия остаточных напряжений; изгиб с растяжением – заготовка почти не изгибается, в

основном она растягивается, что значительно уменьшает ϕ , а следовательно, и пружинение.

▲ Изгиб с растяжением и кратковременным нагревом заготовки радиационным способом, либо нагревом штампа или комбинированным способом.

Вследствие понижения склонности материала заготовки к упрочнению в условиях нагрева приводит к повышению точности, и тем больше, чем выше температура нагрева. Температурный интервал принимается в пределах: для Д16 и В95 – 350-450°C, АМг6 – 460°C, МА8 – 250-400°C, ВТ1 – 350-400°C, ОТ4 – 500-700°C.

Гибка с растяжением и одновременным нагревом применяется для формообразования профильных деталей из высокопрочных материалов.

4.4. Минимальный радиус гибки.

Для листовых заготовок степень деформаций при гибке ограничивается предельными степенями деформаций растяжения. При чрезмерно малых радиусахгиба по внешней поверхности детали образуются трещины. Если в уравнении (4.2) принять $\varepsilon_{\theta\max} = \varepsilon_{\text{доп}}$ ($\varepsilon_{\text{доп}}$ - предельно-допустимая деформация), то относительный радиус будет иметь минимально допустимое значение, т. е. $R_0 = R_{0\min}$. Из этого же уравнения:

$$\overline{R}_{0\min} = \frac{R_{0\min}}{s} = \frac{1}{2\varepsilon_{\text{доп}}} \quad (4.44)$$

При малых радиусахгиба в опасной зоне возникает шейка (сужение). Можно принять за допустимую деформацию растяжения деформацию, соответствующую максимальному сужению ψ в шейке в момент разрыва образца при испытании на растяжение. Тогда можно записать:

$$\varepsilon_{\text{доп}} = \frac{\psi}{1 - \psi} \quad (4.45)$$

Подставляя значение $\varepsilon_{\text{доп}}$ в (4.44) получим:

$$\left(\frac{R_0}{s}\right)_{\min} = \frac{1-\psi}{2\psi} \quad \text{или} \quad \left(\frac{R_{\text{вн}}}{s}\right)_{\min} = \frac{1-2\psi}{2\psi}. \quad (4.46)$$

Для малопластичных металлов ($\psi=0,1$) $R_{\text{вн min}}=4s$; для среднепластичных ($\psi=0,2$) $R_{\text{вн min}}=1,5s$; для высокопластичных ($\psi=0,3$) $R_{\text{вн min}}=0,66s$.

Приведенный метод расчета $R_{0\min}$ носит приближенный характер, т. к. здесь не учитываются многие факторы, влияющие на процесс гибки.

Величины $R_{0\min}$ для наиболее распространенных конструкционных материалов приводятся в справочниках, а также в заводских нормалях. Например, для отожженного алюминиевого сплава Д16АМ $R_{\text{вн}}=(1,5-2,0)s$, для закаленного $R_{\text{вн}}=(3-4)s$; для стали 12Х18Н10Т $R_{\text{вн}}=s$; для титанового сплава ВТ1 при нагреве до 300-400°С $R_{\text{вн}}=(1,5-2,0)s$, для ВТ5 при той же температуре $R_{\text{вн}}=(3-4)s$.

4.6. Способы гибки и применяемое оборудование.

В производстве летательных аппаратов для изготовления гнутых деталей из листов, профилированных плит, профилей и тонкостенных труб, широко применяют методы свободной гибки и гибки профилированным инструментом (штампом). При гибке штампом получаемая деталь по форме соответствует профилю штампа.

Свободная гибка осуществляется в двух вариантах: гибка универсально-гибочным штампом (рис. 4.8, а-е) и гибка прокаткой на валковых или роликовых станках (рис. 4.8, д-ж).

Свободная гибка на универсально-гибочных штампах используется в основном для изготовления деталей с относительно малым радиусом изгиба $\bar{\rho} < 8-10$ мм.

По известным значениям $\bar{\rho}_{\min}$ и φ определяют ширину ручья L матрицы и ход H пуансона.

Универсально-гибочные штампы используют в единичном и серийном производстве для изготовления деталей различного профиля (рис. 4.8, в) из

листового материала. Гибочные штампы устанавливаются на специальные кривошипно-шатунные прессы с узкой станиной длиной до 5050 мм.

Гибка прокаткой на валковых станках применяется в производстве летательных аппаратов для изготовления цилиндрических и конических обшивок и обечаек.

Гибка на валковых станках по силовому воздействию на заготовку не отличается от гибки универсально-гибочным штампом (рис. 4.8, д). Процесс формообразования при гибке прокаткой заключается в непрерывном изменении формы заготовки при приложении к ней изгибающего усилия через вращающиеся валки.

Гибка прокаткой производится на трех или четырехвалковых станках. При гибке тремя симметрично расположенными валками на входной и выходной зонах заготовки остаются прямолинейные концы (рис. 4.8, д), длина которых равна расстоянию между линиями касания заготовки со средним и крайним валками. При гибке на асимметрично расположенных валках прямолинейные участки получаются более коротче (рис. 4.8, е). Для полного изгиба кромок необходима кантовка заготовки. Гибка на асимметричных станках требует больших усилий, поэтому листы большой толщины гнут на симметричных валках.

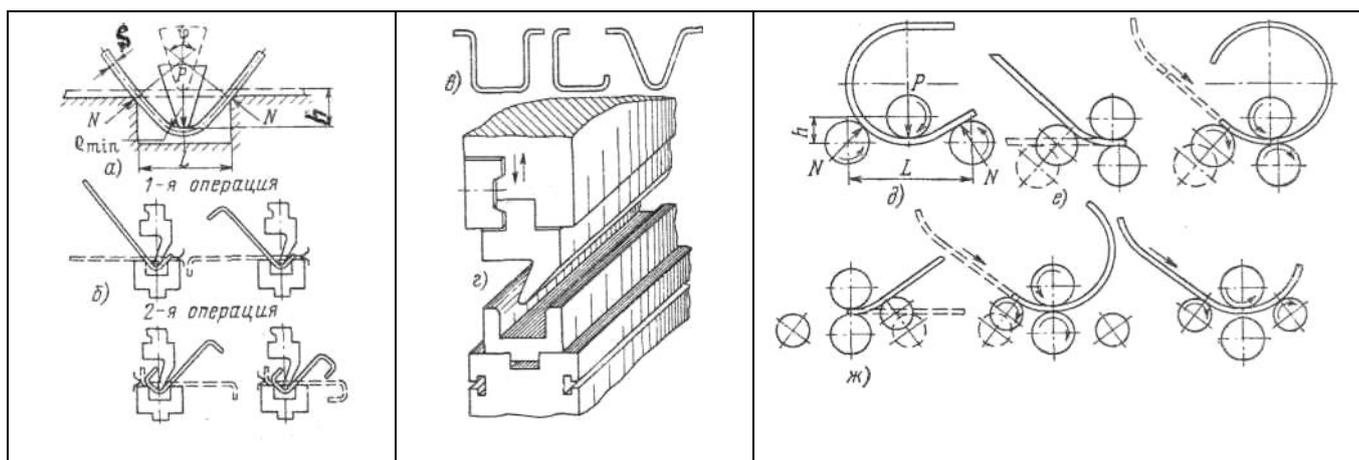


Рис. 4.8. Схемы процессов свободной гибки.

(а-г) – гибка универсально-гибочным штампом. (д-ж) – гибка прокаткой на валковых станках.

Четырехвалковые станки включают в себя преимущества симметричных и асимметричных трехвалковых станков. В каждом конкретном случае работают лишь три валка из четырех (рис 4.8, ж). По схеме видно, как изгибаются кромки заготовки и в какой очередности включаются в работу валки.

При вращении валков заготовка перемещается под действием сил трения, возникающих по поверхностям контакта заготовки с вращающимися валками. При определенных условиях (большая толщина заготовки, малый радиус изгиба и др.) сила трения может оказаться недостаточной для перемещения заготовки. В этом случае заготовку приходится изгибать в несколько переходов с постепенным уменьшением радиуса изгиба.

Потребное усилие подачи для гибки прокаткой листовой заготовки без проскальзывания определяется по формуле:

$$P_x = \frac{Abs}{3^{1+m} (1+m)(2+m) \rho} = C_x \frac{bs}{\rho^{1+m}},$$

где b и s – ширина и толщина заготовки;

A и m – константы деформируемого материала (например, для Д16М $m=0,265$, $A=49$).

Оснастка, используемая при свободной гибке является универсальной и позволяет путем подбора параметров L и h (рис. 4.8, а и д) получать детали заданной формы.

Оборудование для гибки прокаткой, применяемое в промышленности отличается большим разнообразием. Наиболее распространенным являются трехвалковые станки с ручным и механизированным приводом, у которых положение гибочного валка в процессе гибки, не изменяется. Для получения требуемой формы заготовки необходимо для каждой конкретной детали настраивать станок по параметру h . При гибке прокаткой в несколько переходов эта настройка значительно повышает трудоемкость гибочных работ.

Более совершенным способом гибки-прокатки заготовок является гибка на копировально-гибочных станках (рис. 4.9, б). Эти станки позволяют за одну прокатку получить детали с переменным по ширине радиусом кривизны.

На рис. 4.9 показана схема гибки листовых заготовок и профилированных плит.

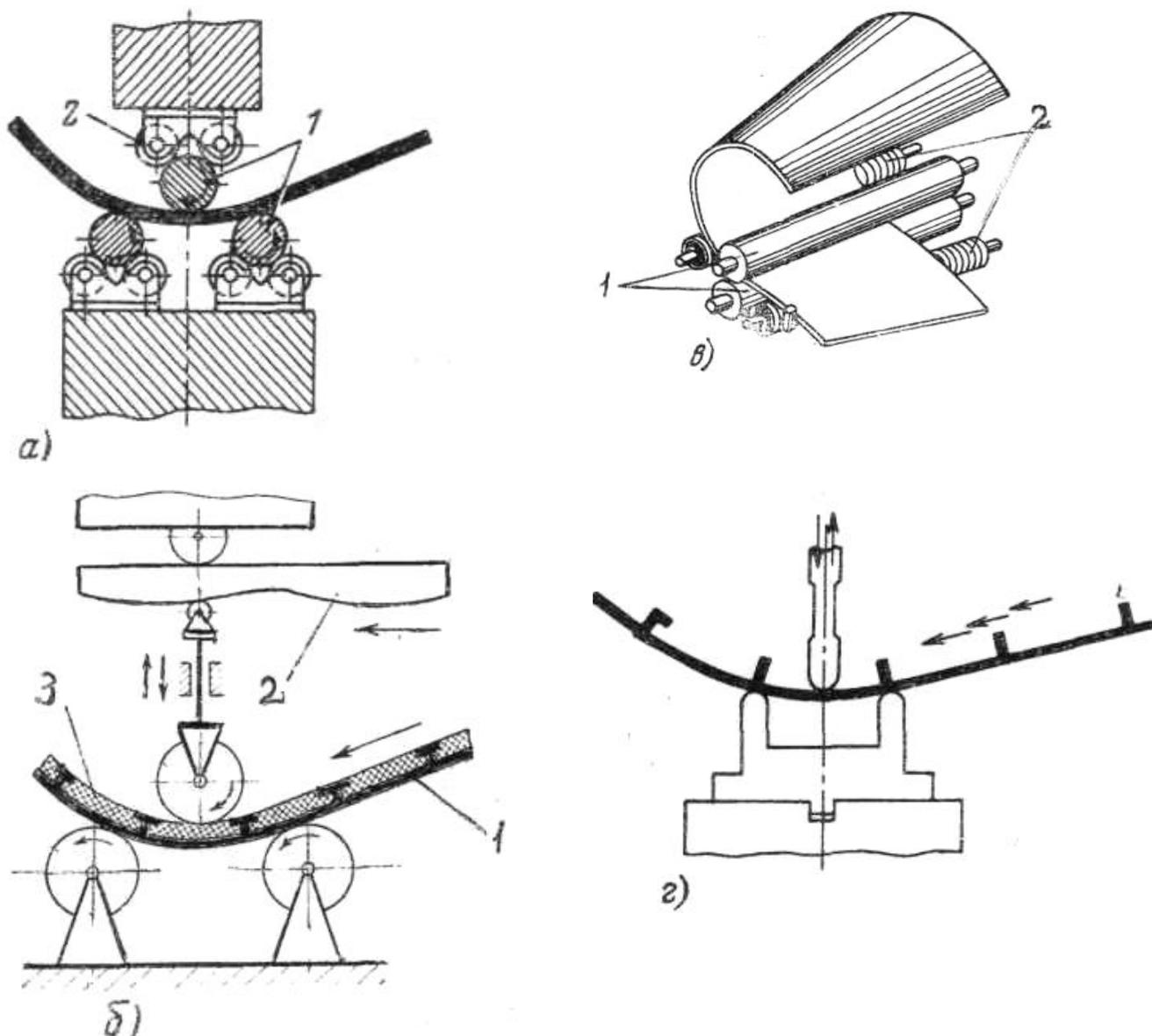


Рис. 4.9. Схемы гибки на гибочно-листовых станках.

а – гибка листовой заготовки на КГЛ (1 – верхний и нижний валки, опорные ролики); б – гибка профилированной плиты на КГЛ (1 – заготовка; 2 – копир, 3 - вкладыш); в – гибка конической обечайки на ГЛС-2К (1 – цельные валки, 2 – набор шарикоподшипников); г – гибка профилированной плиты впередвижку на АГЛ.

В таблице 4.1. указаны наиболее распространенные типы оборудования для гибки прокаткой листовых материалов и профилированных плит.

На станке ГЛС-12 можно гнуть детали до 12 метров методом гибки-прокатки и методом гибки впередвижку монолитных панелей с подачей заготовки

с заданным шагом. На этом станке также производят гибку монолитных панелей с продольным и поперечным оребрением (вафельные панели).

Таблица 4.1.

Гибочное оборудование для гибки прокаткой

Тип оборудования	Наименование	Размеры заготовки		Примечание
		Длина мм	Толщина Мм	
ЦБКМ	«Трехвалка»	6200	10	Трехвалковая схема
КГЛ-1М	Копировально-гибочные для листового материала	3500	2	С механическим копирующим устройством
КГЛ-2		5000	6	С гидравлическим копирующим устройством
КГЛ-3		8000	До 16	Без копирующего устройства
ГЛС-0,5К	Гибочно-листовые станки	Образующая конуса до 500 мм, минимальный диаметр 80 мм		Трехвалковая схема
ГЛС-2К		Образующая конуса до 2000 мм, минимальный диаметр до 500 мм		Четырехвалковая схема
ГЛС-12		12000		Универсальный станок
АГЛ-5	Агрегатные гибочно-листовые прессы	5000	12	Универсальное оборудование для гибки универсальным гибочным штампом, а также прокаткой тремя валками
АГЛ-10		10000		
АГЛ-15		15000		

4.6. Гибка профилированных и трубчатых заготовок.

При гибке пресованных профилей нейтральный слой заготовки совпадает с линией центров масс сечения профиля, поэтому эпюры деформаций и напряжений в растянутой и сжатой зоне несимметричны (рис. 4.10). Вследствие этого, в зависимости от ориентации заготовки при изгибе, одни и те же элементы сечения могут быть как в зоне сжатия (рис. 4.10, а), так и в зоне растяжения (рис. 4.10, б). Например, на рисунке 4.10, а большая часть вертикальной полки находится в зоне сжатия, а на рис. 4.10, б – в зоне растяжения. Максимальная деформация, равная $\frac{h_2}{R_0}$, в случае сжатия, при малых радиусах изгиба и малых

толщинах вертикальной полки профиля может привести к потере ее устойчивости, а в случае растяжения – к разрывам в полке. В первом случае в них появляются гофры, во втором – трещины.

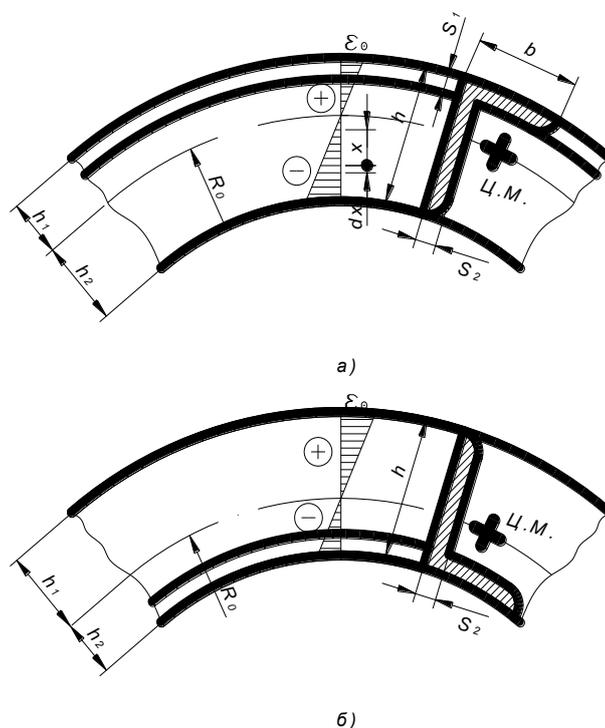


Рис. 4.10. Схема гибки профиля.

а – вертикальная стенка сжата; б – вертикальная стенка растянута; ц.м. – центр масс профиля.

Для определения минимального радиуса изгиба в случае **б** можно переписать уравнение (4.44) в виде:

$$R_{0 \min} = \frac{h_2}{\varepsilon_{\text{доп}}} \quad (4.47)$$

Предельно-допустимую деформацию $\varepsilon_{\text{доп}}$ можно определить по выше изложенной методике для гибки листового материала. Теоретическое определение $\varepsilon_{\text{доп}}$ для случая **а** гораздо сложнее, поэтому на практике обычно пользуются опытными данными. Для предотвращения образования складок при гибке сжимающиеся полки профилей помещают в узкие щели гибочной оснастки.

Во избежание появления трещин или гофров при гибке профилей из сплавов Д16 и В95 желательно, чтобы радиус изгиба был не менее четырех высот полки, т. е. $R_0 \geq 4h$.

Для любых сечений профиля изгибающий момент $M_{\text{вн}}$ можно определить из выражения [6]:

$$M_{\text{вн}} = \int_0^{h_1 - s_1} (\sigma'_S + E_1 \frac{x}{R_0}) s_2 x dx + \int_{h_1 - s_1}^{h_1} (\sigma'_S + E_1 \frac{x}{R_0}) b x dx + \int_0^{h_2} (\sigma'_S + E_1 \frac{x}{R_0}) s_2 x dx \quad (4.48)$$

При гибке несимметричных профилей, например z-образных и др., в их сечениях наряду с нормальными напряжениями растяжения и сжатия возникают еще касательные напряжения, вызывающие закручивание заготовки, в результате чего деталь получается не плоской, а сложной пространственной формы. Закручивания профиля можно избежать, если гибку производить прокаткой на специальных роликовых станках (рис. 4.11).

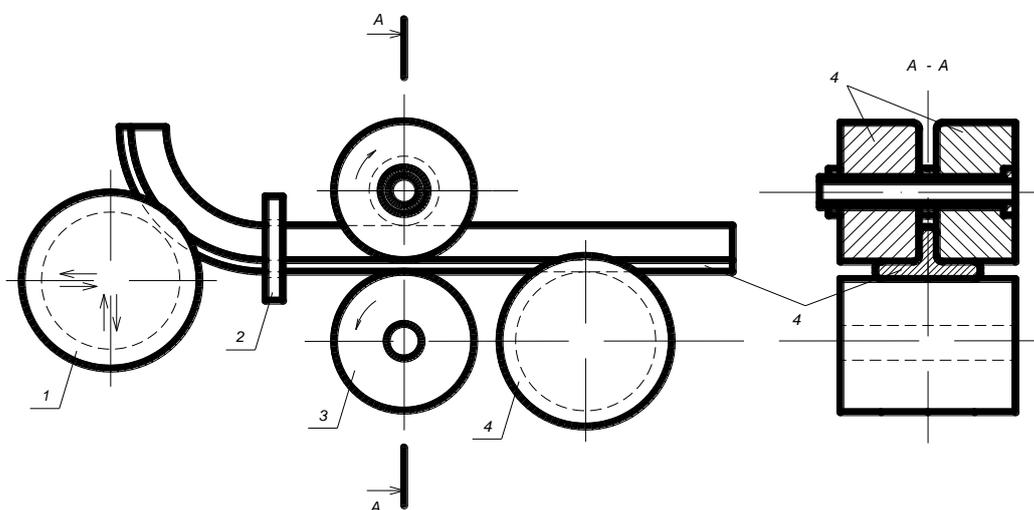


Рис. 4.11. Схема гибки прокаткой с подогревом ТВЧ.

1 – гибочный ролик; 2 – индуктор; 3 и 6 – ведущие ролики; 4 – направляющий ролик;
5 – заготовка.

Наиболее распространенный способ гибки профилей – прокатка на трех- или четырехроликовых станках без подогрева заготовки либо с подогревом ТВЧ. Схема работы роликово-гибочных станков подобна работе валковых станков для гибки листовых заготовок.

Профилегибочный станок И-620 используется для гибки заготовок постоянной кривизны сечением до 400 мм^2 при $R_{\text{0min}}=100-150 \text{ мм}$.

Станок ПГ-2М является копировально-гибочным станком, позволяющим гнуть заготовки с переменной кривизной. На станке можно гнуть профили сечением 600-650 мм².

Станки ПГ-4 и ПГ-3 предназначены для гибки круглых шпангоутов с углом изгиба до 360°.

Гибка с нагревом ТВЧ применяется для гибки профилей в тех случаях, когда имеется вероятность потери стенки профиля устойчивости в сжатой зоне. Нагрев ТВЧ приводит к местному разупрочнению металла, и, если длина зоны нагрева $l_{\text{наг}} \leq 2s$ (s – толщина стенки заготовки), то складки не образуются. Для ограничения зоны нагрева участки заготовки вблизи индуктора охлаждаются водой.

В промышленности для гибки профилей переменной кривизны также широко применяется гибка с растяжением. При такой гибке к концам изгибаемой заготовки прикладывается определенное растягивающее усилие P . В этом случае по сечению изгибаемой детали вызываются только растягивающие напряжения (рис. 4.12), превышающие предел текучести, и, как следствие этого, момент упругих сил уменьшается, угол пружинения практически равен нулю, нет условий для складкообразования стенки профиля.

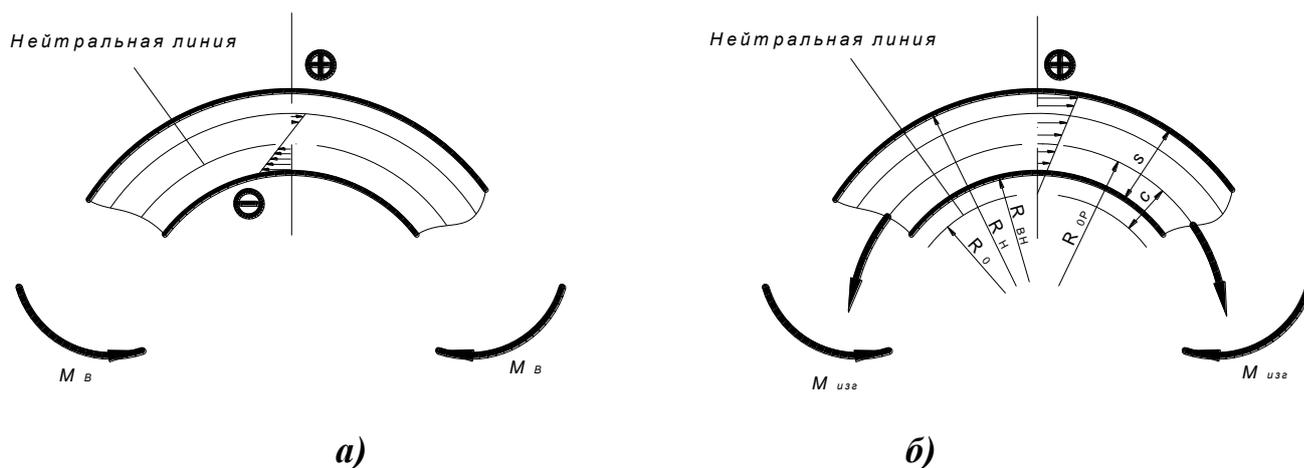


Рис. 4.12. Схема напряжений в материале:

a - при простой гибке; *б* - гибке с растяжением.

Точность изготовления деталей из профилей при помощи изгиба с растяжением составляет $\pm 0,3$ мм.

На рисунке 4.13 показаны схемы гибки заготовок из прессованных профилей по оправкам с применением растягивающих и калибровочных усилий (гибка обтягиванием по оправке).

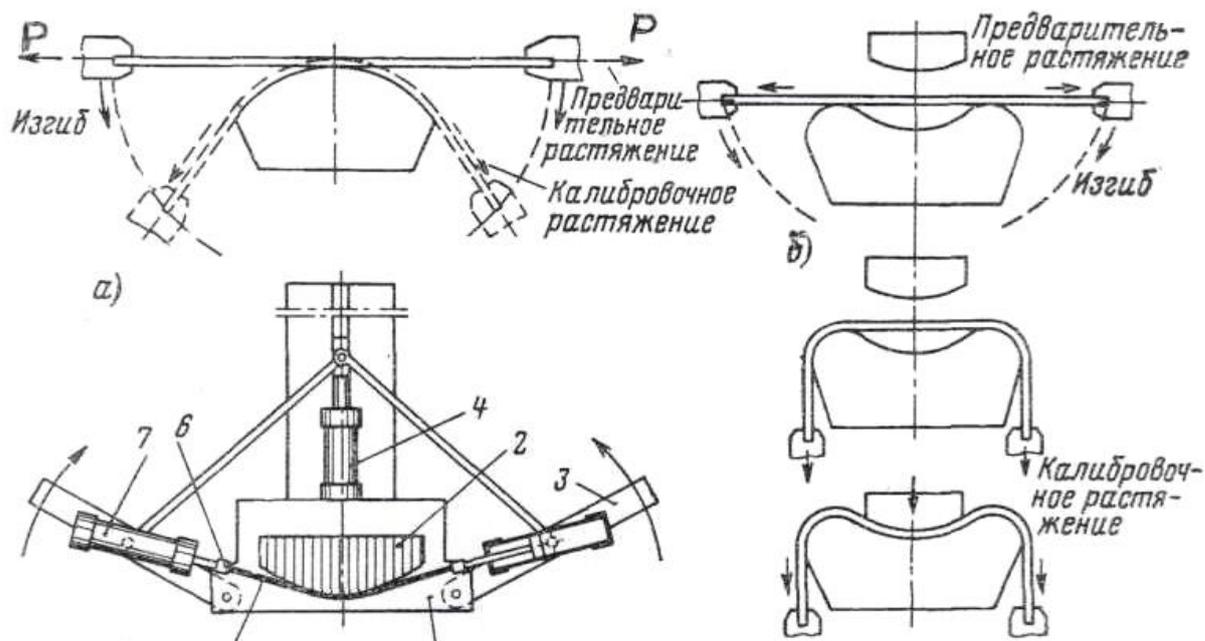


Рис. 4.13. Схемы гибки профилей обтягиванием по оправке.

1 – стол; 2 – сменная оправка; 3 – поворотная платформа; 4 – цилиндр поворота платформы; 5 – заготовка; 6 – цанговый зажим; 7 – цилиндр растяжения заготовки.

Дополнительно приложенная к заготовке тангенциальная сила уменьшает вредное действие пружинения, т. е. приближает $R_{ост}$ к R_0 и $\varphi_{ост}$ к φ_0 (см. рис. 4.7).

Так как разность внутренних тангенциальных сил должна уравновешиваться внешней силой P , нейтральный слой должен быть смещен от срединного слоя в сторону сжатых волокон (рис. 4.12) на некоторую величину $s=R_{cp} - R_0$ (на нашем рисунке нейтральный слой находится за пределами заготовки, т. е. профиль растянут по всему сечению).

При $c = \frac{s}{2}$ и $R_0 = R_{\text{вн}}$ напряжения изменяются от σ' на нейтральном слое до

$\sigma = \sigma'_s + \frac{E_1 s}{R_0}$ на внешней выпуклой стороне заготовки. Условия равновесия для

этого случая запишутся так []:

$$P = \frac{\sigma'_s + (\sigma'_s + \frac{E_1 s}{R_0})}{2} B s = (\sigma'_s + \frac{E_1 s}{2 R_0}) B s ; \quad (4.49)$$

где В – ширина заготовки.

$$M_e + M_p = M_{\text{вн}} = \int_0^s (\sigma'_s + \frac{E_1 x}{R_0}) B x dx ; \quad (4.50)$$

где $M_{\text{в}}$ и $M_{\text{п}}$ - момент внешних сил и силы Р соответственно.

Момент силы Р относительно нейтрального слоя:

$$M_p = P \frac{s}{2} = (\sigma'_s + E_1 \frac{s}{2 R_0}) \frac{B s^2}{2} \quad (4.51)$$

$$M_{\text{вн}} = \int_0^s \sigma'_s B x dx + \int_0^s \frac{E_1 B}{R_0} x^2 dx = \sigma'_s B \frac{s^2}{2} + \frac{E_1 B}{R_0} \frac{s^3}{3}; \quad (4.51)$$

$$M_e = M_{\text{вн}} - M_p = \sigma'_s B \frac{s^2}{2} + \frac{E_1 B}{R_0} \frac{s^3}{3} - (\sigma'_s + E_1 \frac{s}{2 R_0}) \frac{B s^2}{2}; \quad (4.52)$$

или $M_e = \frac{E_1 B s^3}{R_0 12} = \frac{E_1 J}{R_0}$.

Подставив значение момента $M_{\text{в}}$ из уравнения (4.52) в уравнение (4.37) определим остаточный радиус для этого случая:

$$R_{\text{ост}} = \frac{R_0}{1 - \frac{R_0 E_1 J}{E J}} = \frac{R_0}{1 - \frac{E_1}{E}}. \quad (4.53)$$

Уравнение (4.40) для угла пружинения имеет вид:

$$\Delta \varphi = \varphi_0 \frac{E_1}{E}. \quad (4.54)$$

Как видно из последних выражений точность гибки с растяжением значительно выше чем при обычной гибке. Например, для отожженного алюминиевого сплава если принять $E = 72000 \text{ МПа}$, $E_1 = 400 \text{ МПа}$, то $R_{\text{ост}} = 1,01R_0$, т. е. остаточный радиус кривизны увеличится лишь на 1% (при чистом изгибе - 10%).

Наиболее распространенным профилегибочными растяжными станками для гибки симметричных и несимметричных профилей являются: ПГР-6, ПГР-7 и ПГР-8. Станки ПГР-6 и ПГР-8 предназначены для гибки деталей однозначной кривизны с углом изгиба $180-220^\circ$ и заготовок длиной 1000-9000 мм (см. схему *а*, рис 4.13).

Детали знакопеременной кривизны изготавливаются на станках ПГР-7 (схема *б*, Рис. 4.13). Наибольшая стрела вогнутости при гибке на этом станке может достигать 6000 мм.

Гибку с растяжением можно производить по двум принципиально разным схемам:

▲ Сначала заготовка растягивается под воздействием силы P , а затем происходит гибка (обтягивание) по оправке;

▲ Сначала заготовку изгибают на роликовых станках либо другим способом, затем калибруют растяжением по оправке.

На Рис. 4.14 показан внешний вид станка ПГР-6 в рабочем состоянии.

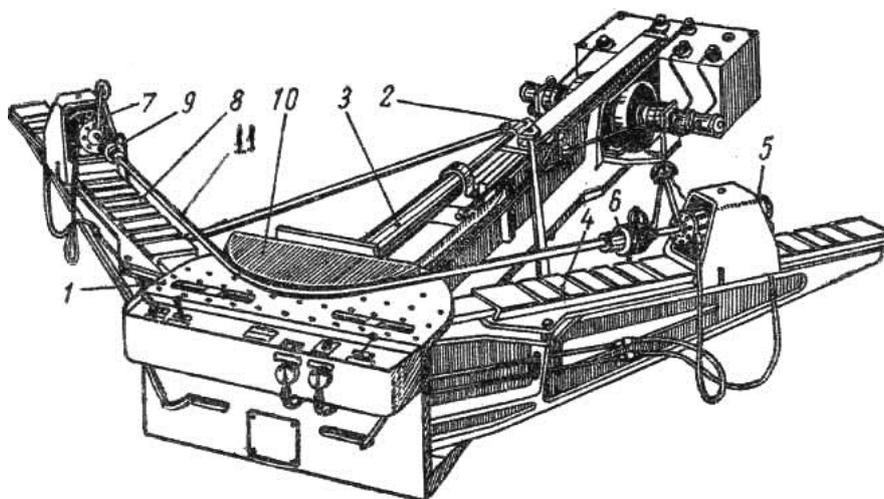


Рис. 4.14. Гибочно-растяжной станок ПГР-6.

1 – станина; 2 – каретка; 3 – шток гибочного цилиндра; 4 – правый стол; 5 и 7 – натяжные цилиндры; 6 и 9 – пневматические патроны; 8 – левый стол; 10 – оправка; 11 – заготовка.

Особенности гибки труб.

При свободной гибке труб их сечение изменяется: круглая форма превращается в эллиптическую; в растянутой зоне толщина стенки уменьшается, а в сжатой зоне возможна потеря устойчивости стенкой с образованием гофров. Так как трубопроводы в бортовых системах летательных аппаратов работают в условиях высокого давления, и зачастую испытывают гидроудары и пульсирующие нагрузки, искажения сечения трубы не должны превышать допустимых значений. Минимальные искажения геометрии сечения трубы и необходимая чистота ее внутренних поверхностей достигается одним из приведенных технологических схем гибки (рис. 4.15).

Овальность сечения и появление гофров при гибке по схемам в и г (рис. 4.15) можно предотвратить применением различных наполнителей. В качестве наполнителей чаще всего применяется жидкость под давлением $10^5 \div 15^3$ ГПа. Иногда применяют песок или твердые наполнители: расплавленную канифоль, селитру и легкоплавкие металлы. Практика показала, что при одном и том же, диаметре трубу с относительной толщиной $\overline{s} = \frac{s}{d_{cp}} = 5-6\%$ и более можно изгибать без наполнителя по радиусу $R_0 = 5d_n$ (здесь s – толщина стенки трубы; d_{cp} – средний диаметр трубы; d_n - наружный диаметр трубы). При $\overline{s} = 1,5-2,0\%$ трубы можно гнуть только с наполнителем.

На трубогибочном станке ТГС-2М (рис. 4.15, а) гнутся трубы диаметром до 80 мм с наибольшим углом изгиба 220° и радиусом кривизны 50-350 мм. Дорн (5) предотвращает искажение профиля трубы.

Основные недостатки гибки намоткой:

▲ Необходимость изготовления оснастки для каждого диаметра трубы и радиуса ее изгиба;

▲ Невозможность изгиба в разных плоскостях с одной установки заготовки.

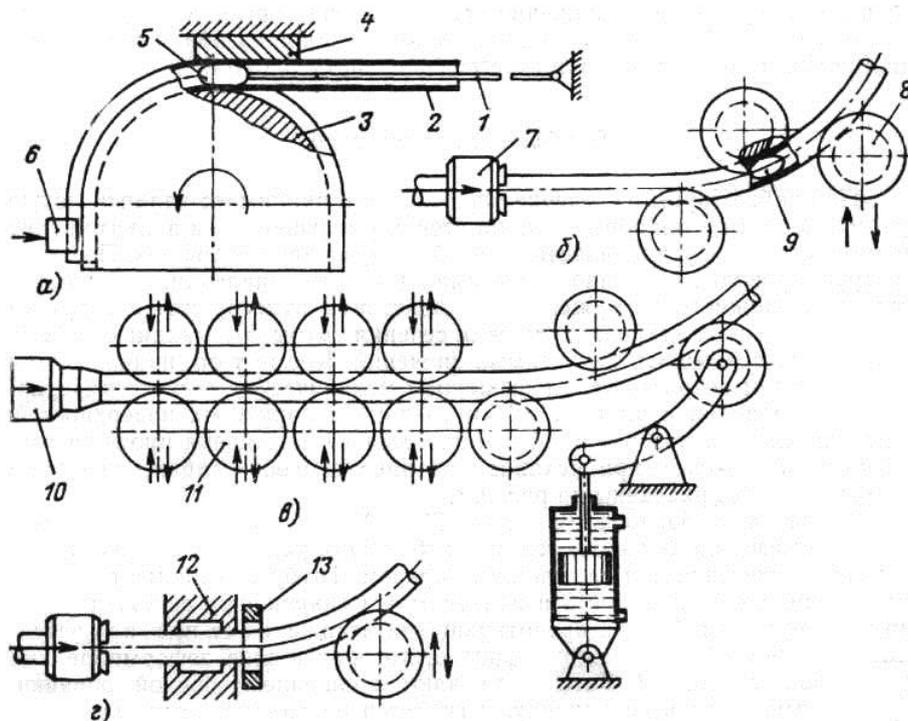


Рис. 4.15. Основные схемы механизированной гибки труб:

а – гибка намоткой на станке ТГС-2М (1 – тяга; 2 – труба; 3 – оправка; 4 – ползун; 5 – калибрующая оправка (дорн); 6 – зажим); *б* – гибка с проталкиванием через роликовую головку на станке ТПС-2 (7 – цанговый патрон; 8 – гибочный ролик; 9 – оправка); *в* – гибка с проталкиванием на станке с программным управлением ТГСП-1 (10 – гидрошарнир; 11 – направляющие ролики); *г* – гибка с индукционным нагревом (12 – опора; 13 – индуктор).

Этих недостатков лишена гибка проталкиванием заготовки через роликовую головку (рис. 4.15, *б-г*) или фильерную систему. Изгиб в разных плоскостях без перестановки зажатой в патроне заготовки достигается ее поворотом относительно продольной оси на заданный угол. На трубогибочных станках продольное перемещение заготовки, повороты ее вокруг оси и перемещение гибочного ролика взаимосвязаны; их последовательность и, величина задаются программой.

Трубы диаметром $D \geq 16$ мм при относительной толщине $\overline{s} = 3,5\%$, когда $\overline{R_0} < 2 \div 4$, можно гнуть с местным нагревом деформируемой зоны токами высокой частоты (рис. 4.15, *г*). Участки трубы, находящиеся в опорах (12) и индуктор (13), принудительно охлаждаются. При гибке с местным нагревом в наполнителях нет необходимости.

Глава V. Процессы вытяжки.

5.1. Методы вытяжки.

Вытяжка (глубокая вытяжка) – весьма распространенный метод формообразования деталей из листовых полуфабрикатов. Наиболее характерные детали летательных аппаратов, изготавливаемые глубокой вытяжкой приведены в таблице № 1.2, класс XI.

В зависимости от формы и габаритов штампуемых деталей существует несколько методов вытяжки:

- ▲ С помощью инструментальных штампов;
- ▲ Эластичной матрицей;
- ▲ Эластичным пуансоном;
- ▲ Резиной и т. д.

Вытяжка в инструментальных штампах имеет наибольшее распространение в производстве летательных аппаратов.

Сущность формообразования вытяжкой в инструментальных штампах заключается в том, что заготовка, установленная на матрицу, усилием P пуансона втягивается в полость матрицы и принимает по наружному контуру форму последней (рис. 5.1).

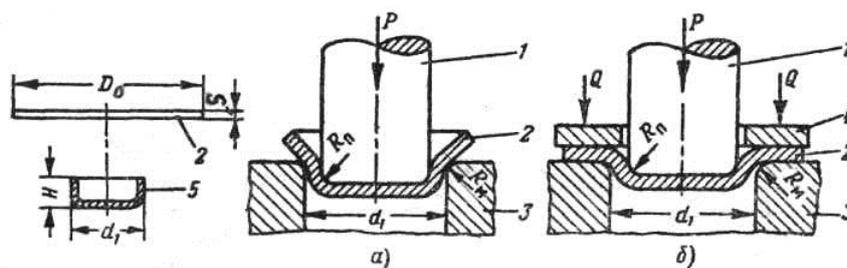


Рис. 5.1. Схемы процессов вытяжки в штампах.

а – вытяжка без прижима заготовки; б – вытяжка с прижимом заготовки (1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – матрица; 4 – прижим; 5 – готовая деталь).

Прижим заготовки (рис. 5.1, б) предотвращает потерю устойчивости заготовкой (вследствие уменьшения ее диаметра) и вследствие этого исключается возможность появления гофров в стенках деталей.

Вытяжка с прижимом может производиться на прессах простого и двойного действия (рис. 5.2).

При вытяжке на прессе простого действия прижим заготовки и съем детали с пуансона производится при помощи прижимных, резиновых или пневматических буферов. На прессах двойного действия прижим заготовки к матрице осуществляется специальным механизмом пресса (рис. 5.2, б).

Пресс двойного действия имеет два ползуна – наружный 9 и внутренний 10. Для осуществления процесса вытяжки вначале опускается ползун 9, который прижимает заготовку 11 к матрице 3. В этом положении ползуна между прижимом 2 и матрицей 3 образуется зазор $t \approx 1,2s$ (s – толщина заготовки). Величина t остается постоянной в процессе вытяжки.

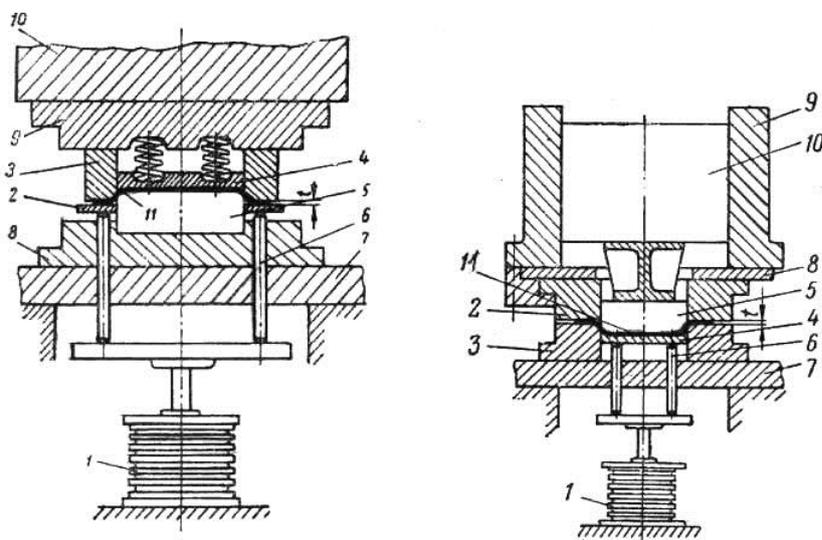


Рис. 5.2. Схемы прессов простого и двойного действия.

а – схема пресса простого действия (1 – пневматический буфер; 2 – прижим; 3 – матрица; 4 – выталкиватель; 5 – пуансон; 6 – штифт пневматического буфера; 7 – плита пресса; 8 – нижняя плита штампа; 9 – верхняя плита пресса; 10 – ползун пресса; 11 – заготовка); б – схема пресса двойного действия (1 – пневматический буфер; 2 – прижим; 3 – матрица; 4 – выталкиватель; 5 – пуансон; 6 – штифт выталкивателя; 7 – нижняя плита пресса; 8 – верхняя плита пресса; 9 – наружный ползун; 10 – внутренний ползун; 11 – заготовка).

Для вытяжки деталей сложной формы применяется прессы тройного действия, позволяющие производить вытяжку в трех разных направлениях (рис. 5.3).

В промышленности также применяются штампы совмещенного действия, в которых за один ход ползуна пресса одновременно выполняется

несколько операций (вырубка отверстий, гибка, вытяжка), а также штампы последовательного действия, на котором последовательно производятся вытяжка, вырубка отверстий и вырезка детали из ленточного материала.

В целях повышения стойкости штампа, уменьшения трения между элементами штампа и поверхностями заготовки и улучшения качества деталей при вытяжке применяют смазку маслом либо графитом, тальком и др.

Вытяжка штампами с эластичными (универсальными) матрицей или пуансоном обладает рядом преимуществ по сравнению с вытяжкой на инструментальных штампах:

- ▲ Значительная дешевизна штампов с универсальными матрицей или пуансоном по сравнению с инструментальными штампами;

- ▲ Распределение сил трения между заготовкой и элементами штампа и равномерное распределение давления на заготовку расширяют технологические возможности процесса вытяжки и позволяют получать деталь с более глубокой вытяжкой и более высоким качеством поверхности, чем в жестких штампах.

При вытяжке деталей гидравлическим методом давление рабочей жидкости в контейнере изменяется по заданному расчетному графику. Закон изменения давления по ходу h пуансона рассчитывают для определенных групп деталей и корректируют в процессе отработки технологического процесса вытяжки.

Максимальное давление со стороны эластичной матрицы к концу процесса вытяжки достигает 30-40 МПа для цветных сплавов и 100-120 МПа для нержавеющей и углеродистых сталей.

Вытяжка эластичным пуансоном (рис. 5.4, в) применяется при изготовлении деталей размером в плане до 2^x метров.

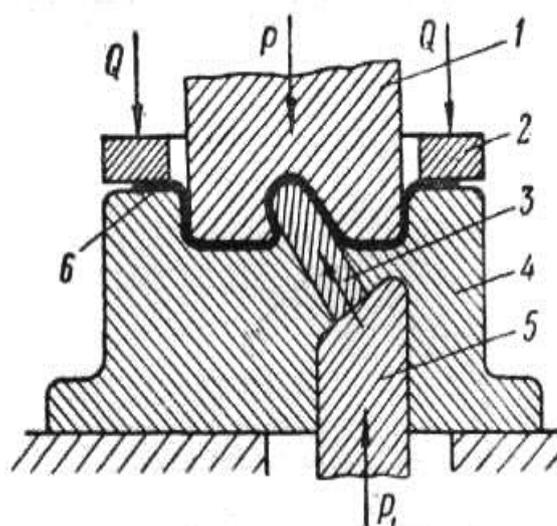


Рис. 5.3. Схема штампа для прессы тройного действия.

1 – верхний пуансон; 2 – прижим;
3 – нижний пуансон; 4 – матрица; 5 – клин;
6 – заготовка.

При штамповке резиной можно за один ход траверсы прессы штамповать несколько одинаковых или разных деталей.

На рисунке 5.4. показаны схемы процессов вытяжки деталей эластичной матрицей (рис. 5.4, а, б) и эластичным пуансоном (рис. 5.4, в).

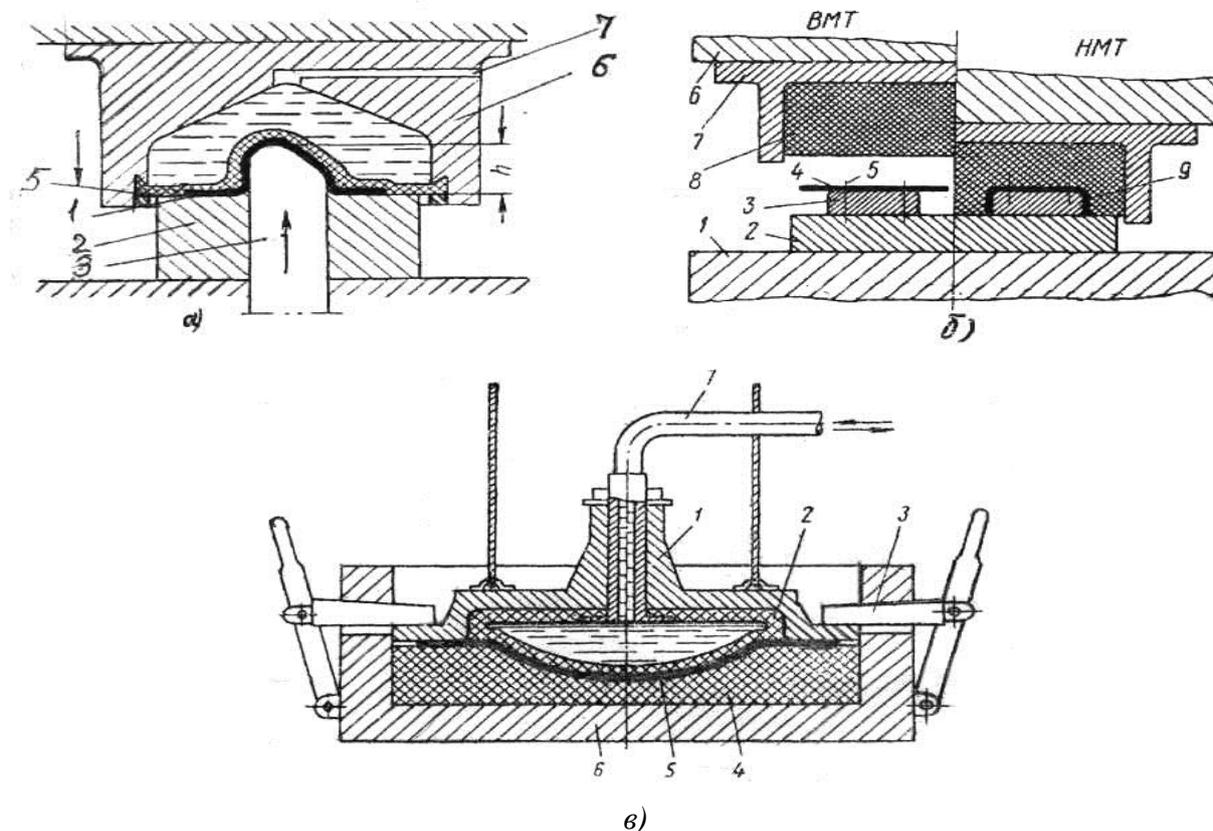


Рис. 5.4. Схемы вытяжки эластичными матрицей и пуансоном.

а – процесс вытяжки эластичной матрицей с подачей давления от гидроаккумулятора (1 – заготовка; 2 – складкодержатель; 3 – пуансон; 4 – контейнер; 5 – резиновая (полиуретановая) диафрагма; 6 – рабочая жидкость; 7 - трубка); б – процесс штамповки резиной (1 – стол прессы; 2 – подштамповая плита; 3 – формблок; 4 – заготовка; 5 – шпильки формблока; 6 – верхняя траверса прессы; 7 – контейнер; 8 – резина; 9 – борта детали); в – штамповка с помощью эластичного пуансона (1 – верхняя крышка; 2 – резиновый или полиуретановый мешок; 3 – зажимы; 4 – матрица; 5 – заготовка; 6 – корпус приспособления; 7 – трубопровод, подводящий рабочую жидкость под давлением).

Наряду с преимуществами вытяжки эластичной матрицей по сравнению с вытяжкой в инструментальных штампах этот способ имеет ряд недостатков:

- ▲ Быстрый износ резины либо полиуретана;
- ▲ Повышенный расход энергии на формообразование;
- ▲ Малая производительность при использовании обычных гидравлических прессов.

5.2. Напряженно-деформированное состояние заготовок.

Максимально возможное изменение размеров и формы заготовки без разрыва под действием растягивающих сил характеризуется допускаримым коэффициентом вытяжки m .

Геометрические коэффициенты вытяжки для цилиндрических деталей определяются по формулам:

$$m_r = \frac{d_1}{D_0}; m'_r = \frac{d_2}{d_1} \quad (5.1)$$

где m_r и m'_r – геометрические коэффициенты вытяжки для первого и второго переходов;

D_0 – начальный диаметр заготовки (рис. 5.1);

d_1 и d_2 – диаметр заготовки после 1^{го} и 2^{го} переходов соответственно.

Вытягиваемая заготовка находится в напряженно-деформированном состоянии (рис. 5.5).

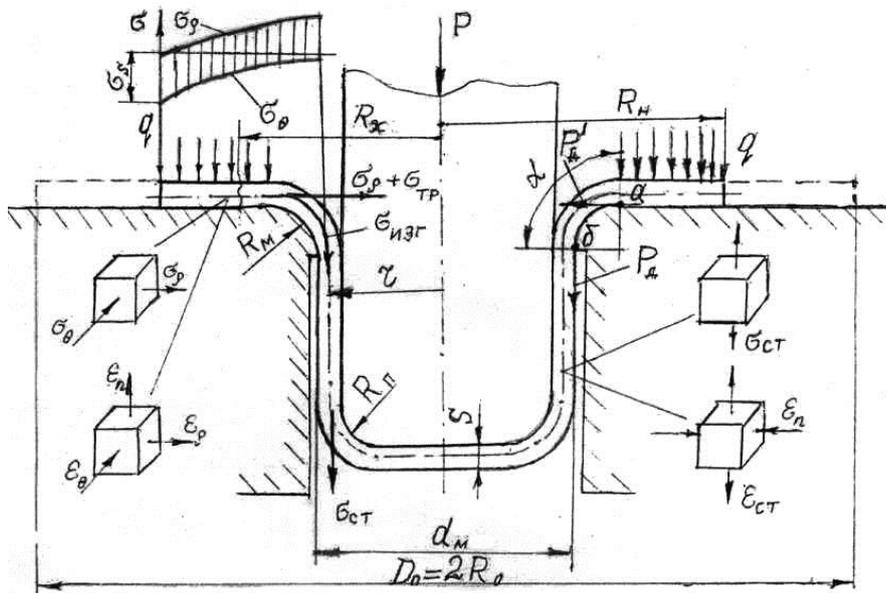


Рис. 5.5. Напряженно-деформированное состояние заготовки при вытяжке.

Усилие P , действующее на доннышек заготовки через пуансон, передается вертикальной стенке и далее на фланец. Это усилие затрачивается на: преодоление сопротивления металла деформированию – P_d ; преодоление сил

трения под прижимом $P_{тр}$ и в зоне радиуса R_m (на ребре матрицы) (см. рис. 5.5) – $P'_{тр}$; изгиб и спрямление заготовки на ребре матрицы – $P_{изг}$. Общее усилие вытяжки можно выразить следующим образом:

$$P = P_{\rho} + P_{mp} + P'_{mp} + P_{изг} \quad (5.2)$$

Так как $\sigma = \frac{P}{F}$ (где F – площадь сечения стенки), то если все составляющие уравнения (5.2) разделить на πds получим:

$$\sigma_{ст} = \sigma_{\rho} + \sigma_{mp} + \sigma'_{mp} + \sigma_{изг}, \quad (5.3)$$

где $\sigma_{ст}$ – действующее в стенке напряжение;

σ_{ρ} – напряжение, обусловленное сопротивлением металла деформированию;

σ_{mp} и σ'_{mp} – напряжения, обусловленные трением на фланце и на матрице соответственно;

$\sigma_{изг}$ – напряжение, обусловленное изгибом заготовки по ребру матрицы.

На рис. 5.5 показаны направления действия этих напряжений; если трение на ребре матрицы учесть коэффициентом Эйлера $e^{\mu\alpha} = \frac{P'_{\rho}}{P_{\rho}}$, то уравнение (5.3) примет вид:

$$\sigma_{ст} = (\sigma_{\rho} + \sigma_{mp} + \sigma_{изг}) e^{\mu\alpha}, \quad (5.4)$$

где e – основание натуральных логарифмов;

μ – коэффициент трения;

α – угол (в радианах) между касательными к кривой линии ребра у входа в ребро (точка a) и выхода из него (точка b) (см. рис. 5.5).

Приведем выражения для слагаемых напряжения $\sigma_{ст}$ без выводов [6].

В начальный момент операции вытяжка, когда $R_H = R_0$, максимальное радиальное напряжение определяется выражением:

$$\sigma_{\rho \max} = \sigma_s \ln \left(\frac{1}{m} \right), \quad (5.5)$$

где $m = \frac{r}{R_0} = \frac{d}{d_0}$ - коэффициент вытяжки.

Коэффициенты вытяжки m для некоторых материалов приведены в таблице 5.1.

Усилие прижима Q выразим через давление q , а площадь заготовки, на которую давит прижим, примем равной начальной площади заготовки, когда она имеет диаметр D_0 . Тогда

$$\sigma_{mp} = \frac{\mu q [D_0^2 - (d_m + 2R_m)^2]}{2ds}, \quad (5.6)$$

В условиях производства минимально необходимое давление q определяется путем проведения пробных вытяжек. Давление считается оптимальным (q_{opt}), когда при минимальной ее величине не образуются складки. Для алюминиевых сплавов АМ, АМц, Д16-М, В95-М значение q_{opt} лежит в пределах 0,8-1,6 МПа, для малоуглеродистых сталей – в пределах 2,0-2,5 МПа, для коррозионно-стойких сталей – до 4 МПа.

Однако в применении прижима нет необходимости при вытяжке толстостенных заготовок, так как в этом случае на фланце образуется лишь небольшая волнистость, которая исчезает при изгибе заготовки по ребру матрицы. На практике вытяжку производят без прижима, если относительная толщина заготовки $\frac{s}{D_0} > 0,02$ (более 2%).

Слагаемое $\sigma_{изг}$ в уравнении (5.4) учитывает изгиб заготовки на входе на ребро радиусом R_m (см. рис. 5.5 точка *а*) и спрямление при выходе с него (точка *б*). Это напряжение зависит от относительного радиуса изгиба ($\frac{R_m}{s}$) и свойств материала (σ_s).

$$\sigma_{изг} = \frac{\sigma_s s}{2R_{cp}} = \frac{\sigma_s s}{2R_m + s} \quad (5.7)$$

где R_{cp} – средний радиус изгиба.

С учетом всех слагаемых напряжение, действующее в стенке $\sigma_{ст}$ определится выражением:

$$\sigma_{ст} = \sigma_{\rho \max} = \left\{ \sigma_s \ln \frac{1}{m} + \frac{\mu q [D_0^2 - (d_m + 2R_m)^2]}{2ds} + \frac{\sigma_s s}{2R_m + s} \right\} e^{\mu \alpha} \quad (5.8)$$

Таблица 5.1.

Коэффициент вытяжки m различных материалов.

Название и марка материала	Термическое воздействие	Цилиндрические детали			Прямоугольные детали	
		m_1	m_2	m в последующих переходах	m_1	m в последующих переходах
Алюминий АМ и АМц	-	0,52-0,55	0,7-0,75	0,3-0,35	0,3-0,35	0,4-0,5
	Нагрев фланца в процессе вытяжки до 325°C	0,4		0,24	0,24	
Дуралюмин Д16М и Д6М	С промежуточной термообработкой	0,56-0,58	0,75-0,8	0,75-0,8	0,35-0,45	0,5-0,55
	Нагрев фланца в процессе вытяжки до 325°C	0,37			0,22	
Коррозионно-стойкие стали	-	0,5-0,55	0,78-0,8	-	-	-
	С промежуточной термообработкой	0,5-0,55	0,7-0,75	0,78-0,85	-	-

Уравнение, связывающее напряжение с деформациями, для плоского напряженного состояния имеет вид [21]:

$$\frac{\sigma_{\rho}}{\sigma_{\theta}} = \frac{\varepsilon_{\rho} - \varepsilon_n}{\varepsilon_{\theta} - \varepsilon_n}, \quad (5.8)$$

где ε_{ρ} - радиальная деформация;

ε_{θ} - окружная деформация;

ε_n - деформация по толщине заготовки.

Из условия постоянства объема:

$$\varepsilon_{\theta} + \varepsilon_{\rho} + \varepsilon_n = 0 \quad (5.9)$$

$$\text{Тогда } \frac{\sigma_{\rho}}{\sigma_{\theta}} = - \frac{\varepsilon_{\theta} + 2\varepsilon_n}{\varepsilon_{\theta} - \varepsilon_n} \quad (5.10)$$

$$\text{или } \varepsilon_n = -\frac{1 - \frac{\sigma_\rho}{\sigma_\theta}}{2 - \frac{\sigma_\rho}{\sigma_\theta}} \quad (5.11)$$

Окружная деформация сжатия при вытяжке является максимальной; при переходе любого волокна фланца, фиксируемого радиусом R_x , в стенку изделия волокно укорачивается до радиуса r , подвергаясь относительной деформации

$$\varepsilon_{\theta x} = \frac{r - R_x}{R_x} = -\left(1 - \frac{r}{R_x}\right).$$

Максимальной деформации ε_θ подвергается кромка заготовки, переходя с радиуса R_0 на радиус r :

$$\varepsilon_{\theta kp} = -\left(1 - \frac{r}{R_0}\right) = -(1 - m).$$

Для свободной кромки $\sigma_\rho=0$ на протяжении всего процесса $\frac{\sigma_\rho}{\sigma_\theta}=0$, поэтому

из (5.11) следует

$$\varepsilon_n = -\frac{1}{2} \varepsilon_\theta \quad (5.12)$$

Если деформации ε_n и ε_θ выразить через логарифмы: $\varepsilon_n = \ln \frac{S_{kp}}{S}$; $\varepsilon_\theta = \ln \frac{r}{R_0}$.

Подставляя эти выражения в (5.12) получим:

$$\ln \frac{S_{kp}}{S} = -\frac{1}{2} \ln \frac{r}{R_0} = \frac{1}{2} \ln \frac{R_0}{r}; S_{kp} = \frac{S}{\sqrt{m}}. \quad (5.13)$$

При выполнении второй и последующих операций максимальное меридиональное напряжение на внутренней границе очага деформаций будет равно:

$$\sigma_{\rho \max} = \sigma_s \ln \frac{d_1}{d_2} = \sigma_s \ln \frac{1}{m}, \quad (5.14)$$

где $m' = \frac{d_2}{d_1}$ - коэффициент второй и последующих операций вытяжки.

5.3. Расчет усилий вытяжки и прижима.

Усилие вытяжки определяется по уравнению (5.8) и площади сечения стенки вытягиваемой детали, т. е.

$$P = \sigma_{cm} \pi ds = \left[\sigma_s \ln \frac{1}{m} + \frac{\mu q [D_0^2 - (d_m - 2R_m)^2]}{2 ds} + \frac{\sigma_s S}{2(R_m + 0,5s)} \right] e^{\mu\alpha} \pi ds \quad (5.15)$$

Для учета упрочнения в этом уравнении σ_s заменить истинным сопротивлением металла деформированию, соответствующим средней тангенциальной деформации $\varepsilon_{\theta cp}$ фланца, которую можно определить следующим выражением [23]:

$$\varepsilon_{\theta cp} = 1 - 0,5 \left(\frac{R_n}{R_0} + \frac{m}{\sqrt{1 + m^2 - \left(\frac{R_n}{R_0} \right)^2}} \right) \quad (5.16)$$

Тогда среднее сопротивление деформированию с учетом упрочнения определится по формуле

$$\sigma_{sc} = \sigma_s + E_1 \varepsilon_{\theta cp} = \sigma_s + E_1 \left[1 - 0,5 \left(\frac{R_n}{R_0} + \frac{m}{\sqrt{1 + m^2 - \left(\frac{R_n}{R_0} \right)^2}} \right) \right] \quad (5.17)$$

Зная коэффициент вытяжки m и приняв $\frac{R_n}{R_0} = 0,8$, можно рассчитать σ_{sc} .

Для вытяжки без прижима, т. е. $\sigma_{тр} = 0$, уравнение (5.15) примет вид:

$$P = \left[\sigma_s \ln \frac{1}{m} + \frac{\sigma_s S}{2(R_m + 0,5S)} \right] e^{\mu\alpha} \pi ds \quad (5.18)$$

В условиях производства усилия, необходимые для вытяжки, определяют по эмпирическим формулам:

▲ Для цилиндрических деталей

$$P = \pi d_n s n \sigma_s, \quad (5.19)$$

где d_n – диаметр пуансона в мм;

n – поправочный коэффициент, зависящий от коэффициента вытяжки (например, при $m=0,6$ коэффициент $n=0,85$);

▲ Для деталей прямоугольной формы (коробчатых деталей)

$$P = s \sigma_s (2\pi r c_1 + L c_2) \quad (5.20)$$

где r – радиус сопряжения боковых стенок коробки (на виде в плане);

c_1 – коэффициент, учитывающий глубину вытяжки [при глубине вытяжки $(5 \div 6)r$ коэффициент $c_1=0,2$];

c_2 – коэффициент, учитывающий способ вытяжки (для вытяжки с прижимом $c_2=0,3$; для вытяжки без прижима $c_2=0,2$);

L – длина периметра изгибаемого участка коробки в мм.

Давление Q прижима определяется произведением $q_{opt}F$, где F – площадь заготовки, находящаяся под прижимом в начальный момент вытяжки:

$$Q = q_{opt} F = q_{opt} \frac{\pi [D_0^2 - (d_m + 2R_m)^2]}{4} \quad (5.21)$$

Для последующих операций в произведении $q_{opt}F$ площадью считают горизонтальную проекцию действительной площади контакта прижима с поверхностью матрицы.

5.4. Оптимальные условия деформирования.

Технологические возможности операции вытяжки зависят от ряда факторов:

- ▲ Марки материала;
- ▲ Геометрических параметров заготовки (толщина, площадь);
- ▲ Коэффициент вытяжки;
- ▲ Термического воздействия на заготовку и др.

Геометрические параметры заготовки и готовой детали взаимосвязаны определенными соотношениями, например,

$$F_0 = \frac{\pi D_0^2}{4} \text{ и } F_1 = \frac{\pi D_0^2 s_0}{4 s_1} \quad (5.22)$$

где F_0 – площадь заготовки;

F_1 – площадь детали;

D_0 – диаметр заготовки;

s_0 – толщина материала заготовки;

s_1 – толщина материала детали.

Если $s_1 \approx s_0$, то $F_1 \approx F_0$, тогда

$$D_0 = \sqrt{\frac{4F_1}{\pi}} = 1,12 \sqrt{F_1} \quad (5.23)$$

Если D_0 окажется намного больше расчетной, то фланец окажет большее сопротивление, чем может выдержать вертикальная стенка, и она разрушится по опасному сечению.

Минимальные значения коэффициентов вытяжки характеризуют технологические возможности вытяжки по относительной глубине вытягиваемой детали, т. е. $\frac{H}{d}$ (здесь H – глубина детали, d – диаметр детали). Коэффициент вытяжки m связан с глубиной детали:

$$\frac{H}{d} = \frac{1 - m^2}{4m^2}$$

В справочной литературе коэффициенты вытяжки и предельная глубина вытяжки за один переход дифференцированы по материалам, толщине материала, форме и конструкции деталей.

Технологические возможности вытяжки ограничиваются прочностью опасного сечения, находящегося в зоне сопряжения стенки с дном детали, также, как сказано выше, для обеспечения бездефектного формообразования должны быть определенные соотношения диаметров заготовки и детали.

Технологические возможности процесса вытяжки можно расширить, разгрузив опасное сечение заготовки путем дифференцированного нагрева заготовки, а также уменьшением сил трения между заготовкой и оснасткой.

Вытяжка с нагревом. Известно, что с уменьшением коэффициента вытяжки m , степень деформации возрастает, глубина вытяжки увеличивается и высокую деталь можно вытянуть за меньшее количество переходов. Путем

дифференцированного нагрева заготовки можно повысить прочность опасного сечения заготовки. И этим заменить несколько переходов, выполняемых при обычных условиях одним переходом, выполняемым с нагревом.

На рис. 5.6. показана схема вытяжки в штампе с подогревом фланца заготовки и охлаждением ее вертикальной стенки, где расположено опасное сечение.

Температура нагрева прижима и матрицы для алюминиевых сплавов должна быть равна 400-450 °С. В случае вытяжки сталей и титановых сплавов нагрев следует проводить до более высоких температур, но надо учесть, что при высоких температурах резко падает стойкость штампа.

При вытяжке с нагревом минимальное значение коэффициентов вытяжки уменьшаются с 0,5-0,6 до 0,33-0,37, значит, вместо двух-трех переходов можно обойтись одним. При вытяжке коробчатых деталей достигается еще больший эффект: один переход вытяжки с нагревом заготовки заменяет три-четыре перехода холодной вытяжки.

Уменьшение сил трения. Согласно уравнению (5.8) силы трения, учитываемые через коэффициент трения μ , существенно перегружают опасное сечение и уменьшают технологические возможности вытяжки. Около 70% сил трения по контакту заготовки с оснасткой возникают в зоне ребра матрицы (см. R_m , рис. 5.5).

Основными путями снижения сил трения являются:

▲ Уменьшение шероховатости контактных поверхностей штампов (шлифованием либо полированием, хромированием);

▲ Использование смазки (масел, жиров, покрытий, масел с наполнителями);

▲ Уменьшением давлений на контактных поверхностях подбором оптимальных давлений прижима и рациональных форм штампов;

Приложение к инструменту в процессе вытяжки вибрационной нагрузки различной частоты, в том числе и ультразвуковой. Вибрация уменьшает силы

трения, выравнивает деформации и т. д., в результате снижаются требуемые усилия вытяжки в два раза, вследствие чего достигается более глубокая вытяжка.

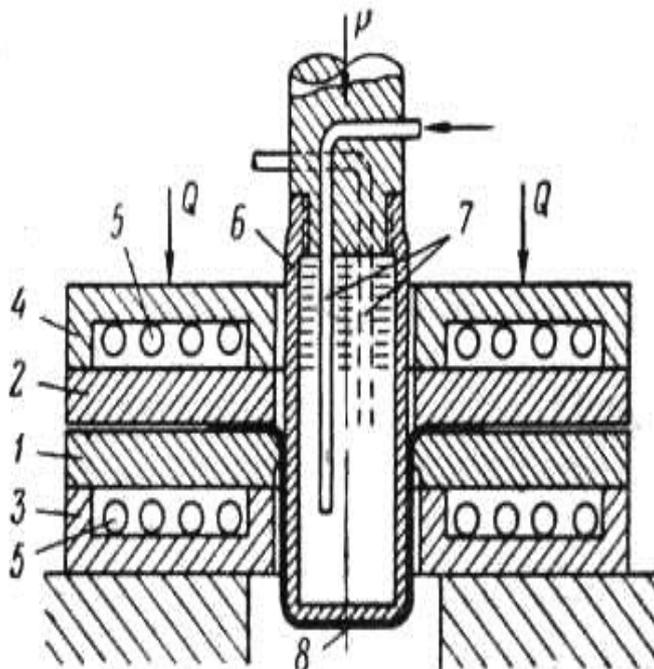


Рис. 5.6. Схема штампа для вытяжки с подогревом фланца заготовки.
 1 – матрица; 2 – прижим; 3 – подогревательное устройство матрицы; 4 – подогревательное устройство прижима; 5 – электронагреватели; 6 – пуансон; 7 – трубка подвода и отвода охлаждающей воды к пуансону; 8 – заготовка.

Форма и размеры рабочих частей штампа существенно влияют на протекание процесса вытяжки и предельные степени деформации. Наибольшее влияние на процесс вытяжки оказывает форма входной части матрицы. Для второго и последующих переходов следует входные кромки матриц делать коническими. Еще более эффективным будет применение матрицы с конусным входом заготовки в нее. В этом случае если вытяжка производится с прижимом, то прижим выполняет две функции: до прижатия заготовки к матрице конусный прижим работает как пуансон, втягивая плоскую заготовку в конусную часть матрицы, затем получившийся конический полуфабрикат втягивается пуансоном в цилиндрическую часть матрицы. В конусных матрицах заготовка приобретает дополнительную жесткость, что позволяет осуществлять вытяжку без прижима и с приложением меньших усилий.

Глава VI. Процесс раздачи.

6.1. Общие сведения.

Технологическая операция р а з д а ч а применяется для изготовления полых листовых деталей с раструбом или с фланцем на концах, для ступенчатых деталей, для конических, бочкообразных или более сложных обечаек, например, обечайки подвесных баков, детали воздухозаборников и др.

Сущность технологической операции раздача заключается в том, что к трубообразной заготовке, установленной на пуансон, прикладывается внешняя сила P , вследствие чего увеличивается начальный диаметр заготовки (рис. 6.1).

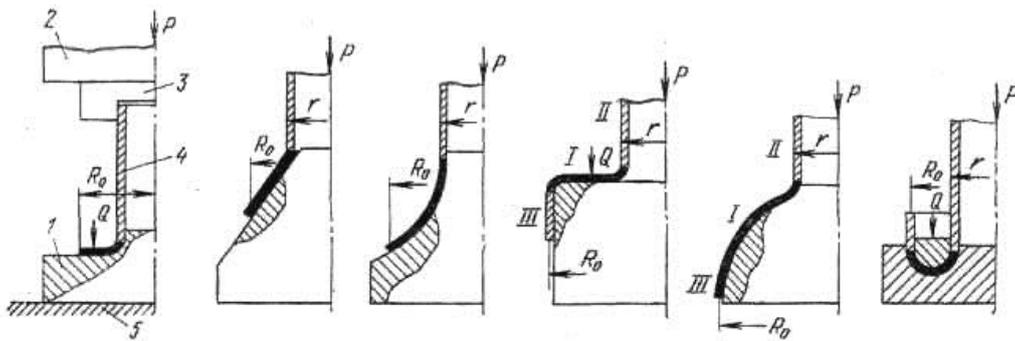


Рис. 6.1. Технологические схемы раздачи.

1 – пуансон; 2 – плунжер прессы; 3 – фиксатор заготовки; 4 – заготовка; 5 – стол прессы.

На рис. 6.1. очаги деформаций зачернены (зона I). На участках II и III заготовка в широтном направлении не деформируется.

В очаге деформации под действием силы P возникают плоское напряженное и объемное деформированное состояние; в радиальном направлении напряжения σ_r – сжимающие, в окружном σ_θ – растягивающие. Деформации ε_r и ε_θ совпадают со знаками напряжений, а деформации по толщине ε_n изменяют знак на радиусе $R_{гр}$, разделяющем зоны утолщения и утонения.

Опасным сечением являются кромки заготовки, подвергающиеся максимальному растяжению в окружном направлении. Толщину кромки можно определить по выражению:

$$s_{кр} = s \sqrt{\frac{r}{R_0}} = s \sqrt{k_{раз}} \quad (6.1)$$

6.2. Расчет усилия деформирования заготовки.

Расчет потребного усилия деформирования рассмотрим на примере раздачи на коническом пуансоне (рис. 6.2). Для вывода расчетной формулы усилия деформирования P необходимо знать напряженное состояние заготовки в очаге деформаций (зона I, рис. 6.1).

Максимальные значения напряжений $\sigma_{p\max}$ будут на внутренней границе очага деформаций, где приложено внешнее усилие. Уравнение, определяющее значение $\sigma_{p\max}$ имеет следующий вид:

$$\sigma_{p\max} = -\sigma_s \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\mu}\right) (1 - k_{раз}^{\mu \operatorname{ctg} \alpha}), \quad (6.2)$$

где μ – коэффициент трения по контакту пуансон-заготовка.

$$k_{раз} = \frac{d_{cp}}{D_0} - \text{коэффициент раздачи.}$$

Влияние изгиба и спрямления заготовки в начале очага деформаций можно учесть уравнением:

Усилие P деформирования складывается из усилий: P_d – усилия, преодолевающего сопротивление металла деформированию; $P_{тр}$ – усилия, преодолевающего силы трения; $P_{изг}$ – усилия, преодолевающего сопротивление изгибу:

$$P = P_d + P_{тр} + P_{изг}. \quad (6.4)$$

$$\sigma_{изг} = \frac{\sigma_s s}{2 R_{cp}} = \frac{\sigma_s s}{2 R_n - s} \quad (6.3)$$

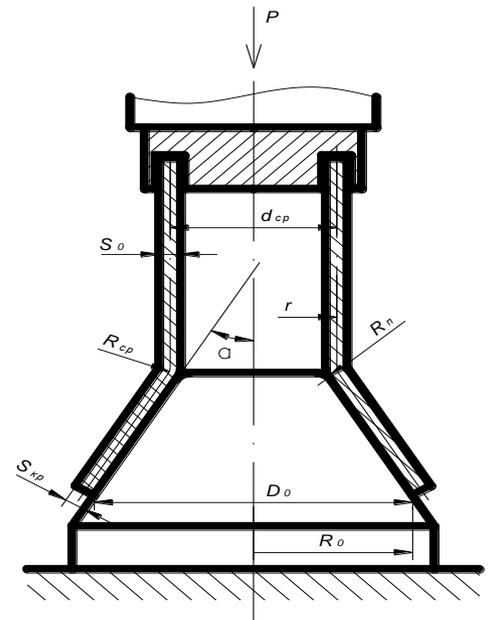


Рис. 6.2. Раздача на коническом пуансоне.

Эти составляющие создают в стенке заготовки в зоне II (см. рис. 6.1) напряжения:

$$\sigma_{cm} = \sigma_d + \sigma_{mp} + \sigma_{изз}.$$

Для того чтобы учесть упрочнение, можно в уравнении (6.2) напряжения текучести σ_s принять среднее по очагу деформаций сопротивление деформированию σ_{Scp} , ориентируясь на максимальную деформацию – окружную деформацию ε_θ . Считаем, что упрочнение определяется законом $\sigma_s = \sigma_s' + E_1 \varepsilon_\theta$ и примем σ_{Scp} из двух значений σ_s на границах очага деформаций. На внутреннем контуре (r) деформация $\sigma_\theta=0$, поэтому $\sigma_s = \sigma_s'$. На наружном контуре (R_0) деформация $\varepsilon_\theta = \frac{R_0 - r}{r}$, а σ_s равен:

$$\sigma_s = \sigma_s' + \frac{E_1(R_0 - r)}{r} = \sigma_s' + \frac{E_1(1 - k_{раз})}{k_{раз}}. \quad (6.5)$$

Тогда σ_{Scp} из двух крайних значений σ_s будет:

$$\sigma_{s\ cp} = \sigma_s' + \frac{E_1(1 - k_{раз})}{2 k_{раз}}. \quad (6.6)$$

Поэтому усилие P деформирования для конечного момента деформирования будет равно:

$$P = \left[\left(\sigma_s' + \frac{E_1(1 - k_{раз})}{2 k_{раз}} \right) \left(1 + \frac{tg \alpha}{\mu} \right) \left(1 - k_{раз}^{\mu ctg \alpha} \right) + \frac{\sigma_s S}{2 R_n - S} \right] \pi d_{cp} S. \quad (6.7)$$

6.3. Технологические возможности раздачи.

Ограничивающим фактором технологической возможности раздачи является разрыв свободной кромки заготовки, находящейся в условиях окружного растяжения.

Для выявления технологических возможностей раздачи воспользуемся уравнением, связывающим окружную деформацию кромки ε_θ и коэффициент раздачи $k_{раз}$.

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{R_0 - r}{r} = \frac{1 - k_{раз}}{k_{раз}}. \quad (6.8)$$

Разрушение кромки происходит при допустимой деформации $\varepsilon_{доп}$. Примем $\varepsilon_{\theta} = \varepsilon_{доп}$ тогда, решив уравнение (6.8) относительно $k_{раз}$ получим:

$$k_{раз} = \frac{1}{1 + \varepsilon_{доп}}. \quad (6.9)$$

Можно принять значение $\varepsilon_{доп}$ соответствующей деформации растяжения, при которой происходит максимальное сужение $\psi_{ш}$ в шейке образца в момент его разрыва. Учитывая известную связь между деформацией растяжения и сужения образца можно записать:

$$\varepsilon_{доп} = \frac{\psi_{ш}}{1 - \psi_{ш}}. \quad (6.10)$$

Тогда уравнение (6.9) можно переписать в следующем виде:

$$k_{раз} = 1 - \psi_{ш}. \quad (6.11)$$

В некоторых случаях коэффициент раздачи ограничивается устойчивостью кромки, согласно уравнению (6.1) можно принять условие:

$$k_{раз} = \left(\frac{S_{сп}}{S_{мин}} \right)^2. \quad (6.12)$$

Из условия устойчивости заготовки в зоне передачи усилия, можно записать:

$$\sigma_{\rho} = \sigma_s \left(1 + \frac{tg \alpha}{\mu} \right) (1 - k_{раз}^{\mu tg \alpha}) \approx \sigma_s.$$

Здесь считаем, что заготовка теряет устойчивость при напряжениях, примерно равных пределу текучести.

Степень деформации можно увеличить нагревом заготовки в зоне очага деформации, например, нагревая пуансон до 400-450 °С. Нагрев увеличивает пластичность материала и значительно снижает $k_{раз}$.

6.4. Рациональные условия деформирования.

Условия деформирования должны быть направлены на получение наибольшей степени деформирования за один переход и приложения минимального усилия на растяжку. Достичь полного использования возможностей операции раздачи можно различными путями: зональным нагревом заготовки, выбором рациональной формы штампа, уменьшением сил трения по контактируемым поверхностям, правильным подбором технологического оборудования.

З о н а л ь н ы й н а г р е в существенно интенсифицирует процесс. Рациональное распределение температур нагрева по высоте заготовки помимо уменьшения $k_{раз}$ обеспечивает некоторое утолщение листа в зоне передачи усилий, вследствие чего при последующей раздаче можно получить меньшее утонение стенки детали. Например, для некоторых алюминиевых сплавов в нормальных условиях $k_{раз}=0,8$, а при нагреве до температуры 300 °С в начале очага деформаций и 450 °С в конце $k_{раз}=0,48$ (диаметр увеличивается более чем вдвое), утонение 20% (вместо 30% по расчету), а на начальных участках очага – утолщение 14%; чем больше угол конусности пуансона, тем устойчивее может происходить утолщение.

Ф о р м а и н с т р у м е н т а (штампа) влияет на силовой режим процесса и на распределение напряжений, на трение, на технологические возможности. С увеличением угла конусности пуансона (α) (см. рис. 6.2), несколько увеличивается требуемое усилие P , увеличивается утолщение в начале очага деформаций. Как показывают опыты и расчеты, оптимальные углы α располагаются в диапазоне 10-30°. При больших углах конусности пуансона заготовка при своем движении отрывается от ее поверхности и происходит выворот кромки детали.

У с л о в и я т р е н и я влияют не только на усилие P деформирования (чем меньше μ тем меньше P), но и регулируют свободное движение кромки заготовки, что обеспечивает получение ровного торца детали. Чисто обработанная

поверхность штампа и правильно подобранная смазка обеспечивает хорошее качество внутренней поверхности детали.

Глава VII. Процесс отбортовки.

7.1. Общие сведения.

Отбортовка – это операция листовой штамповки, в результате которой пластической деформацией плоской либо объемной заготовки образуется борт по контуру отверстия или по внешнему контуру детали. Примеры отбортовки приведены в таблице 1.2 (XII класс). На рисунке 1.6 схематически показаны некоторые варианты получения отбортовки.

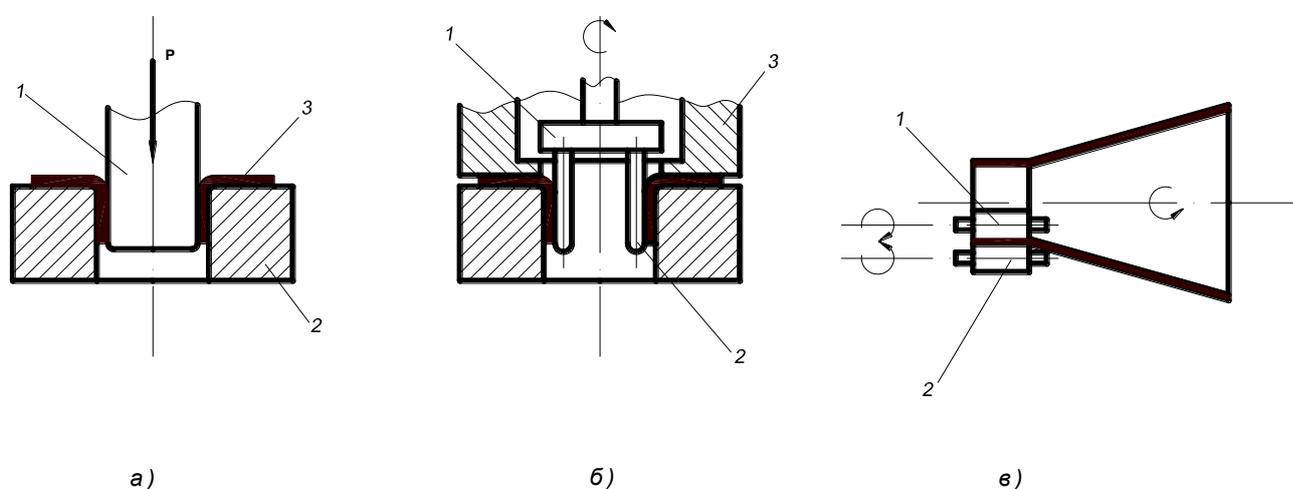


Рис. 7.1. Варианты отбортовки листовых деталей.

а – отбортовка на штампе с поступательным движением пуансона (1 – пуансон; 2 – матрица; 3 - заготовка); б – отбортовка вращательным движением пуансона (1 – пуансон; 2 – палец; 3 - прижим); в – отбортовка на фланцовочно-бортовочном станке (1 – нажимной ролик; 2 – упорный ролик).

В производстве летательных аппаратов отбортовка применяется для широкого круга деталей: стенок нервюр, шпангоутов, перегородок, диафрагм и др. Отбортовка отверстий и периферийных зон листовых деталей значительно увеличивает их жесткость. Также отбортовка выполняется при штамповке полупатрубков, зализов, при отгибании бортов по вогнутым контурам.

На рисунке 7.2 показаны этапы формоизменения заготовки при отбортовке: 1 – исходное состояние заготовки; 2 – промежуточное состояние; 3 – завершённое состояние.

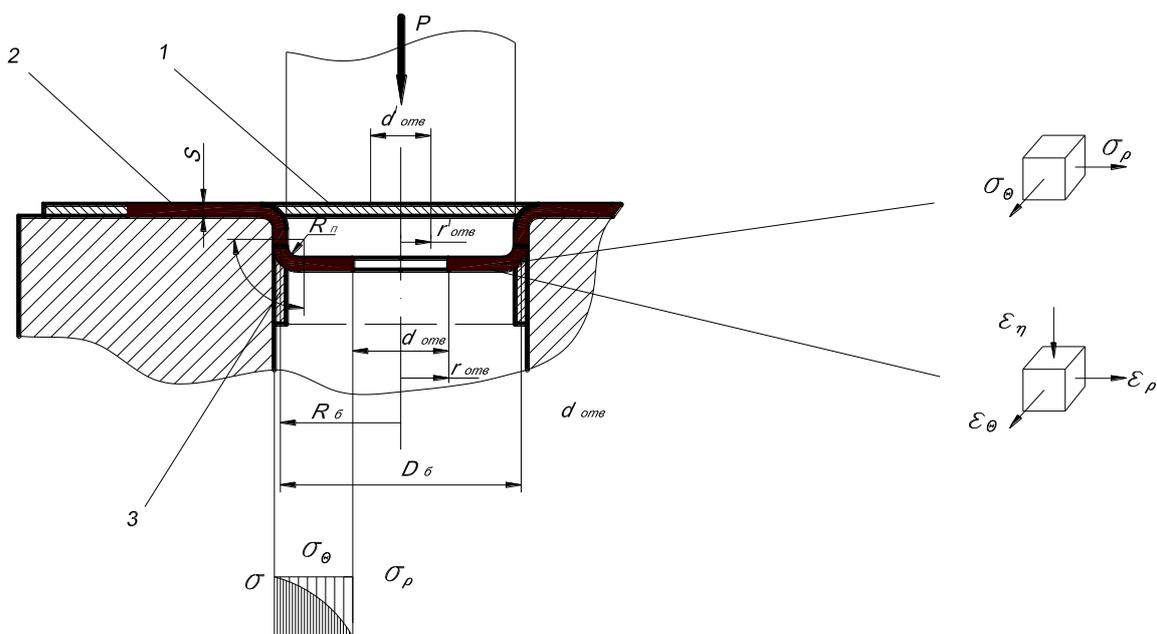


Рис. 7.2. Напряженно-деформированное состояние заготовки при отбортовке.

Для определения напряженно-деформированного состояния примем идеальные условия: трение, изгиб и упрочнение не учитываются; толщина заготовки неизменна.

Максимальное радиальное напряжение $\sigma_{\rho \max}$ возникает на вертикальной стенке образующегося борта. Чтобы получить максимально возможное значение напряжения надо взять радиус отверстия $r_{\text{отв}}$ равным радиусу исходного отверстия, т. е. $r'_{\text{отв}}$.

$$\sigma_{\rho \max} = \sigma_s \left(1 - \frac{r'_{\text{отв}}}{R_{\text{б}}}\right) = \sigma_s (1 - k_{\text{отб}}), \quad (7.1)$$

где $k_{\text{отб}}$ - коэффициент отбортовки.

Коэффициент отбортовки связан с тангенциальной деформацией растяжения ϵ_{θ} :

$$\epsilon_{\theta} = \frac{R - r'_{\text{отв}}}{r'_{\text{отв}}} = \frac{1 - k_{\text{отб}}}{k_{\text{отб}}}. \quad (7.2)$$

Уравнение пластичности при $\sigma_{\theta} > \sigma_{\rho}$ и $\sigma_{\theta} = \text{const}$ имеет вид:

$$\sigma_{\theta} = \sigma_s. \quad (7.3)$$

Если учесть трение и изгиб при переходе заготовки через ребро пуансона, то уравнение (7.1) примет вид:

$$\sigma_{\rho \max} = \sigma_s \left[(1 - k_{\text{отб}}) + \frac{s}{2R_n + s} \right] e^{\mu\alpha}. \quad (7.4)$$

где $e^{\mu\alpha}$ - множитель Эйлера.

Деформированное состояние определяется из условия постоянства объема, т. е.:

$$\varepsilon_{\theta} + \varepsilon_{\rho} + \varepsilon_n = 0. \quad (7.5)$$

$$\text{Тогда } \frac{\sigma_{\rho}}{\sigma_{\theta}} = - \frac{\varepsilon_{\theta} - 2\varepsilon_n}{\varepsilon_{\theta} - \varepsilon_n} \quad (7.6)$$

$$\text{или } \varepsilon_n = - \frac{1 - \frac{\sigma_{\rho}}{\sigma_{\theta}}}{2 - \frac{\sigma_{\rho}}{\sigma_{\theta}}} \varepsilon_{\theta} \quad (7.7)$$

На свободной кромке по диаметру $d_{\text{отв}} \frac{\sigma_{\rho}}{\sigma_{\theta}} = 0$ и деформация равна $\varepsilon_n = 0,5\varepsilon_{\theta}$, а толщина кромки при переходе ее в стенку борта будет равна $S_{\text{кр}} = s \sqrt{k_{\text{отб}}}$.

7.2. Расчет усилий деформирования.

Усилие деформирования P должно преодолеть сопротивление деформированию, силы трения и другие сопротивления. Численно усилие P равно: $P = \sigma_{\rho \max} \cdot \pi D_{\text{отв}} s$; используя уравнение (7.4), получим:

$$P = \sigma_s \left[(1 - k_{\text{отб}}) + \frac{s}{2R_n + s} \right] e^{\mu\alpha} \pi D_{\text{отв}} s \quad (7.8)$$

Практика показала, что максимальное значение усилие P принимает в начале процесса, когда $r_{\text{отв}}$ увеличивается на 10%. Для учета упрочнения металла примем величину ε_{θ} соответствующей этому экстремальному моменту. Тогда

$\varepsilon_{\theta cp} = \frac{1,1r_{омб} - r_{омб}}{r_{омб}} = 0,1$, и эту деформацию примем средней для всего очага деформаций.

Уравнение (7.8) в этом случае примет следующий вид:

$$P = (\sigma_s + E_1 \varepsilon_{\theta cp}) \left[(1 - k_{омб}) + \frac{s}{2R_n + s} \right] e^{\mu \alpha} \pi D_{\theta} s \quad (7.9)$$

Угол α зависит от формы рабочего торца пуансона в нашем случае (рис. 7.2, а) торец плоский поэтому $\alpha = \frac{\pi}{2}$. При использовании конического или сферического пуансона усилие отбортовки значительно снижается за счет уменьшения угла α и за счет снижения влияния изгиба, так как при сферическом пуансоне $R_n = R_{\theta}$, а при конусном R_n равен радиусу свободного изгиба, который определяется уравнением: $R_{\rho} = \frac{\sqrt{rs}}{\sin \alpha}$.

7.3. Технологические возможности процесса отбортовки.

Технологические возможности отбортовки определяются предельными степенями касательных деформаций кромки отверстия. Так как на кромке отверстия $\sigma_{\rho} = 0$ (см. рис. 7.2), уравнение пластичности $\sigma_{\theta} - \sigma_{\rho} = \sigma_s$ примет вид $\sigma_{\theta} = \sigma_s$. Если принять одним из основных характеристик технологических возможностей коэффициент отбортовки, то из уравнения (7.2) следует

$$k_{омб} = \frac{1}{1 - \varepsilon_{\theta}}. \quad (7.10)$$

Примем в качестве допустимой деформации деформацию, соответствующую моменту образования шейки, т. е.

$$\varepsilon_{дон} = \frac{\psi_{ш}}{1 - \psi_{ш}}. \quad (7.11)$$

Тогда минимальный коэффициент отбортовки будет равен

$$k_{омб} = 1 - \psi_{ш}. \quad (7.12)$$

Эта формула не учитывает ряд макрофизических явлений при деформировании зоны отверстия, а также влияние толщины заготовки, состояние поверхности кромки и др. Поэтому предельные степени деформаций могут колебаться в довольно широком диапазоне. Для ряда алюминиевых сплавов $k_{отб}=0,9-0,7$; для коррозионно стойких сплавов $k_{отб}=0,80\div 0,65$.

Р а ц и о н а л ь н ы е у с л о в и я д е ф о р м и р о в а н и я могут снизить усилия деформирования и увеличить высоту бортов. Например, рациональные размеры и форма рабочих частей штампов; дифференцированный нагрев заготовки; снижение сил контактного трения могут значительно расширить технологические возможности отбортовки.

Наибольшее влияние на усилие деформирования оказывает форма пуансона. Если принять усилие отбортовки сферическим пуансоном за 100%, то усилие при отбортовке конусным пуансоном будет составлять 120%, а с плоским торцом – более 200%.

На технологические возможности и величину потребного усилия для отбортовки также оказывают влияние: зазор z между матрицей и пуансоном, радиусы сопряжений ребер матрицы R_c и пуансона $R_{п}$. Рекомендуемые величины указанных размеров: $z=(1,1-1,2)s$; $R_{п}=(6-8)s$; радиус R_c должен быть несколько больше минимального радиуса изгиба для данной марки и толщины материала.

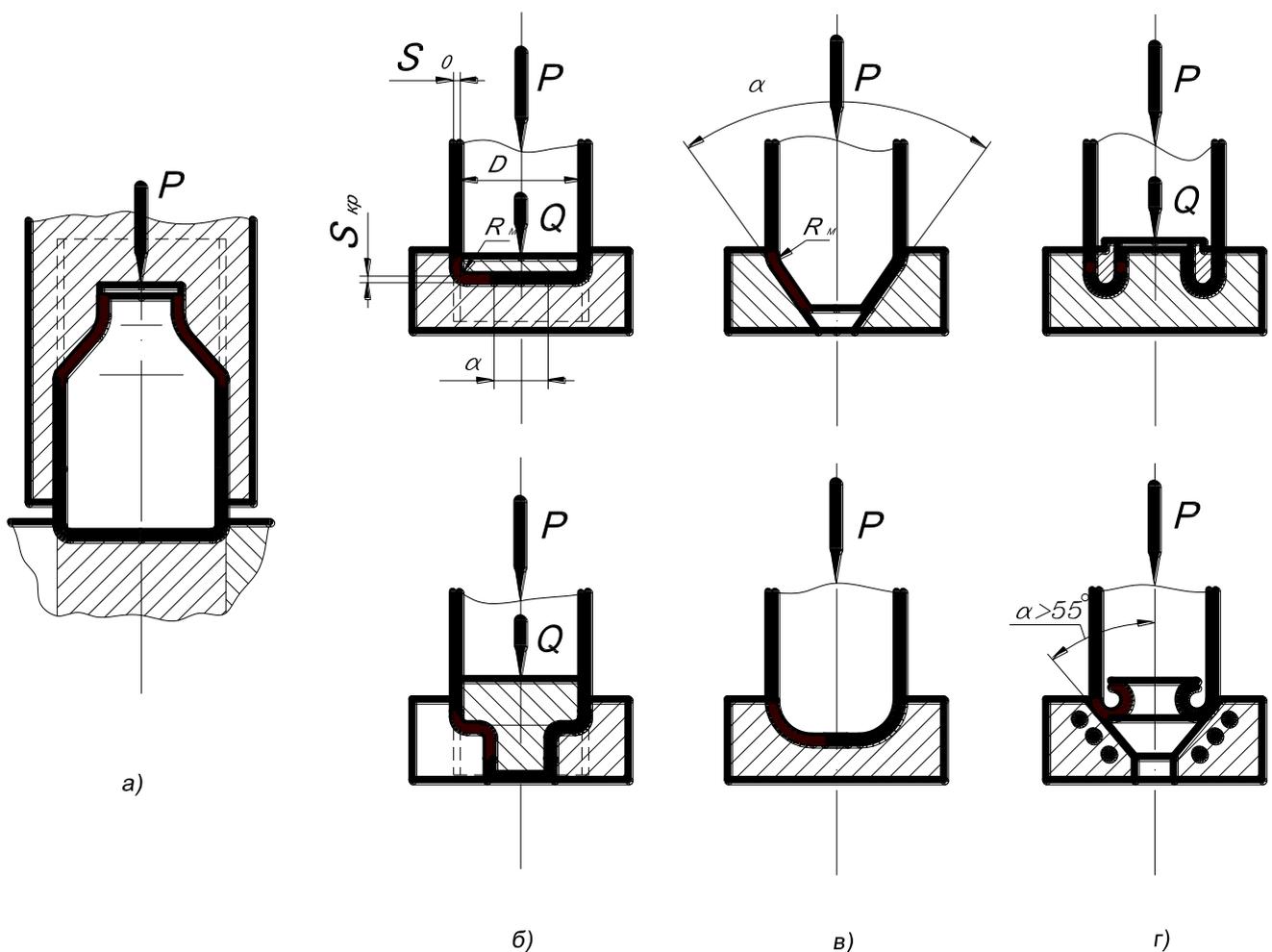
Н а г р е в з а г о т о в к и увеличивает степень ее деформации. Нагрев должен выполняться дифференцированно. Район кромки заготовки должен нагреваться до более высокой температуры, чем участки сопряжения борта со стенкой. Так как стенка является зоной передачи усилия, ее нагрев нежелателен, т. к. у нее снизится несущая способность. Оптимальной температурой нагрева зоны кромки для алюминиевых сплавов является 450 °С. Нагрев стенки, в результате теплопередачи, не должен превышать 300 °С.

Снижение сил контактного трения достигается тщательной чистовой обработкой контактных поверхностей штампа, а также применением эффективной смазки. Контактными поверхностями штампа является торец и боковая поверхность пуансона.

Глава VIII. Процессы обжима и радиального обжатия.

8.1. Общие сведения.

Обжим – это процесс уменьшения периметра поперечного сечения полой заготовки. Операция обжима применяется для уменьшения диаметра заготовки, трубы или сварной обечайки; на рис. 8.1 показаны наиболее часто встречающиеся формы деталей, изготавливаемые обжимом, например, цилиндрические детали с дном, ступенчатые (тяги управления), цилиндрические и шаровые баллоны, детали с двойной стенкой, выворот кромки трубчатой заготовки.



8.2. Расчет усилий деформирования при обжиге листовой заготовки.

Как видно из рис. 8.1, внешнее усилие P сжатия приложено к торцу заготовки, заготовка затаскивается в матрицу и оформляется по форме ее образующей.

Наибольшему сокращению длины в окружном направлении подвергается кромка заготовки при обжиге заготовки от диаметра D до d (см. рис. 8.1, б) т. е.

от $R = \frac{D}{2}$ до $r = \frac{d}{2}$. Относительная окружная деформация ε_θ кромки выражается формулой:

$$\varepsilon_\theta = \frac{r - R}{R} = -(1 - k_{об}), \quad (8.1)$$

где $k_{об}$ – коэффициент обжима.

При сжатии, в окружном и меридиональном направлениях, заготовка в очаге деформаций утолщается. Наибольшее утолщение происходит по кромке заготовки (по диаметру d). Технологические возможности обжима ограничиваются потерей устойчивости в стенке заготовки – осевая потеря устойчивости и в зоне очага деформаций – радиальная потеря устойчивости (деформирование от R до r). Для предотвращения радиальной потери устойчивости применяется прижим, на который действует усилие Q (см. рис. 8.1), для предотвращения осевой потери устойчивости при необходимости в полость заготовки помещают вкладыш.

Потребное усилие деформирования P складывается из сопротивления металла деформированию σ_{pmax} , сопротивления силам трения и усилия на изгиб. Так как в начале очага деформаций $\varepsilon_\theta=0$, а на кромке $\varepsilon_\theta=1 - k_{об}$, то примерное

среднее значение деформации можно принять равным $\varepsilon_{\theta cp} = \frac{1 - k_{об}}{2}$, а

сопротивление деформированию с учетом упрочнения

$$\sigma_{s\ cp} = \frac{\sigma_s + E_1(1 - k_{об})}{2} \quad (8.2)$$

$$\text{тогда } \sigma_{\rho \max} = -\left(\sigma_s + E_1 \frac{(1 - k_{об})}{2}\right)(1 - k_{об}) ; \quad (8.3)$$

$$\sigma_{\rho \max} = -\left(\sigma_s + E_1 \frac{(1 - k_{об})}{2}\right)(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)(1 - k_{об}) , \quad (8.4)$$

где α – угол конусности конической матрицы.

Влияние изгиба и спрямления заготовки на входе в очаг деформаций учитываются так же как при раздате уравнением (6.3). Радиус изгиба $R_\rho = R_M - 0,5s$. Тогда усилие деформирования для обжима в конической матрице будет равно

$$P = \left[\left(\sigma_s + E_1 \frac{(1 - k_{об})}{2}\right)(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)(1 - k_{об}) + \frac{\sigma_s s_0}{2R_M - s_0}\right] \pi D s_0 . \quad (8.5)$$

Приближенное значение усилия P для обжима в плоской матрице:

$$P = \left[\left(\sigma_s + E_1 \frac{(1 - k_{об})}{2}\right)(1 - k_{об}) + \frac{\sigma_s s_0}{2R_M - s_0}\right] \pi D s_0 \quad (8.6)$$

Прижим заготовки применяется при большом формоизменении тонкостенной заготовки ($\frac{s_0}{D} = 0,02$). Усилие Q прижима определено необходимым давлением q и величиной площади контакта заготовки с прижимом

$$Q = \frac{q \pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (8.7)$$

Давление q должно соответствовать нижнему пределу q, применяемому при вытяжке (см. гл. V).

8.3. Рациональные условия деформирования.

Основным критерием технологических возможностей обжима является коэффициент обжима. При $k_{об} < k_{об\min}$ усилие P превышает критическое значение – в вертикальной стенке образуется кольцевая складка. Следовательно, для нормального протекания процесса должно соблюдаться соотношение $\sigma_{\rho\max} < \sigma_{кр}$.

Практика показывает, что при $\frac{S_0}{D} > 0,02$ осевая потеря устойчивости наступает при $\sigma_{pmax} = \sigma_s$.

Из уравнений (8.3) и (8.4) видно, что σ_{pmax} тем быстрее достигает предела текучести σ_s , чем меньше $k_{об}$, больше E_1 и μ , т. е. появляется опасность потери устойчивости.

Технологические возможности обжима можно расширить, создавая ряд рациональных условий деформирования: созданием благоприятной формы матрицы штампа, снижением сил трения контактных поверхностей, зональным нагревом заготовки.

Наилучшие условия процесса обеспечиваются при обжиге сферической матрицей. При такой форме инструмента нет резкого перегиба на входе заготовки в очаг деформаций, нет спрямления, обеспечивается плавное возрастание давления и, следовательно, меньшее влияние сил трения; меньшая склонность к появлению радиальных конических складок. В сферической матрице достигается обжим до смыкания кромки.

Минимального значения деформирующего усилия при обжиге конической матрицей можно достичь подбором оптимального угла конусности матрицы α_{opt} . Этот угол можно определить аналитически [6]:

$$\sin \alpha_{opt} = \sqrt[3]{\frac{\mu}{2}}, \quad (8.8)$$

где, μ - коэффициент трения.

Для обычных величин μ угол $\alpha_{opt} = 20^\circ - 30^\circ$.

При углах $\alpha > 55^\circ$ заготовка отрывается от конической поверхности матрицы и начинает выворачиваться (рис. 8.1, г).

Радиус сопряжения матрицы R_m не должен быть слишком малым, чтобы не увеличивать слагаемое $\sigma_{изг}$ в уравнении (8.5); R_m не должен быть меньше трех толщин материала, т. е. $R_m \geq 3s$.

Для уменьшения влияния сил трения также как в других операциях необходимо выбрать оптимальную смазку и более тщательно обрабатывать контактные поверхности штампа.

Нагрев заготовки для увеличения степени деформации необходимо выполнять дифференцированно: например, в сферической матрице обжим с нагревом очага деформаций от горячей матрицы (450 °С) и с искусственным охлаждением опасной зоны заготовки (до 300 °С) обеспечивает на трубах из сплавов Д16 и АМг6 полное смыкание кромок с созданием требуемой герметичности.

Глава IX. Процесс обтяжки.

9.1. Общие сведения.

Обтяжка – это процесс формообразования листовых деталей двойной кривизны растяжением заготовок до их полного прилегания к профилированной оправке. Для полного прилегания заготовки к поверхности оправки во всех ее волокнах при обтяжке создают напряжения растяжения, превосходящие предел текучести материала. Этот процесс широко применяется для изготовления крупногабаритных деталей двойной кривизны с высоким отношением радиуса кривизны к толщине материала. Некоторые типовые детали, изготавливаемые обтяжкой, показаны в таблице 1.1. (IV класс).

В зависимости от схемы приложения внешних сил и формы обтягиваемой детали различают три вида обтяжки:

- ▲ простая обтяжка;
- ▲ обтяжка с продольным растяжением заготовки;
- ▲ кольцевая обтяжка.

На рисунке 9.1 показаны схемы приложения сил к заготовке и оснастке при выполнении указанных видов обтяжки.

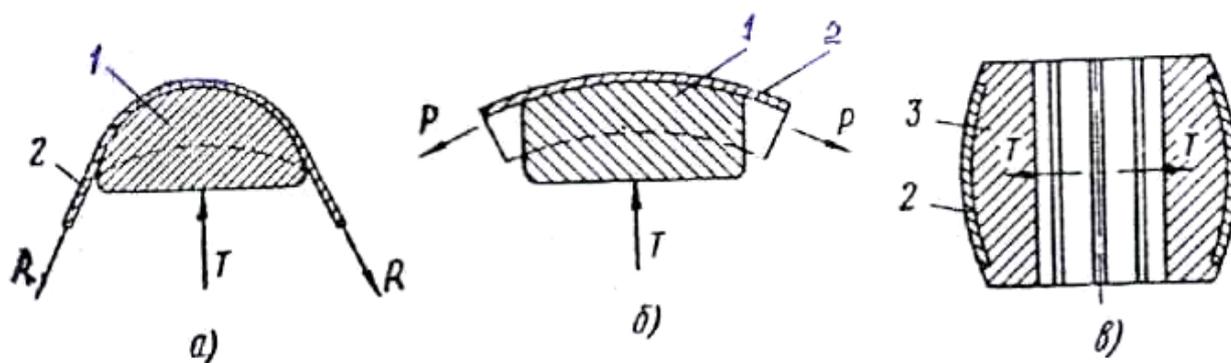


Рис. 9.1. Схемы сил, приложенных к заготовке и пуансону при простой обтяжке (а), обтяжке с растяжением (б) и кольцевой обтяжке (в).
1 – пуансон; 2 – деталь; 3 – сегменты пуансона.

Обтягивание сопровождается изгибом, значительным утонением и упрочнением материала заготовки. Поэтому процессом обтяжки получают детали небольшой глубины. Однако, технологические возможности обтяжки можно расширить, если обтягивать не плоские, а предварительно изогнутые листовые заготовки. Например, если плоской заготовке придать цилиндрическую или коническую форму на валковых станках, то незначительным дополнительным деформированием (обтяжкой) полуфабрикат можно преобразовать в готовую деталь сложной формы.

При простой обтяжке к пуансону прикладывается сила T , которая создает растягивающие напряжения в заготовке в результате действия сил R , являющихся силами реакции неподвижных зажимов пресса (см. рис. 9.1, а). При обтяжке с растяжением напряжения растяжения в заготовке создаются растягивающими силами P , приложенными к перемещающимся зажимам заготовки, и силой T , прилагаемой к пуансону (см. рис. 9.1, б). Пуансон при этом перемещается вверх и вниз.

Кольцевая обтяжка заготовки осуществляется в результате радиального перемещения сегментов пуансона под действием сил T (см. рис. 9.1, в).

9.2. Напряженное состояние заготовки.

При обтяжке заготовки 1, установленной на пуансоне 2 (рис. 9.2), возникают различные по величине и знаку напряжения.

Распределение этих напряжений зависит от вида обтяжки. Ввиду чрезвычайной сложности общей картины напряжений, возникающих при формообразовании детали обтяжкой, ограничимся рассмотрением характера изменения основных определяющих процесс обтяжки напряжений.

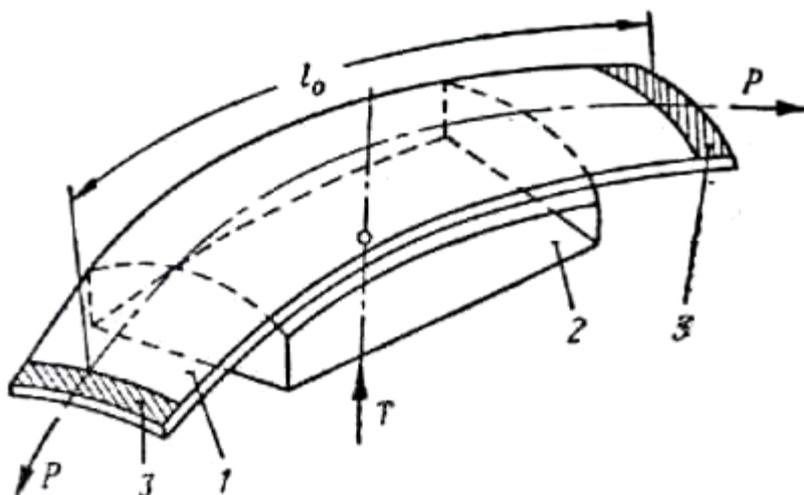


Рис. 9.2. Схема процесса обтяжки.
1 – заготовка; 2 – пуансон; 3 – места для зажимов.

Если рассматриваемый участок заготовки изгибается под действием момента M (рис. 9.3, а), то в его сечении возникают напряжения растяжения σ_1 и σ_2 сжатия. При $\sigma_1 > \sigma_T$ и $\sigma_2 > \sigma_T$ (здесь σ_T – напряжение при пределе текучести) имеет место простой изгиб. В этом случае после снятия момента M обшивка под действием упругих напряжений разного знака будет пружинить – распрямляться.

Для устранения пружинения необходимо, чтобы процесс формообразования протекал при напряжениях одного знака.

Напряжения одного знака, например растяжения, можно получить, если заготовку одновременно изгибать и растягивать (рис. 9.3, в). При таком характере напряжения заготовки происходит сложение напряжений от изгиба и напряжений от растяжения. В зависимости от величины изгибающих и растягивающих напряжений распределение суммарного напряжения по сечению заготовки будет иметь один из видов, приведенных на рис. 9.3, в и г.

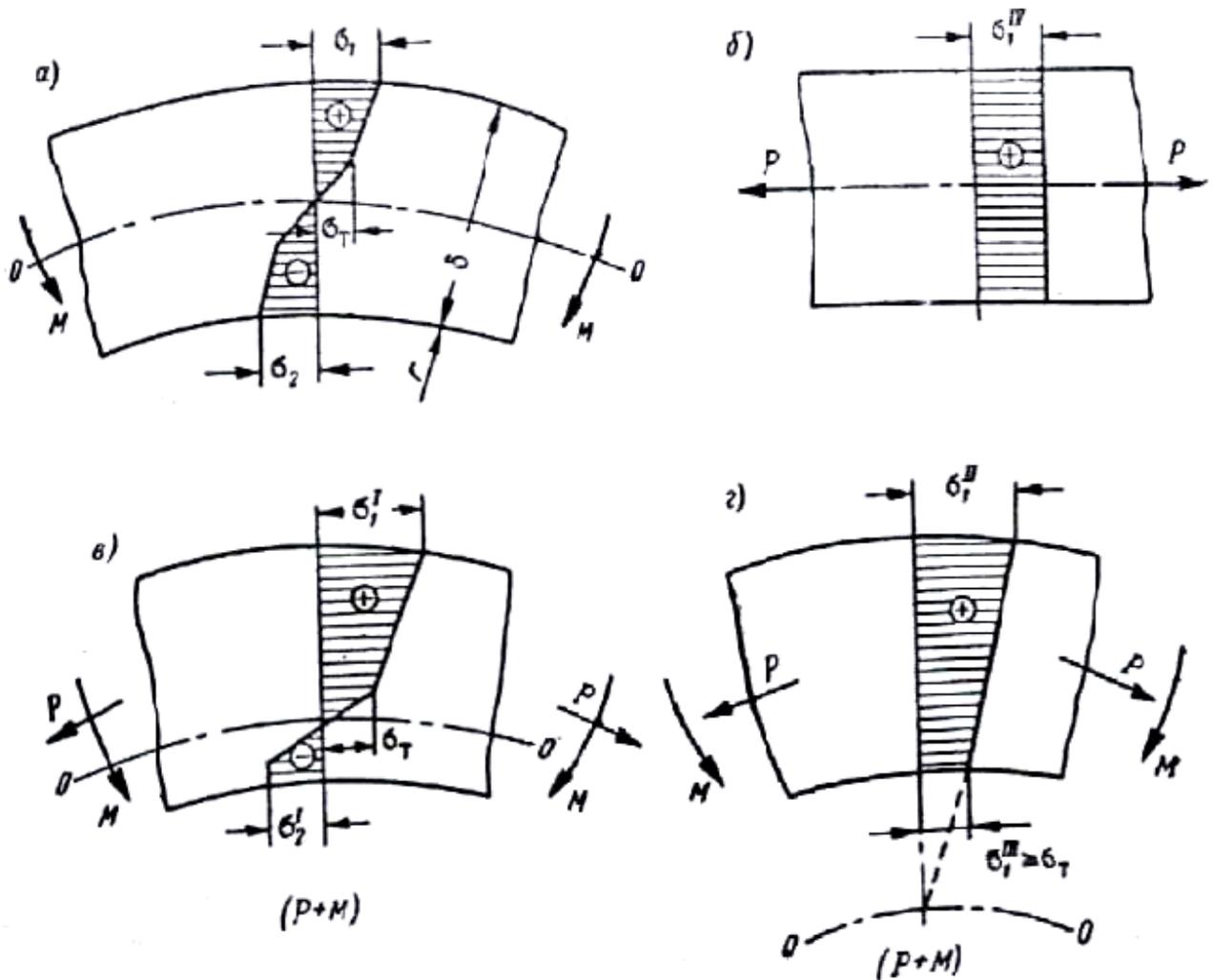


Рис. 9.3. Схемы нагружения и распределения напряжения в сечении заготовки при обтяжке.

Если растягивающее напряжение σ_1^{IV} по величине не больше, чем напряжение σ_1 при изгибе, т. е. $\sigma_1^{IV} < \sigma_1$, то суммарное напряжение от изгиба и растяжения будет определяться следующими выражениями:

$$\sigma_1^I = \sigma_1 + \sigma_1^{IV} \text{ для зоны растяжения и}$$

$$\sigma_2^I = \sigma_2 - \sigma_1^{IV} \text{ для зоны сжатия (см. рис. 9.3, в).}$$

В рассматриваемом случае $\sigma_1^I > \sigma_2^I$, и различны по знаку. Кроме того, в сечении будет существовать зона упругих напряжений, вследствие чего после снятия нагрузки заготовка также будет пружинить.

Для устранения пружинения обтяжку заготовки следует проводить при больших по величине растягивающих усилий P , при которых $\sigma_1 < \sigma_1' < \sigma_r$.

Если при растяжении заготовки возникающие напряжения будут удовлетворять соотношению $\sigma_1 < \sigma_1^{IV} < \sigma_2$, то суммарное напряжение в сечении будет определяться соотношениями (см. рис. 9.3, г):

$$\sigma_1'' = \sigma_1 + \sigma_1^{IV} \text{ в зоне растяжения (вверху) и}$$

$$\sigma_1''' = \sigma_2 - \sigma_1^{IV} \text{ в зоне растяжения (внизу).}$$

Следовательно, во всем сечении будет действовать напряжение одного знака – растяжение. После вытяжки при напряжениях в сечении соответствующих схеме рис. 9.3, г, деталь будет иметь незначительное пружинение только в результате разности напряжений на внутренних и внешних волокнах, так как $\sigma_1'' > \sigma_1'''$.

Вышеизложенное позволяет достаточно обоснованно выбрать рациональный технологический процесс обтяжки и управлять им.

При определении напряжений в сечениях заготовки следует иметь в виду, что напряжения распределяются неравномерно как по ширине, так и по ее длине. На рис. 9.4. показано распределение напряжений по ширине заготовки. При большой кривизне детали в средней ее части возникают напряжения растяжения,

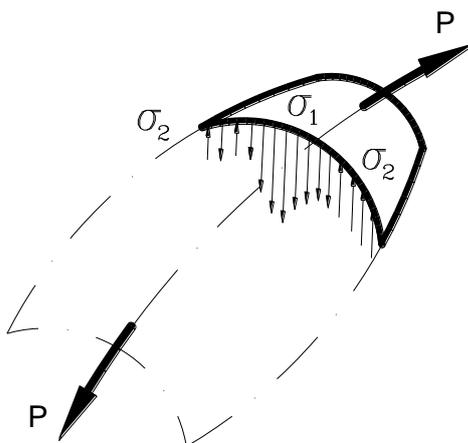


Рис. 9.4. Схема распределения напряжений по ширине заготовки.

а по кромкам – напряжения сжатия. Напряжения сжатия на кромках при незначительном растяжении заготовки вызывают появление гофра на кромках детали. Для избежания гофрообразования растягивающее усилие должно быть такой величины, которое обеспечит растяжение заготовки по всей ширине, и вызвать в ней напряжение растяжения более предела текучести материала.

9.3. Простая обтяжка (поперечная обтяжка).

Простой обтяжкой обычно изготавливаются небольшие по размерам секции обшивок летательных аппаратов.

Простая обтяжка выполняется в основном на обтяжных прессах типа ОП с закреплением продольных кромок заготовки в самоустанавливающихся зажимах, оси поворота которых неподвижны относительно станины прессы. Формообразование деталей осуществляется за счет удлинения поперечных сечений заготовки под действием усилия, прикладываемого к подвижному пуансону.

Возможность изготовления деталей требуемой формы определяется расчетным путем исходя из условия, чтобы действительные напряжения в наиболее опасном месте заготовки не превышали допускаемых.

Выполнение этого условия устанавливается на основе сравнения величин коэффициента обтяжки $k_{обт}$ с ее предельным значением $k_{обт.пр.}$.

Один из способов определения этих коэффициентов заключается в следующем:

а) коэффициент обтяжки $k_{обт}$ определяется на основании размеров детали, указанных в чертеже (рис. 9.5) по формуле:

$$k_{обт} = 1,01 + \frac{f}{l_0} k_a, \quad (9.1)$$

где f – стрела прогиба обтягиваемой детали по данным чертежа (рис. 9.5, а);

l_0 – длина заготовки за вычетом участков, находящихся под зажимами (см. рис. 9.2);

k_a – коэффициент, учитывающий величину угла (см. рис. 9.5, а) и определяемый из таблицы 9.1.

Таблица 9.1.

Величины коэффициента k_a в зависимости от угла α детали.

α^0	90	120	140	160	180
k_a	1,04	1,37	1,58	1,8	2,0

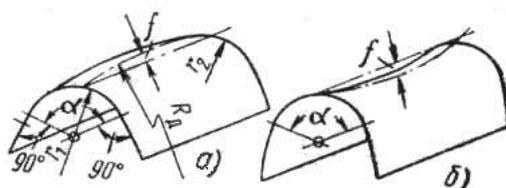


Рис. 9.5. Образцы деталей, изготавливаемых простой обтяжкой
а – выпуклая обшивка, в – вогнутая обшивка.

б) предельный коэффициент обтяжки $k_{обт.пр.}$ определяется по формуле:

$$k_{обт.пр.} = 1 + \frac{0,855 \, m \, c}{k_{\mu}}, \quad (9.2)$$

где m – коэффициент безопасности, представляющий собой отношение действительного напряжения в наиболее напряженном сечении заготовки к временному напряжению ее материала. Для материалов Д16 и В95 $m=0,8$, для отожженного титана ВТ5Д $m=0,5$;

c – коэффициент деформации, определяемый из выражения $c=\ln(1+\psi)$, (здесь ψ - относительное поперечное сужение материала заготовки);

k_{μ} – коэффициент, учитывающий влияние трения на распределение деформаций в заготовке. Значение коэффициента k_{μ} приведены в таблице 9.2.

Простую обтяжку заготовки можно производить в один или несколько переходов. Если $k_{обт.} \leq k_{обт.пр.}$, то обтяжку производят в один переход, в противном случае – за несколько переходов.

Таблица 9.2.

Величины коэффициента k_{μ} для обтяжки заготовки с применением смазки.

α°	10	30	90	120	140	160	180
марка материала							
Д16М	1,05	1,15	1,44	1,66	1,8	1,94	2,10
В95М	1,04	1,14	1,42	1,61	1,74	1,88	2,0
12Х18Н10Т	1,03	1,09	1,3	1,4	1,48	1,6	1,7
ВТ5Д (отожженный)	1,14	1,3	2,3	3,0	3,5	4,1	4,7

Многопереходная обтяжка может производиться как повторная обтяжка и как двухпереходная.

Повторная обтяжка выполняется в два перехода по одной болванке с промежуточной термобработкой – отжиг заготовки для первой обтяжки и закалка – для второго перехода.

Двухпереходная обтяжка выполняется на двух пуансонах с промежуточной термообработкой – на первом пуансоне обтягивается отоженная заготовка, на второй – свежезакаленная. Размеры пуансона первого перехода для выпуклой детали определяются следующими соотношениями:

$$r_{п1} = 0,87 r_1; r_{п2} = 0,87 r_2; R_{п1} = 1,25 R_2,$$

где $r_{п1}$, $r_{п2}$, $R_{п1}$ – радиусы, определяющие форму пуансона;

r_1 , r_2 , R_2 – радиусы, определяющие форму детали и соответствующие подобным радиусам пуансона (см. рис. 9.5, а).

Размеры пуансона второго перехода должны соответствовать размерам готовой детали.

Схема процесса простой обтяжки на прессе типа ОП показана на рис. 9.6. Заготовка 1 закрепляется на самоустанавливающихся зажимах 2, надетых на оси 3. После закрепления заготовки зажимы 2 сближают винтами 4 настолько, чтобы в натянутом положении заготовка 1 сходилась с поверхности пуансона по касательной к его контуру. Затем включают в действие механизм подъема пуансона 5, который при движении окончательно формирует заготовку.

Пресс подбирают по усилию, требующемуся для обтяжки заготовки. При простой обтяжке это усилие определяется по формуле

$$T = 2,2\sigma_v F \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (9.3)$$

где T – усилие, необходимое для подъема пуансона;

F – площадь сечения заготовки;

α - угол обтяжки (см. рис 9.5);

σ_v – предел прочности материала в том его состоянии (холодном или нагретом), при котором происходит обтяжка.

Растягивающие силы R , являющиеся реакциями силы T , действующими на зажимы прессы, определяются из выражения

$$R = \frac{T}{\cos \gamma}, \quad (9.4)$$

где γ - угол между вертикалью и направлением действия силы R (см. рис. 9.7).

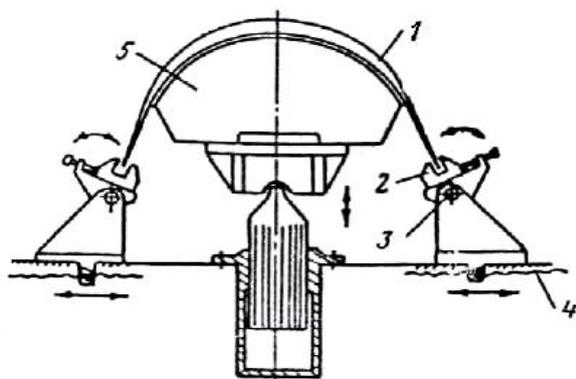


Рис. 9.6. Схема простой обтяжки на прессе типа ОП.

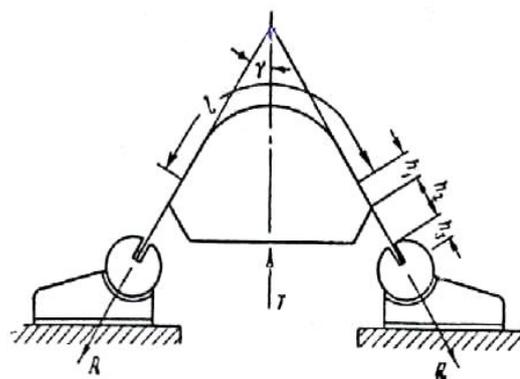


Рис. 9.7. Исходные данные для определения размеров заготовки при обтяжке.

Величина силы R должна удовлетворять условию, чтобы действительное напряжение в материале, вызванное этой силой, не превышало величины $0,9\sigma_v$, т. е. $R \leq F0,9\sigma_v$.

Длина L заготовки определяется по формуле (Рис. 9.7)

$$L = l + 2(h_1 + h_2 + h_3), \quad (9.5)$$

где l – длина детали по чертежу;

h_1 – припуск на обрезку заготовки (обычно $h_1=0,01-0,02$ м);

h_2 – припуск, зависящий от конструкции прессы и пуансона (обычно $h_2=0,15-0,20$ м);

h_3 – припуск на захват заготовки зажимными губками (обычно $h_3=0,05$ м).

Ширина заготовки:

$$B = b + 2h_4 \quad (9.6)$$

где b – ширина детали по чертежу;

h_4 – припуск на обрезку кромок заготовки. Для обшивок одинарной кривизны $h_4 \approx 0,04$ м, а для обшивок двойной кривизны $h_4 \approx 0,05$ м.

9.4. Обтяжка с растяжением (продольная обтяжка).

Обтяжка с растяжением применяется при изготовлении крупногабаритных обшивочных деталей летательных аппаратов. Коэффициенты обтяжки, усилия и размеры заготовки для процесса обтяжки с растяжением определяются расчетами так же, как для простой обтяжки.

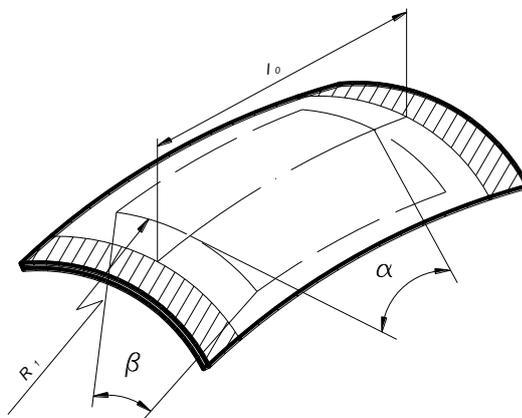


Рис. 9.8. Основные размеры обшивки и заготовки для нее (размеры, необходимые для расчета коэффициента обтяжки).

Коэффициент обтяжки с растяжением (рис. 9.8) определяется по формуле

$$k'_{обм} = 1 + \frac{4R_1}{l_0} \sin^2 \frac{\alpha}{4} \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \quad (9.7)$$

где R_1 – радиус поперечной кривизны обшивки;

l_0 – длина заготовки за вычетом размера, отводимого для зажимов;

β - угол охвата обшивки по чертежу в поперечном направлении;

α - угол охвата обшивки по чертежу в продольном направлении.

Предельный коэффициент $k_{обт.пр.}$ для обтяжки с растяжением рассчитывается по формуле (9.2), а входящие в нее величины m , c и k_{μ} имеют те же значения, что и при простой обтяжке.

Обтяжка с растяжением может производиться в один или несколько переходов. Обтяжка в один переход возможна при условии, когда $k'_{обт.} < k_{обт.пр.}$, а в несколько переходов, когда $k'_{обт.} > k_{обт.пр.}$. Коэффициент обтяжки для второго перехода определяется по размерам пуансона первого перехода.

На рис. 9.9. показана схема выполнения обтяжки с растяжением на прессе типа РО.

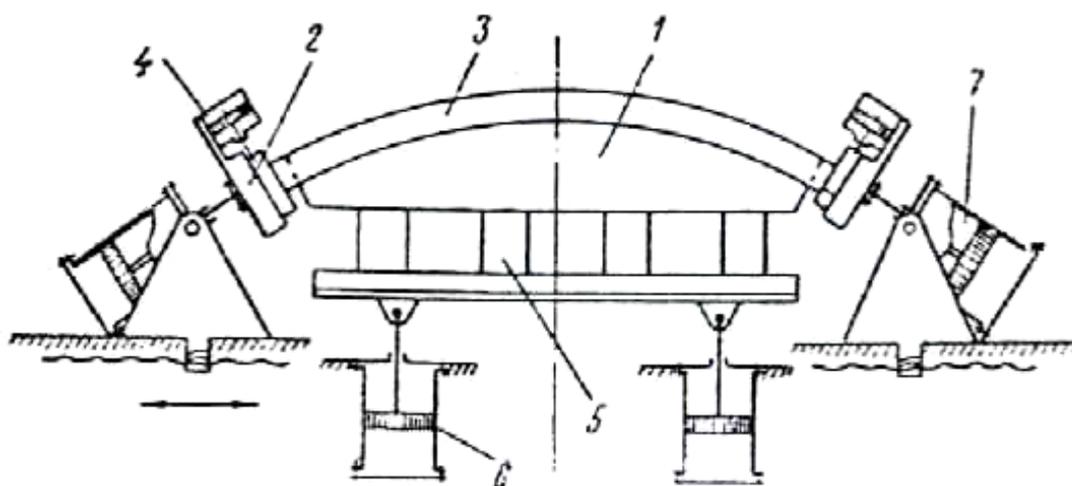


Рис. 9.9. Схема выполнения обтяжки с растяжением на прессе РО-1М.

1 – пуансон; 2 – зажимы; 3 – заготовка; 4 – гидроустройство; 5 – стол; 6 – гидравлическое устройство; 7 – гидравлическое устройство.

Технологический процесс обтяжки с растяжением выполняется в следующей последовательности:

- установка пуансона на стол прессы;
- установка на пуансоне заготовки в такое положение, чтобы расстояние от пуансона до зажимов 2 с обеих сторон были одинаковыми;
- закрепление заготовки в зажимах с помощью гидроустройства 4;

- подъем стола 5 с помощью гидравлических устройств 6 настолько, чтобы заготовка была прижата к гребню пуансона по всей ее длине;

- формообразование обшивки с помощью гидравлических устройств 7, создающих растягивающие силы P ;

- сьем заготовки после снятия нагрузки на пуансон.

Точность полученной формы обшивки контролируется по плотности прилегания ее в свободном состоянии к контрольному эталону поверхности. Если зазор между обшивкой и эталоном больше допускаемых (0,5-1,0 мм), то производят повторную обтяжку – калибровку обшивки по тому же пуансону.

Усилие для обтяжки с растяжением определяется по формуле

$$P = 0,9 F \sigma_{\epsilon}.$$

9.5. Кольцевая обтяжка.

Кольцевая обтяжка применяется для изготовления крупногабаритных деталей, имеющих замкнутый контур.

Процесс кольцевой обтяжки протекает аналогично процессу простой обтяжки. Предварительно согнутый из листа и сваренный в месте стыка полуфабрикат под действием усилий, создаваемых изнутри с помощью секций разжимного пуансона (рис. 9.10, а) или жидкостной среды (рис. 9.10, б), принимает форму пуансона или матрицы за счет растяжения его поперечных сечений в тангенциальном направлении.

Типовые детали, изготавливаемые по жесткому «разжимному» пуансону из цилиндрических и конических трубчатых заготовок диаметром 400-2000 мм с наибольшей высотой до 1500 мм, приведены на рис. 9.10, в.

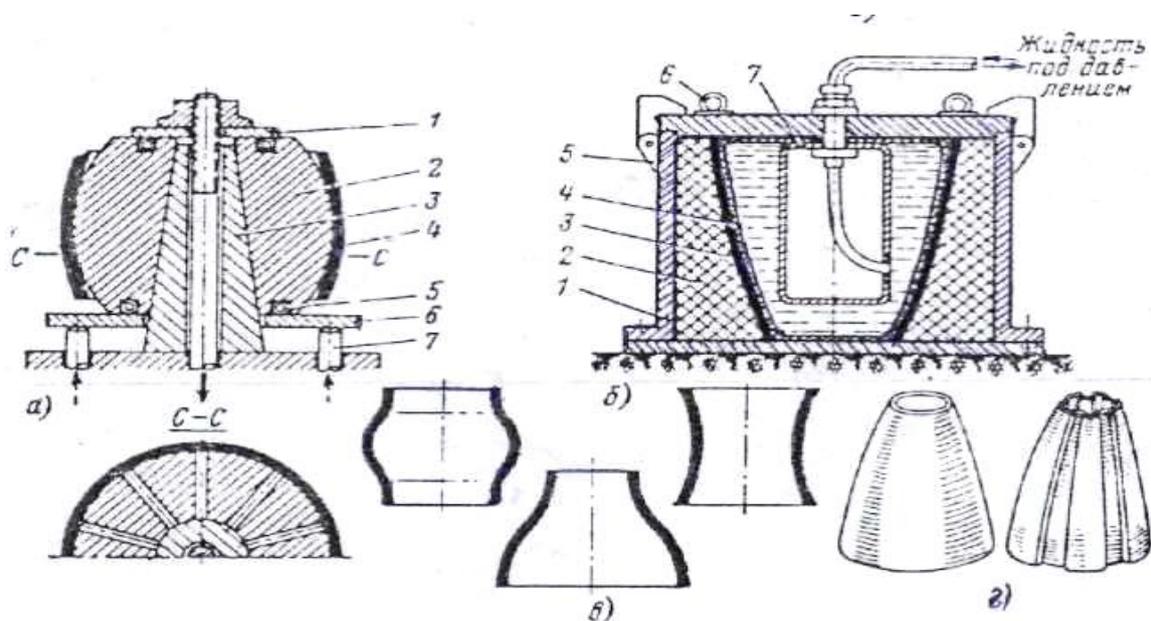


Рис. 9.10. Кольцевая обтяжка.

а – схема обтягивания по жесткому «разжимному» пуансону (1 – плита; 2 – сектор пуансона; 3 – корпус; 4 – заготовка; 5 – пружина; 6 – плита; 7 – колонка); б – схема установки для обтягивания трубчатых заготовок жидкостным пуансоном по жесткой матрице (1 – корпус матрицы; 2 – матрица; 3 – заготовка; 4 – резиновый мешок; 5 – замок; 6 – рым-болт; 7 – корпус пуансона); в, г – типовые детали, получаемые кольцевой обтяжкой.

Недостатком процесса обтяжки по «разжимной» матрице является некоторая огранка на деталях вследствие увеличения зазора между секторами пуансона при их «разжимании».

Обтягивание по жесткой матрице жидкостным пуансоном производится на специальных установках (рис. 9.10, б) для изготовления очень точных деталей (рис. 9.10, г) в крупносерийном производстве.

9.6. Оборудование и оснастка для выполнения процессов обтяжки.

Для изготовления различных групп деталей созданы соответствующие виды обтяжных прессов, основными из которых являются: прессы для простой обтяжки (рис. 9.11, а), для обтяжки с растяжением (рис. 9.11, б), односторонней обтяжки (рис. 9.11, в) и кольцевой обтяжки (рис. 9.11, г).

Кроме обтяжных прессов для формоизменения деталей двойной кривизны также применяется доводочное оборудование (для калибровки деталей),

например, выколочные молоты, листопогодочные станки, листораскатные станки и др.

Для простой обтяжки в странах СНГ в основном используются прессы ОП-2 и ОП-3. Пресс ОП-2 развивает усилие $6 \cdot 10^6$ Н, и на нем можно обтягивать обшивки длиной до 4000 мм, толщиной до 2 мм. На прессе ОП-3 можно обтягивать заготовки толщиной листа до 2 мм и длиной до 3000 мм; максимальное усилие прессы 3,5 МН.

Для обтяжки заготовок из материалов ВТ-1, ВТ1-2, ОТ-4, ВНС и других высокопрочных сплавов с применением электроконтактного нагрева заготовок применяется пресс ОП-60М. Максимальное усилие прессы 0,6 МН.

Для обтяжки с растяжением применяются растяжно-обтяжные прессы РО-1М, РО-3М, РО-500 и др.

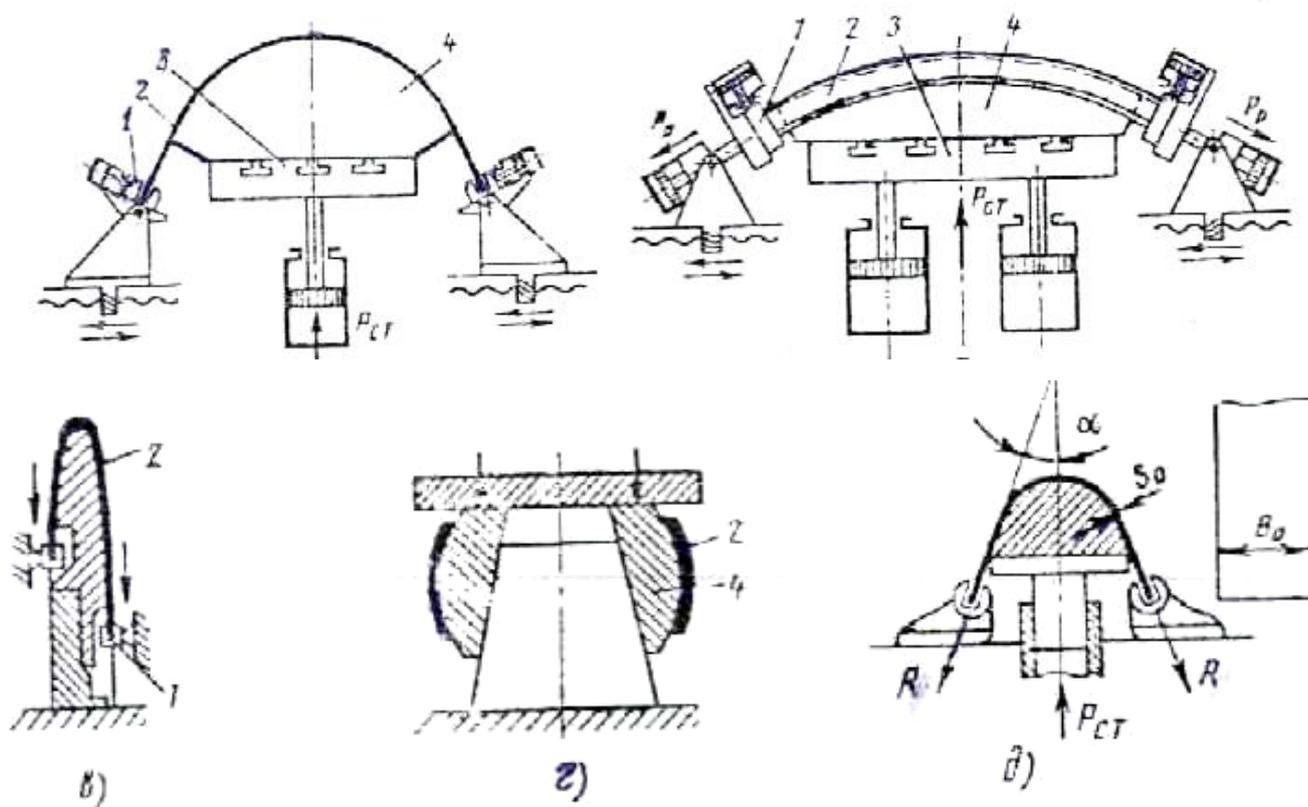


Рис. 9.11. Принципиальные схемы обтяжных прессов.

На прессе РО-1 можно обтягивать листы габаритами $7000 \times 1500 \times 2,5$ мм; наибольшее усилие растяжения $P_p = 10^6$ Н, усилие подъема стола $P_{ст} = 2 \cdot 10^6$ Н, ход стола 500 мм.

На прессе РО-3М можно обтягивать листы с максимальными размерами $8000 \times 1800 \times 6$ мм; максимальное усилие растяжения $P_p = 2,1 \cdot 10^6$ Н, усилие подъема стола $P_{ст} = 3 \cdot 10^6$ Н.

Так же созданы прессы, на которых можно изготавливать детали длиной до 18 метров при ширине 3,5 м. Для изготовления деталей знакопеременной кривизны на этих прессах имеются специальные откатные порталы с установленными на них верхними столами.

Для кольцевой обтяжки применяются прессы ПКД-1, ПКД-2, ПКД-3 (прессы калибровки деталей). Пресс ПКД-3 скомпанован на базе четырехколонного гидравлического пресса П-424 усилием 2,5 МН и предназначен для калибровки растяжением сварных кольцевых деталей в основном из прессованных профилей секционным пуансоном, прессы ПКД-1 и ПКД-2 являются специализированными.

Комбинированные обтяжные прессы сочетают в себе возможности прессов для простой обтяжки и растяжно-обтяжных прессов. На комбинированном обтяжном прессе ОП-5К можно изготавливать обшивки размерами $2000 \times 5000 \times 6$ мм. На прессе также изготавливают обшивки с закруткой до 30° .

Прессы для односторонней обтяжки предназначены для формоизменения деталей двойной и одинарной кривизны типа лобовиков с большим углом охвата (около 180°) и разными по длине сторонами (рис. 9.11, в).

Представителем прессов односторонней обтяжки является гидравлический обтяжной пресс ОП-2 с максимальным усилием растяжения $P_p = 6,0$ МН.

Пуансоны для обтяжки изготавливаются из древесины (рис. 9.12, а), песочно-клеевой массы (ПСК) (рис. 9.12, б), а при обтяжке с нагревом заготовки, – из цинка, алюминиевых и магниевых сплавов; выбор металла определяется температурой нагрева пуансона.

Облицовочный слой деревянных пуансонов набирают из древесины твердых пород (дуб, бук) и затем склеивают. Внутренний набор деревянных пуансонов набирается из сосновых брусков (рис. 9.12, а).

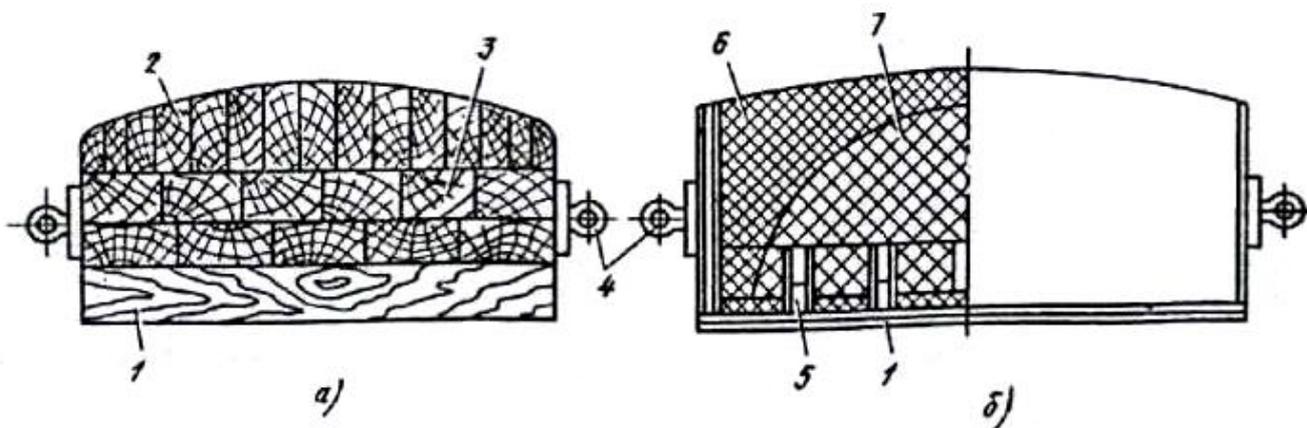


Рис. 9.12. Пуансоны для обтяжки.

а – деревянный; б – из песчоклеевой массы; 1 – основание; 2 – облицовочный слой; 3 – внутренний набор; 4 – такелажные узлы; 5 – деревянный каркас; 6 – облицовочный слой из ПСК; 7 – наполнитель.

Песочно-клеевая масса состоит из 85% чистого речного песка и 15% фенольной смолы, служащей связкой. В некоторых случаях применяют эпоксидные смолы и цементные массы с различными наполнителями, корректирующими их механические свойства.

При формообразовании листовых деталей двойной кривизны отдельные участки деталей из-за влияния пружинения, сложности конфигурации, резкого изменения кривизны и т. п.: не могут быть приведены в соответствие с чертежом после операции обтяжки. Поэтому в ряде случаев необходимо проводить доводочные работы с целью подгонки формы заготовки к размерам чертежа. Для этого служат доводочные операции: выколотка, посадка и раскатка.

Сущность процесса выколотки заключается в утонении при точечном воздействии бойков и, следовательно, в увеличении площади одних зон заготовки при неизменных размерах других участков, не подвергнутых воздействию.

Принцип работы выколоточного молота заключается в нанесении многократных ударов бойком по заготовке перемещаемой вручную относительно второго неподвижного бойка – наковальне.

В противоположность процессу выколотки того же результата (увеличения кривизны) можно достичь путем утолщения (посадки) и, следовательно, уменьшения площади периферийных участков заготовки.

Для машинной посадки применяются листопосадочный станок Гавриленко.

Доводку можно также осуществлять путем раскатки участков заготовки на специальных листораскатных станках. Доводка осуществляется методом последовательной раскатки материала между двумя роликками, один из которых является приводным.

На листораскатном станке ЛРС-10 можно доводить детали сложной формы из листов различных марок материалов, включая высокопрочные стали и титановые сплавы.

Глава X. Процессы объемной штамповки.

При объемной штамповке металл в результате возникновения объемно-напряженного состояния перемещается значительными массами в различных направлениях. Так как для таких перемещений необходимы большие усилия, этим методом изготавливаются детали небольших габаритов. Тем не менее, ряд преимуществ объемной штамповки является предпосылкой для расширения применения этого процесса в производстве деталей летательных аппаратов.

Основные преимущества процесса объемной штамповки:

▲ возможность изготовления деталей самых разнообразных конфигураций с высокой точностью и чистотой поверхности;

▲ малая трудоемкость процесса;

▲ высокий коэффициент использования материала;

▲ улучшение механических свойств материала в результате деформированного наклепа;

▲ возможность изготовления тонкостенных деталей с переменной толщиной, т. е. с усилением в зонах действия большей нагрузки и с облегчениями в зонах действия меньшей.

Объемная штамповка включает в себя ряд процессов: ротационная вытяжка с утонением заготовки; радиальное обжатие; осадка, высадка, калибровка, объемная формовка, холодное прессование; деформирование поверхностных слоев и др.

10.1. Ротационная вытяжка с утонением заготовки.

Ротационная вытяжка (устаревшее название выдавливания) с утонением – это процесс формообразования детали за счет уменьшения исходной толщины вращающейся плоской или пространственной заготовки без изменения ее наружного диаметра (рис. 10.1). Это возможно при условии, если толщина стенки s и толщина заготовки s_0 связаны между собой зависимостью

$$s = s_0 \sin \alpha , \quad (10.1)$$

где α - угол между осью оправки и образующей конической поверхности (для криволинейной поверхности – между осью и касательной к поверхности в рассматриваемом сечении).

Несоблюдение условия (10.1) приводит к разрушению заготовки. Копировальная система, жесткость оснастки и станка должны позволять с высокой точностью выдерживать установленный зазор между оправкой и деформирующим роликом в течение всего процесса вытяжки. Из рис. 10.1, а видно, что исходная толщина материала, как бы смещается параллельно оси, а любой участок заготовки, расположенный на расстоянии u от оси, остается на таком же расстоянии от оси в готовой детали.

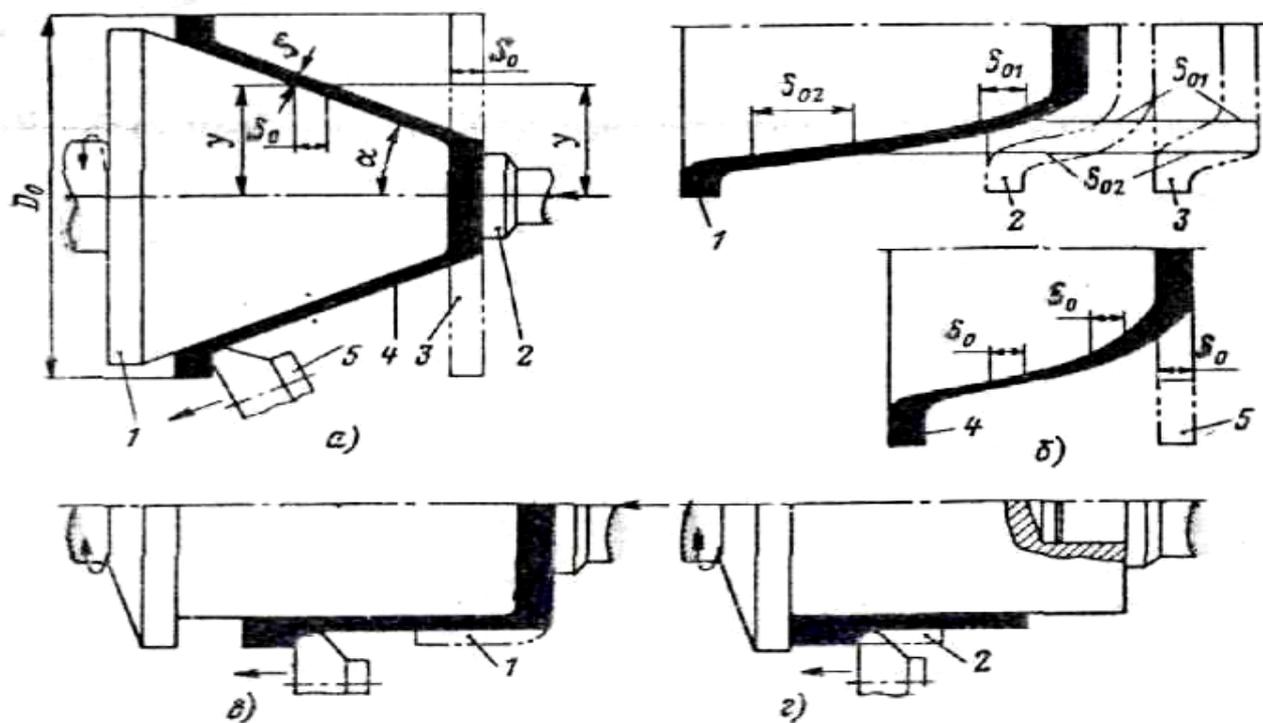


Рис. 10.1. Ротационная вытяжка с утонением заготовки.

а – схема вытяжки конической детали с постоянной толщиной стенки из плоской заготовки (1 – оправка; 2 – вращающийся прижим; 3 – заготовка; 4 – деталь; 5 – ролик); б – детали, получаемые ротационной вытяжкой (1 – деталь с постоянной толщиной стенки из заготовок 2 и 3 переменной осевой толщины S_{01}, S_{02}, \dots , полученных соответственно вытяжкой и обработкой резанием; 4 – деталь с переменной толщиной стенки из листовой заготовки 5, толщиной S_0); в и г – схемы прямого и обратного выдавливания цилиндрических деталей (1 – заготовка, полученная вытяжкой; 2 – трубчатая заготовка).

Степень деформации при ротационной вытяжке с утонением определяется выражением и за одну операцию не должна превышать 50-75% (в зависимости от материала заготовки).

$$\varepsilon = \frac{s_0 - s}{s_0} = 1 - \sin \alpha \quad (10.2)$$

Осесимметричные полые детали с постоянной и переменной толщиной стенки (рис. 10.1, б) и углом α не менее 6-15° могут быть получены ротационной вытяжкой с утонением при окружной скорости заготовки до 300 м/мин с подачей инструмента (давилника) 0,02-2 мм/об. В качестве заготовок используют листовый материал, штамповки, отливки и механообработанные заготовки.

Цилиндрические детали ротационным методом изготавливают из цилиндрических заготовок меньшей длины, но большей толщины стенок, при неизменном внутреннем диаметре прямым и обратным способами (рис. 10.1, в, г). Длину заготовки и толщину ее стенок определяют из условия равновесия объемов заготовки и детали.

Для обработки деталей ротационной вытяжкой из жаропрочных хромоникелевых сплавов с $\sigma_{\text{в}}=600-800$ МПа ролик должен создавать давление 2000-3000 МПа.

На современных станках для ротационной вытяжки с утонением (раскатных станках) можно изготавливать детали диаметром до 1,5 м, длиной до 3 м из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей при удельном давлении роликов (давилников) 2500-2800 МПа.

Ротационной вытяжкой можно изготавливать детали с толщиной стенки в несколько десятых долей миллиметра; точность размера по толщине $\pm 0,05$ мм при высокой чистоте поверхности. Титановые сплавы обрабатывают ротационной вытяжкой с зональным нагревом заготовки.

10.2. Радиальное обжатие.

Радиальным обжатием называется процесс уменьшения площади поперечного сечения заготовки (трубчатой или сплошной) периодически

перемещающимися в радиальном направлении бойками при относительном вращении заготовки и инструмента (рис. 10, г). (Устаревшие названия радиального обжатия – редуцирование, ротационнаяковка).

Радиальным обжатием с применением оправок или без них получают различные детали из труб с частично или полностью закрытыми концами (рис. 10.2, б). Если не требуется высокая точность внутренних размеров, то полые заготовки обжимаются без оправок.

В процессе радиального обжатия заготовка в очаге деформации испытывает всестороннее сжатие; наибольшей деформации и упрочнению подвергаются внутренние слои заготовки.

Радиальное обжатие осуществляется на специальных станках, схема действия которых приведена на рис. 10.2.

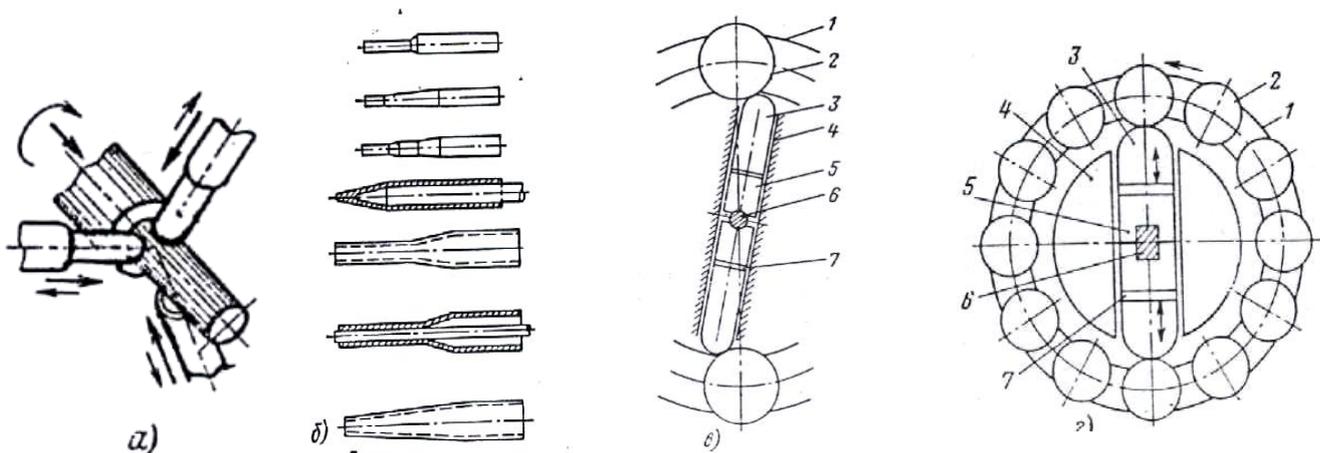


Рис. 10.2. Формообразование деталей радиальным обжатием.

а – схема обжатия без оправки; б – типовые детали, получаемые обжатием; в и г – схемы действия станков для получения деталей круглого и прямоугольного сечения (1 – обойма; 2 – ролик; 3 – боек; 4 – шпиндель с направляющей бойков и половинок матрицы; 5 – половинка матрицы; 6 – заготовка; 7 – прокладка).

При вращении шпинделя станка половинки матрицы 5 под действием центробежной силы и давления бойков 3 в момент набегания их на ролики 2, установленные в обойме 1, совершают возвратно-поступательное движение. Когда матрица разжата, заготовка 6 перемещается в продольном направлении. Во время сближения половинок матрицы заготовка деформируется. За один оборот шпинделя заготовка в среднем обжимается 10-12 раз. На станках, работающих по

схемам **в** и **г** (рис. 10.2) деформирование заготовки осуществляется давлением, а не ударом.

При изготовлении деталей с некруглым сечением головка станка вместе с обоймой получает вращательное движение, а шпиндель остается неподвижным. Бойки с половинками матрицы перемещаются лишь возвратно-поступательно вдоль паза шпинделя (рис. 10.2, г).

Радиальным обжимом обычно обжимаются концы труб диаметром 40-45 мм и толщиной стенки до 2-4 мм из сплавов 30ХГСА, Д1, Д16.

10.3. Изготовление деталей путем трехосного сжатия заготовки.

При трехосном сжатии заготовки формообразование детали осуществляется вследствие перераспределения и заданного перемещения металла в рабочей полости штампа под действием давления в несколько раз превышающего предел текучести деформируемого материала. Полученные таким путем детали, обычно, отличаются повышенной точностью и чистотой поверхности. Материал деталей в результате холодной деформации значительно упрочняется.

По принципу трехосного сжатия заготовки осуществляются следующие операции (рис. 10.3):

- ▲ осадка;
- ▲ высадка;
- ▲ калибровка;
- ▲ объемная формовка;
- ▲ холодное прессование.

Сущность процесса о с а д к и заключается в обжатии заготовки между двумя плоскими плитами со свободным перемещением основной массы металла в стороны (рис. 10.3, а, б, в).

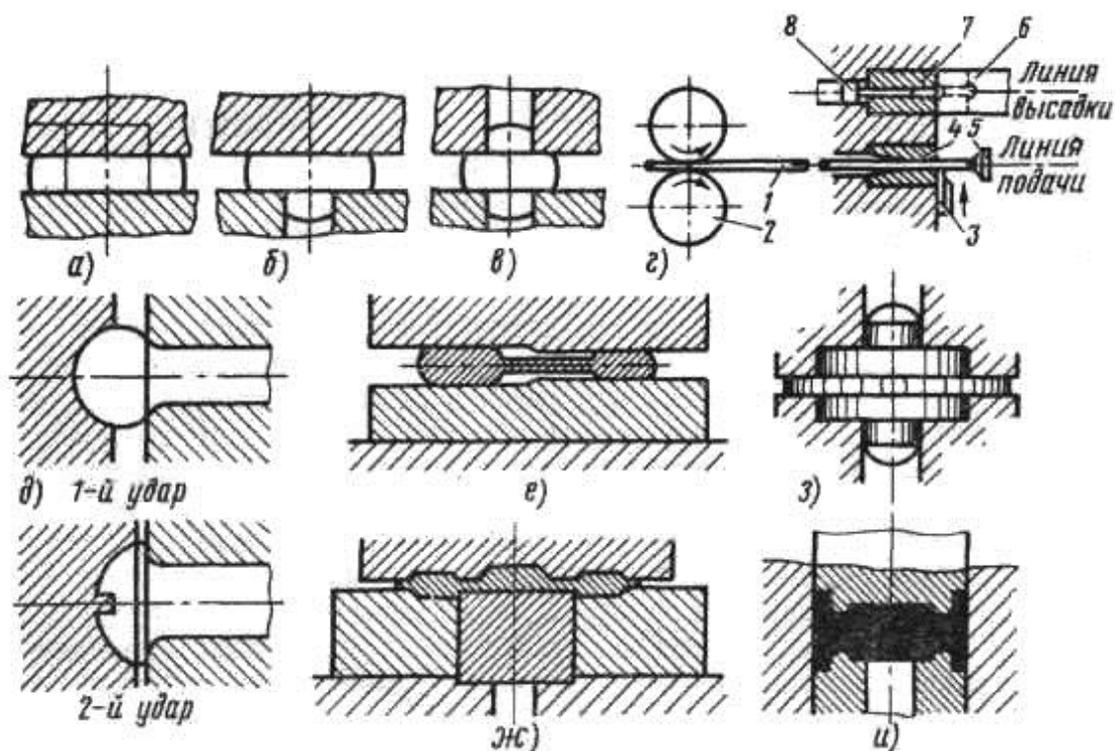


Рис. 10.3. Схемы процессов объемной штамповки.

а, б, в – осадка между плоскими плитами, с истечением материала в одну и две плоскости; *г* – высадка головки заклепки на одноударном автомате (1 – проволока или пруток; 2 – подающие ролики; 3 – нож; 4 – отрезная матрица; 5 – упор; 6 – пуансон; 7 – матрица; 8 – выталкиватель); *д* – высадка винтов со шлицами на двухударном автомате; *е, ж* – плоскостная и объемная калибровка; *з, и* – открытая и закрытая объемная формовка.

В ы с а д к а – процесс получения местных утолщений заданной формы перераспределением объема материала заготовки (рис. 10.3, г, д).

К а л и б р о в к а – обжатие до заданного размера части или всей заготовки между рабочими поверхностями штампа (рис. 10.3, е, ж).

Давление, необходимое для осуществления процессов осадки, высадки и калибровки должно составлять по величине $(2,5-5)\sigma_{в}$.

Процесс о б ъ е м н о й ф о р м о в к и (рис. 10.3, з, и) является разновидностью осадки с одним отличием – формоизменение заготовки происходит в полости штампа, закрытой полностью (рис. 10.3, д) или частично (рис. 10.3, и). В соответствии с этим различают открытую формовку и закрытую, при которой весь объем металла заготовки идет на образование детали. Процесс объемной формовки требует больших давлений и высококачественного изготовления штампов.

Процесс холодного прессования заключается в том, что формообразование полых детали происходит путем вытеснения металла заготовки пуансона в открытые полости матрицы штампа (рис. 10.4).

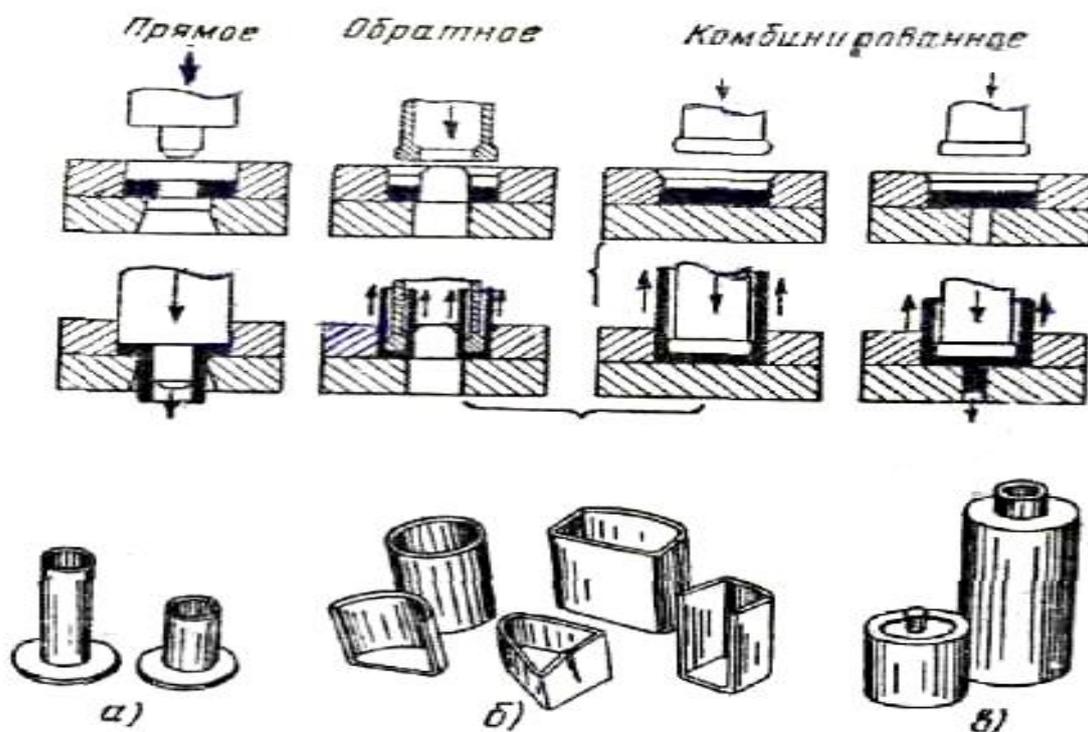


Рис. 10.4. Схемы холодного прессования и получаемые при этом детали.

Холодное прессование может быть осуществлено прямым, обратным и комбинированным способами. При прямом способе (рис. 10.4, *а*) металл течет в направлении движения пуансона. При обратном способе (рис. 10.4, *б*) металл заготовки течет в направлении, обратном движению пуансона. Комбинированный способ представляет собой сочетание прямого и обратного способов (рис. 10.4, *в*).

Холодным прессованием можно получить детали с точностью в пределах 9-11 квалитетов и чистотой поверхности $R_{a2,5} - R_{a0,63}$.

Степень деформации (в процентах) определяется выражением

$$\psi_n = \frac{F - f_2}{F} \cdot 100 \text{ ,}$$

где F и f_2 – площадь заготовки и поперечного сечения детали.

Допустимая величина $\psi_{\text{п}} = (75 \div 95)\%$, что позволяет получить детали с наименьшей толщиной стенок $0,3 \div 0,7$ мм и высотой до $6d$ (здесь d – внутренний диаметр детали) обратным способом и $4d$ прямым способом прессования.

Технологические возможности холодного прессования ограничиваются габаритными размерами деталей, а также прочностью и стойкостью штампов, так как с увеличением $\psi_{\text{п}}$ растет давление прессования, достигая $(5 \div 10)\sigma_{\text{в}}$.

Основным оборудованием, с помощью которых выполняют холодное прессование, являются гидравлические и механические прессы. Предпочтительным является выполнение операции на механических прессах, т. к. они более производительны. Основные требования к прессам – максимальная жесткость станины и перемещение ползунов без люфтов.

Накатывание резьбы – процесс пластического деформирования заготовки специальным инструментом, на котором воспроизведен профиль резьбы. Существуют два способа накатывания: плоскими плашками и роликами. Плоскими плашками накатывают резьбу на сплошных крепежных деталях диаметром от 3 до 24 мм и длиной до 125 мм. Роликами можно накатывать резьбу и на полых деталях из материала с $\sigma_{\text{в}} \leq 1080$ МПа. Точность накатывания резьбы плоскими плашками 7-9 качества, шероховатость поверхности $R_{a2,5} - R_{a1,25}$ и накатывание роликами – 7-5 качества, шероховатость $R_{a0,63} - R_{a0,32}$.

10.4. Деформирование поверхностных слоев заготовки.

Основное назначение деформирования поверхностных слоев – повышение усталостной прочности, а в некоторых случаях – улучшение чистоты поверхности и повышения точности размеров. В результате деформирования поверхностных слоев изменяются физико-механические свойства периферийного слоя металла: повышается твердость, износостойкость, пределы упругости, текучести и прочности, повышается усталостная прочность.

Для деформирования поверхностных слоев широко применяются следующие процессы:

- ▲ обкатывание и раскатывание роликами и шариками;
- ▲ дорнирование;
- ▲ обжатие кромок отверстий;
- ▲ виброударная обработка;
- ▲ обработка дробью.

Небольшими усилиями возможно без изменения физико-механических свойств поверхностного слоя металла уменьшить высоту неровностей шероховатой поверхности в 20-40 раз за один проход инструмента и достичь чистоты поверхности до $R_{a0,16}$ с сохранением исходной формы заготовки.

Обкатывание и раскатывание роликами и шариками применяется для уменьшения шероховатости и упрочнения деталей с относительно плавными переходами форм поверхностей (круглое, овальное сечения).

Обкатывание применяется для повышения прочности при динамических нагрузках, износостойкости и коррозионной стойкости деталей шасси: стоек, осей колес, барабанов колес.

На рис. 10.4 показана схема процесса обкатывания поверхностей вращения. Раскатыванием принято называть обработку роликами и шариками внутренних поверхностей деталей.

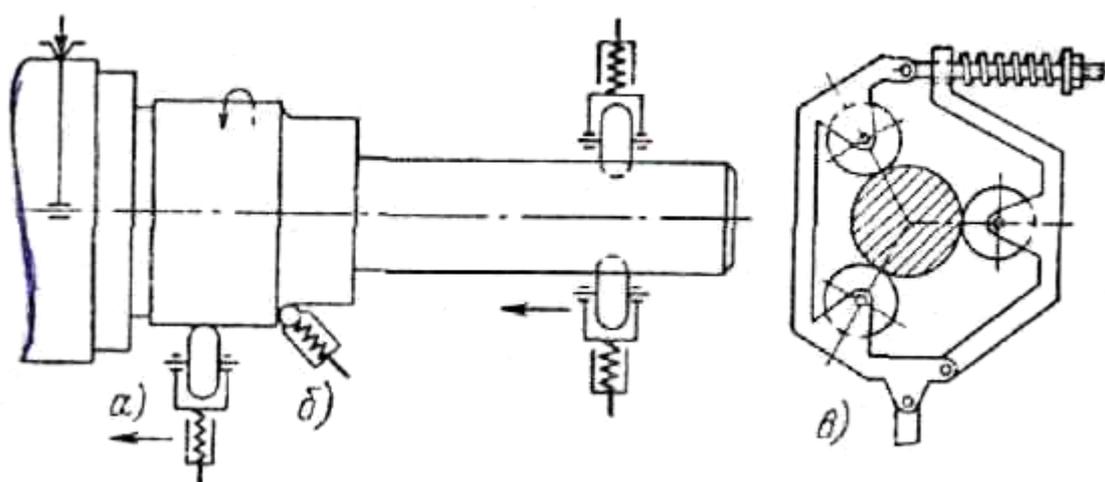


Рис. 10.5. Схемы процесса обкатывания поверхностей тел вращения.
а – обкатывание однороликовым обкатником;
б – обкатывание шариковым обкатником;
в – обкатывание трехроликовым обкатником.

В зависимости от исходной точности, шероховатости, прочности поверхностного слоя заготовки и давления инструмента глубина слоя с остаточной деформацией колеблется в пределах 0,01-0,05 мм и выше. Степень упрочнения зависит от числа проходов инструмента. Обкатывание производят со скоростью 30-150 м/мин и подачей 0,1-0,2 мм/об с применением обильной смазки.

Дорнирование (калибрование) отверстий диаметром до 20-40 мм – это процесс проталкивания через них с натягом дорнов или стальных полированных шариков (рис. 10.6, а, б). Этот процесс применяется для упрочнения болтовых и заклепочных соединений, особенно в тех случаях, когда окончательная обработка происходит в собранном пакете.

Дорнирование совмещают также с протягиванием. В этом случае последние калибрующие зубья протяжки без режущих граней выполняют функции дорна. Калибрование производят на прессах либо на протяжных станках.

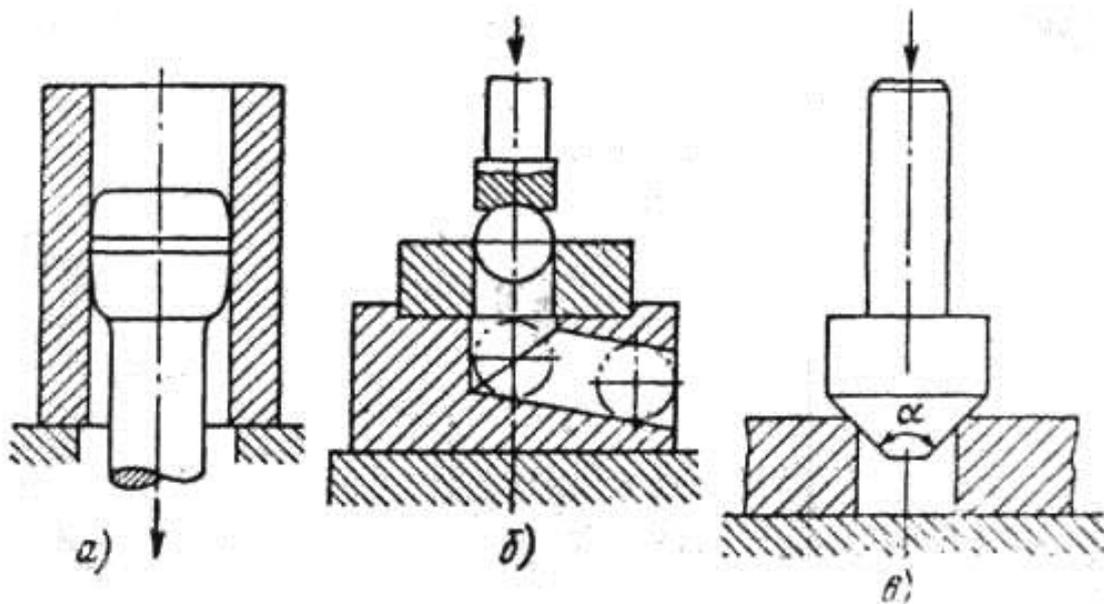


Рис. 10.6. Схемы процессов калибрования и упрочнения поверхности отверстий дорнированием (а), проталкиванием (б) и обжатием кромок (в).

Обжатие кромок отверстий стальными полированными шариками или последовательно несколькими коническими обжимками с различными углами конусности α (рис. 10.6, в) применяется для повышения прочности и выносливости болтовых и заклепочных соединений, валов с

отверстиями под масло, проушин шарнирных соединений различных тяг управления.

Кромки отверстий обжимаются статически либо сильными резкими ударами. Рабочую поверхность обжимок перед работой необходимо смазать машинным маслом. Обжатием можно достичь чистоты поверхности $R_a 0,16$.

Виброударное упрочнение осуществляется в результате ударов шариков или абразивных гранул по обрабатываемой поверхности детали. Деталь помещают в контейнер, который приводят в колебательное движение вибраторами. На рис. 10.7 показан пример виброударного упрочнения пустотелой балки (например, лонжерона лопасти винта вертолета).

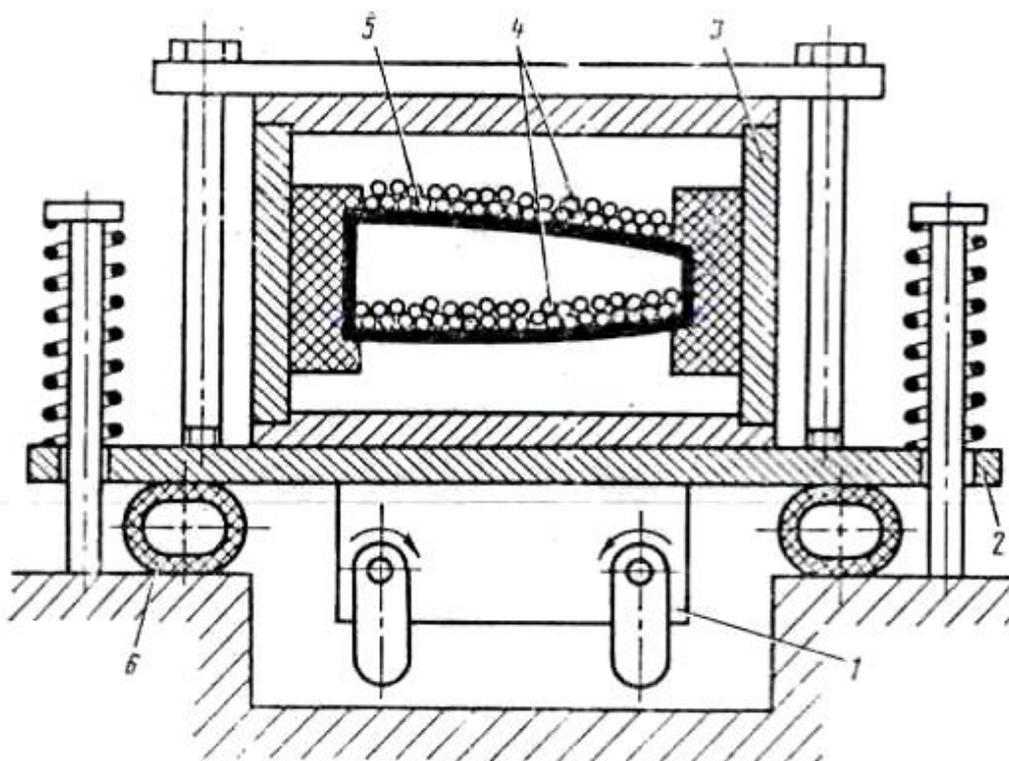


Рис. 10.7. Схема виброударного упрочнения внутренней и внешней поверхностей лонжерона лопасти винта вертолета.

1 – вибратор; 2 – платформа; 3 – контейнер; 4 – стальные шарики; 5 – лонжерон; 6 – резинокордный упругий элемент.

Для виброударного упрочнения применяют шарики диаметром 5-6 мм. Суммарный вес шариков берется из расчета 20 г/см^2 обрабатываемой поверхности.

Обработка дробью значительно увеличивает предел усталости деталей, подвергающихся переменному действию изгиба и кручения, а также другим видам статически переменных нагрузок. Обычно этим способом обрабатываются силовые детали сложной конфигурации: монолитные панели, пояса лонжеронов, пружины, шестерни и т. п. Сущность дробеструйной обработки заключается в том, что обрабатываемая поверхность бомбардируется потоком дробинок, летящих с большой скоростью. Каждая дробинка оставляет микровмятину, в результате чего поверхностный слой пластически деформируется и упрочняется.

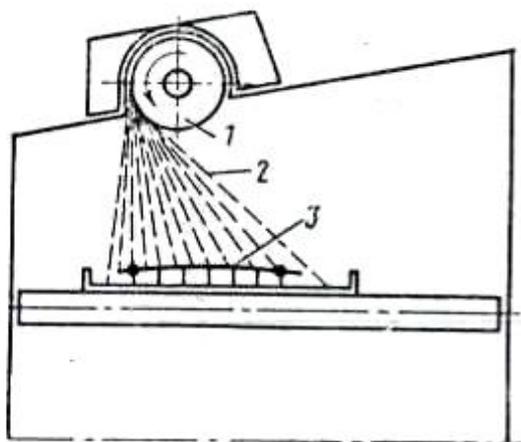


Рис. 10.8. Схема дробеструйной установки.
1 – крыльчатка; 2 – струя дроби; 3 – упрочняемая панель.

Оптимальное время обработки (1-2 мин) и угол падения дроби ($70-90^\circ$) определяют экспериментально.

Увеличение оптимального времени обработки может привести к появлению микротрещин. Размеры дробинок должны быть не более 0,1-0,8 мм.

Дробь подается либо струей сжатого воздуха в дробеструйных установках, либо быстровращающейся крыльчаткой в дробеструйных установках (рис. 10.8).

Глава XI. Импульсные методы штамповки.

В конструкции летательных аппаратов встречаются крупногабаритные детали сложной формы, а также детали из высокопрочных и жаропрочных листовых материалов. Обработка таких деталей давлением обычными методами весьма затруднительна, а иногда и невозможна. В этом случае для формообразования оболочек используют импульсные методы штамповки на высокоэнергетических установках, выделяющих за короткое время (тысячные доли секунды) большое количество энергии. Возникающие при больших скоростях деформирования инерционные силы существенно изменяют напряженно-деформированное состояние заготовки, что позволяет изготавливать детали из труднодеформируемых сплавов.

Установки для импульсного метода деформирования универсальны, недороги и несложны. Эти установки, как правило, не имеют исполнительных механизмов, свойственных технологическим машинам, а энергия от источника непосредственно через передающую среду (вода, песок, коллоиды, магнитное поле) воздействуют на заготовку. В большинстве случаев из технологической рабочей оснастки для работы установки требуется лишь матрица или пуансон.

Для формообразования деталей находят широкое применение ряд методов импульсной штамповки:

- ▲ формование деталей с использованием энергии взрыва;
- ▲ формование с использованием высоковольтного разряда;
- ▲ формование с использованием импульсного электромагнитного поля.

11.1. Штамповка взрывом.

При штамповке взрывом используется энергия взрывчатых веществ (бризантного действия, порохов или газовых смесей) с передачей кинетической энергии взрыва на заготовку через передаточную среду (воздух, воду, песок и др.). Формование с использованием бризантных взрывчатых веществ и воды в качестве передаточной среды позволяет изготавливать как небольшие детали

сложной формы, так и крупногабаритные листовые детали. Этот метод приобрел широкое применение благодаря таким преимуществам, как высокая точность, универсальность, небольшие расходы на подготовку и осуществление операции, возможность быстрой переналадки оборудования, большая универсальность по материалам, неограниченность габаритов штампуемых деталей и т. д.

При взрыве 1 кг взрывчатого вещества может быть получено усилие около 98,1 МН. Массу W^* тротилового заряда сферической формы, потребного для формообразования детали, и уровень воды H над заготовкой определяют по формуле

$$W^* = \lambda (as R^{1,8})^{0,8}; \quad (11.1)$$

$$H = 77 \sqrt{RW^*}, \quad (11.2)$$

где λ - коэффициент, зависящий от плотности передаточной среды. Когда передаточной средой является вода, то: для сталей $\lambda=0,25 \cdot 10^{-4}$; для титана $\lambda=0,16 \cdot 10^{-1}$; для алюминиевых сплавов $\lambda=0,11 \cdot 10^{-4}$;

$R=(0,8-2,0)D_0$ – расстояние от центра заряда до заготовки диаметром D_0 ;

$a = \frac{A_1}{F^*}$ - энергия формообразования, приходящаяся на единицу

смачиваемой поверхности (удельная энергия) (здесь A_1 – полная энергия, затрачиваемая на формообразование заготовки; F^* - площадь поверхности заготовки, смачиваемой водой);

s – толщина заготовки.

Приближенно значение удельной энергии a для цилиндрической детали со сферическим или эллиптическим дном определяется из выражения

$$a \approx 1,95 \sigma_{\phi s} \left[3 (k^2 - 1) \left(\frac{k - k_{\phi}}{k - 1} \lg k \right)^{1,2} + \frac{2f}{d} \right]^{2,4} \quad (11.3)$$

где d – диаметр цилиндрической части детали;

$k = \frac{D_0}{d}$; $k_{\phi} = \frac{D_{\phi}}{d}$, (здесь D_{ϕ} – диаметр фланца);

f – стрела прогиба дна детали.

Для изготовления оболочек применяют установки бассейнового (рис.11.1, а) и наземного типа, состоящие из резервуара с водой, насосной станции и подъемно-транспортных средств.

В качестве бризантных взрывчатых веществ используют тротил, аммонит, гексоген и др. Выпускаются они в форме детонирующих шнуров, шашек, зерен и т. д. Для осуществления штамповки взрывом создаются специальные полигоны, оснащенные бассейнами, наземными резервуарами, складами взрывчатых веществ и т. д.

Штамповка взрывом порохов, а также взрывчатых газовых смесей обычно производится в замкнутом объеме и применяется для формообразования небольших днищ (рис. 11.1, б). На этом оборудовании можно производить

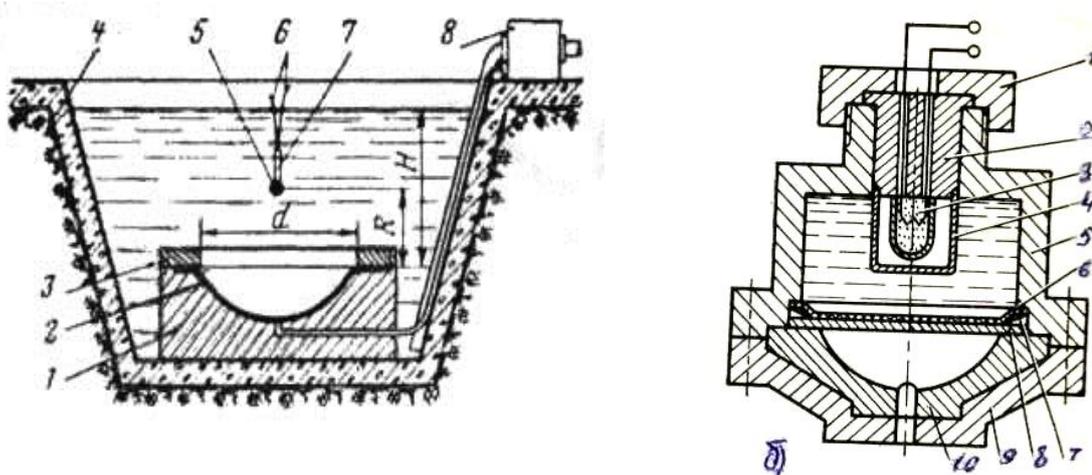


Рис. 11.1. Формование с использованием энергии взрывчатых веществ.
 а – установка бассейнового типа (1 – матрица; 2 – отформованная деталь; 3 – прижимная плита; 4 - бассейн; 5 – заряд; 6 – электропровода; 7 – детонатор; 8 – насосная станция); б – штамповка в замкнутом объеме (1 – затвор; 2 – гильза; 3 – заряд; 4 – камера; 5 – крышка; 6 – диафрагма; 7 – кольцо; 8 – заготовка; 9 – корпус; 10 - матрица).

штамповку на территории заготовительно-штамповочных цехов. В качестве энергопередатчиков при штамповке в замкнутом объеме кроме жидкости могут служить пороховые газы или твердые формообразующие элементы.

11.2. Электрогидравлический метод формования.

Для электрогидравлической штамповки используется электрогидравлический эффект, заключающийся в том, что в результате

высоковольтного электрического разряда между электродами, погруженными в жидкость, при искровом разряде возникает импульс высокого давления (до 300 МН/м^2) – в жидкости (обычно воде) со сверхзвуковой скоростью распространяется ударная волна. Энергия необходимая для электрического разряда, накапливается в конденсаторах. В зависимости от требуемых от установки усилий применяют конденсаторы емкостью от 10 до 1500 мкф, сила тока в импульсе от 10 до 50 кА, длительность разряда 10-40 мксек, мгновенная мощность до 200 МВт.

На рис. 11.2 показана схема импульсной штамповки электрогидравлическим методом.

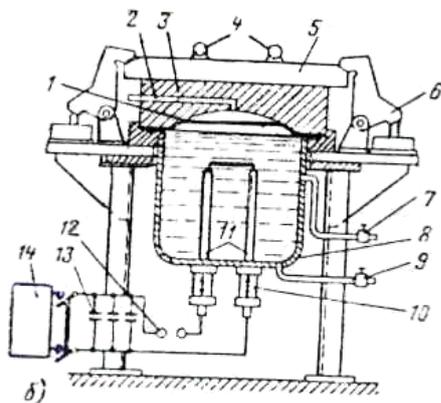


Рис. 11.2. Схема электрогидравлического деформирования.

1 – заготовка; 2 – вакуумная линия; 3 – матрица; 4 – подъемник; 5 – плита-груз; 6 – пневмозамок; 7 – заливной кран; 8 – резервуар с водой; 9 – сливной кран; 10 – механизм регулирования положения электродов; 11 – электроды; 12 – разрядник; 13 – конденсаторная батарея; 14 – источник питания высокого напряжения.

Для облегчения пробоя межэлектродного промежутка в зазор между электродами вводится проволока-перемычка. Это позволяет значительно увеличить зазор между электродами, изменить форму и направление ударной волны, а также использовать в качестве передаточной среды диэлектрические жидкости. Конфигурация перемычки может способствовать как расширению, так и локализации зоны деформации. Основной недостаток этого метода – малое количество энергии за один импульс по сравнению с формированием взрывом.

При формовке труднодеформируемых материалов прибегают к многократным разрядам конденсаторов. При этом по мере упрочнения материала заготовки (в результате

наклепа) энергию разряда увеличивают. Установки для электрогидравлического формования относительно безопасны и могут применяться для изготовления деталей в обычных заводских помещениях.

11.3. Формование импульсным электромагнитным полем.

Магнитоимпульсная штамповка применяется для формообразования заготовок с достаточной электропроводимостью, в противном случае поверхность заготовки омедняется или покрывается тонким листовым алюминием.

Процессы формования импульсным электромагнитным полем можно разделить на две группы: штамповка деталей из трубчатых заготовок (рис. 11.3, а) и из плоских заготовок (рис. 11.3, б).

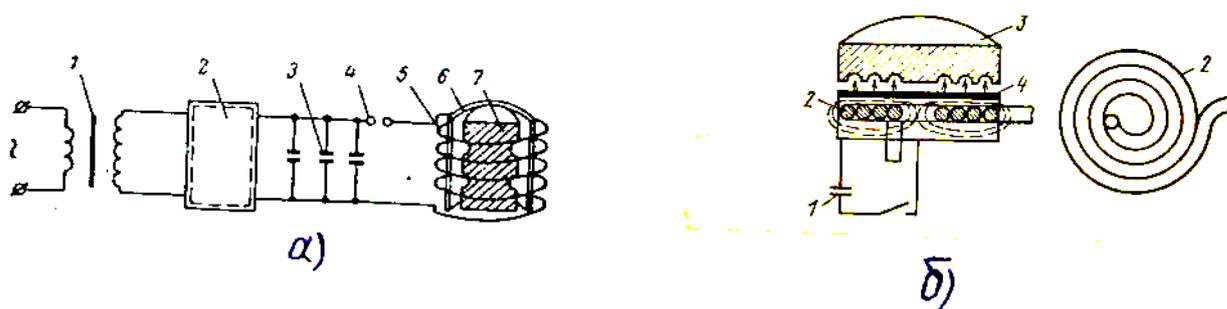


Рис. 11.3. Деформирование импульсным электромагнитным полем.

а – штамповка трубчатых заготовок (1 – высоковольтный трансформатор; 2 – выпрямитель; 3 – конденсаторная батарея; 4 – шаровой разрядник или ионный управляемый вентиль; 5 – обойма индуктора; 6 – заготовка; 7 – разъемная оправка); б – штамповка плоских заготовок (1 – батарея конденсаторов; 2 – спиральный рабочий индуктор; 3 – матрица; 4 – заготовка).

Усилия, деформирующие заготовку, возникают в результате взаимодействия двух магнитных полей. При пробое разрядника запасенная в конденсаторах электрическая энергия в виде импульса тока проходит через обмотку индуктора. Возникшее вокруг токонесящих проводников магнитное поле возбуждает в заготовке вихревые токи, образующие вокруг последней также магнитное поле. В результате взаимодействия импульсных магнитных полей обмотки и заготовки происходит динамическое воздействие на заготовку и ее деформирование.

При обработке труднодеформируемых материалов регулируя длительность импульса можно одновременно с увеличением усилия оказать тепловое воздействие на заготовку, в этом случае отпадает необходимость в

дополнительных сложных нагревательных устройствах. На современных установках длительность импульса регулируется от 6 до 50 мкс.

В промышленности для обжима труб диаметром до 150 мм используется установка УЗМШ 15/5 мощностью 15 кДж с рабочим напряжением 5 кВ. Для формовки обечаек одинарной и двойной кривизны диаметром до 1000 мм и длиной до 1500 мм используют установки УЗМШ-1 мощностью 40 кДж с рабочим напряжением 50 кВ.

При энергетических расчетах электрогидравлических и магнитноимпульсных установок определяют параметры накопленной конденсаторами энергии по формуле

$$A_э = \frac{Cu^2}{2}, \quad (11.4)$$

где C – емкость конденсатора;

u – напряжение на конденсаторе.

Накопленная энергия должна соответствовать потребной энергии для деформирования заготовки $A_о$:

$$A_о = A_э \eta, \quad (11.5)$$

где $\eta=0,15-0,20$ – КПД установки.

Величину $A_о$ для импульсной штамповки можно определить по специальной литературе [3], [20].

Глава XII. Некоторые другие виды штамповки.

12.1. Ротационный метод деформирования без утонения заготовки.

Ротационным методом деформирования можно выполнить ряд операций, например, вытяжку, раздачу, обжим, отбортовку и др. Ротационной вытяжкой возможно изготовление крупногабаритных деталей, имеющих форму тела вращения (см. Табл. 1.2, IX класс), при использовании сравнительно несложного оборудования. В качестве технологической оснастки, используется только матрица, а роль пуансона (оправки) выполняет универсальный инструмент – давилник.

Сущность вытяжки без утонения заготовки заключается в местном пластическом изгибе вращающейся заготовки под воздействием давилника, который вручную или механически перемещается в плоскости оси вращения оправки и вдоль ее образующей (рис. 12.1). Изгиб распространяется по винтовой линии и заготовка принимает форму оправки.

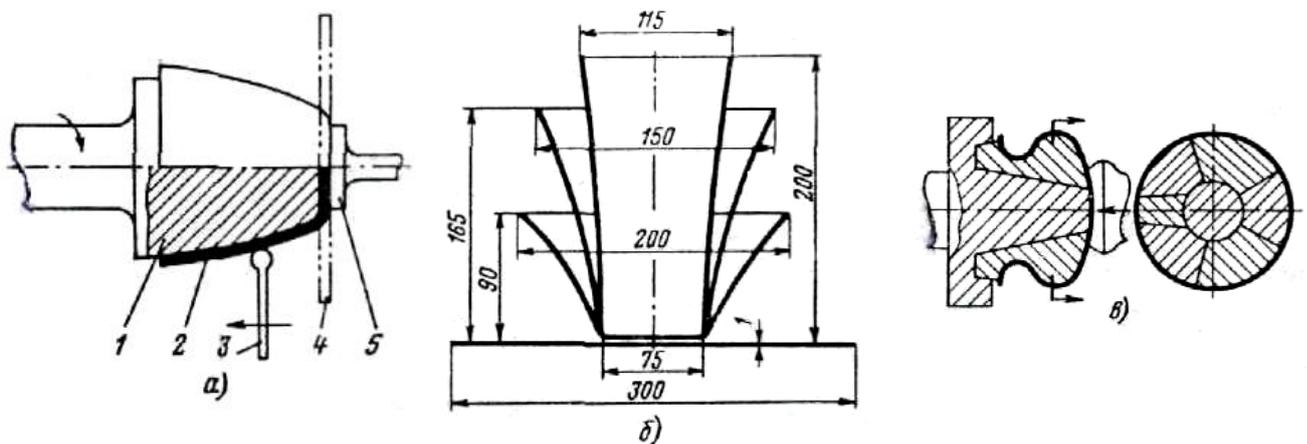


Рис. 12.1. Ротационная вытяжка без утонения заготовки.

а – схема процесса (1 – оправка; 2 – деталь; 3 – давилник; 4 – заготовка; 5 – вращающийся прижим); б – пример последовательных переходов операции вытяжка; в – пример ротационной вытяжки при помощи разъемной оправки.

Точность размеров деталей получается достаточно высокой – в пределах 0,001-0,002 их диаметра.

Степень деформации характеризуется коэффициентом ротационной вытяжки $k_{p.в.} = \frac{D_0}{d}$, (здесь D_0 – первоначальный диаметр заготовки, d – диаметр изготавливаемой детали). Предельное значение $k_{в.р.пр.}$ за первый переход составляет, в зависимости от марки материала и толщины заготовки, от 2^x до 2,5. Детали из труднодеформируемых материалов обрабатывают с промежуточной термообработкой за несколько последовательных переходов на разных оправках (рис. 12.1, б).

Ротационное деформирование тонкостенных деталей можно осуществлять на простых токарно-давилных станках с ручной подачей давилника. Заготовки из труднодеформируемых материалов обрабатываются на горизонтально-давилном копировальном станке СДГ-20, а также машины, сочетающей в своей работе формовку в штампе с ротационной вытяжкой. На этих машинах изготавливают днища диаметром до 6000 мм из заготовки толщиной до 50 мм.

Потребная энергия для изготовления деталей ротационной вытяжкой значительно ниже энергии, необходимой для штамповки на прессах.

12.2. Штамповка на листоштамповочных молотах.

В конструкции летательных аппаратов имеется большое число крупногабаритных деталей из листового материала, имеющих сложную пространственную форму с двойной и знакопеременной кривизной их поверхности: зализы, законцовки крыльев и элементов оперения, окантовки дверей и люков, капоты, патрубки и др. (см. Табл. 1.2. класс IV). Изготовление таких деталей в инструментальных штампах путем вытяжки весьма неэкономично для объемов производства, принятых в авиаракетостроительной промышленности. Это обусловлено весьма высокой стоимостью крупногабаритных вытяжных штампов и высокими энергозатратами на выполнение процесса штамповки. Поэтому крупногабаритные детали с двойной и знакопеременной кривизной штампуют на листоштамповочных (падающих) молотах в свинцово-цинковых штампах, упрощенной конструкции (рис. 12.2;

12.3). Матрица отливается из цинка, а пуансон из свинца. В ряде случаев возможно изготовление пуансонов из древесно-клеевой массы, наклеенной на алюминиевый корпус, а также из многослойных резиновых подушек, помещенных в стальной контейнер. Высота резиновой подушки берется равной пятикратной высоте штампуемой детали.

Формоизменение заготовки при штамповке происходит за несколько ударов листоштамповочного молота. Для ограничения глубины вытяжки за один удар используют фанерные рамки, которые по мере увеличения глубины вытяжки поочередно снимаются. В ряде случаев заготовку периодически подвергают разупрочняющей термообработке. Последние калибрующие удары наносят без рамок.

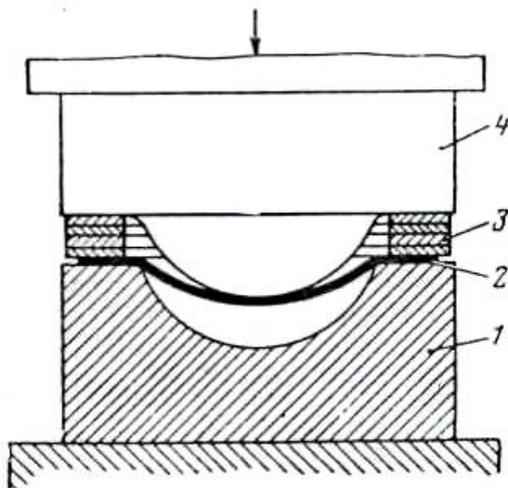


Рис. 12.2. Схема штамповки деталей на листоштамповочных молотах с применением ограничительных рамок.
1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – фанерные рамки;
4 – пуансон.

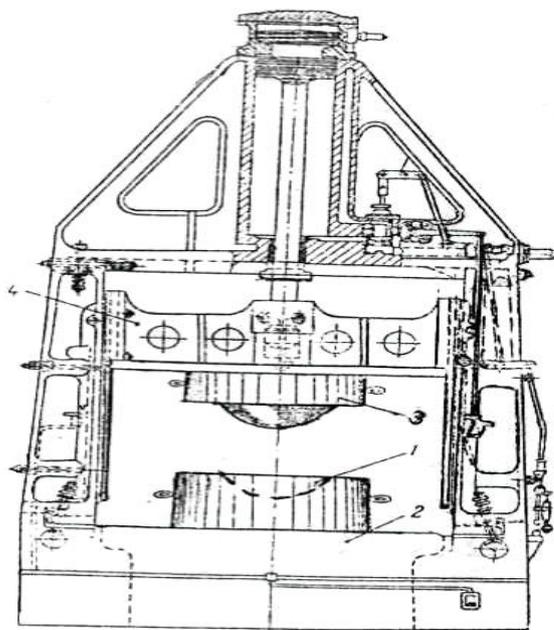


Рис. 12.3. Схема пневматического листоштамповочного молота.
1 – матрица; 2 – шабот молота; 3 – пуансон;
4 – стессель.

На листоштамповочных молотах кроме вытяжки можно производить и другие операции, например, гибку, отбортовку, формовку за один или несколько переходов; толщина заготовки из алюминиевых сплавов $s \leq 3$ мм, из сталей $s \leq 2$ мм.

В промышленности наиболее широкое применение нашли пневматические листоштамповочные молоты серии МЛ имеющие массу падающих частей от 8 до

50 кН; ход стесселя соответственно увеличивается от 0,85 до 1,5 м, а площадь столов от 0,7x0,9 до 1,8x3,1 м.

Кинетическая энергия удара у молотов рассчитывается по формуле

$$A = \frac{mV^2}{2}, \quad (12.1)$$

где А – энергия свободнопадающего тела;

m – масса тела;

V – скорость стесселя в момент прикасания заготовки к пуансону.

Скорость стесселя V в зависимости от ее высоты H можно определить по формуле $v = \sqrt{2gH}$, (здесь g – ускорение свободного падения). Скорость падения стесселя можно регулировать подавая сжатый воздух в верхнюю или нижнюю полость цилиндра, тем самым соответственно ускоряя или замедляя ход стесселя. У скоростных молотов двойного действия типа МЛП удается увеличить скорость примерно в 1,7 раза, а энергию удара в 3 раза. В промышленности применяются более компактные гидравлические и газогидравлические скоростные молоты типа МЛГ и МГС. Применение этих прессов особенно эффективно при штамповке эластичной средой малопластичных материалов с применением нагрева. Применение высокоскоростных молотов типа МЛГ-16 обеспечивает создание давления в контейнере с резиной при штамповке до 250 МПа.

Наряду с указанными выше преимуществами штамповки на листоштамповочных молотах этот метод формообразования обладает также рядом недостатков, основными из которых являются:

- ▲ зависимость качества деталей от квалификации исполнителей;
- ▲ необходимость в трудоемких доводочных операциях по устранению гофров и неприлегания заготовки к рабочей поверхности матрицы;
- ▲ неблагоприятные показатели по охране труда на рабочем участке: повышенные шумовые и вибрационные воздействия на исполнителей;

▲ необходимость специального проектирования цехов и участков, в которых производится штамповка на падающих молотах.

12.3. Штамповка деталей из неметаллов и композиционных материалов.

Неметаллические и композиционные материалы, применяемые для штампованных деталей летательных аппаратов можно разделить на три группы:

▲ однородные неметаллические материалы, например, бумага, картон, фибра, листовая резина, органическое стекло, гетинакс, текстолит, органическое стекло и др.;

▲ композиционные материалы на неметаллической основе (матрице);

▲ композиционные материалы на металлической матрице.

По характеру структуры композиционные материалы подразделяются на волокнистые, упрочненные непрерывными волокнами и нитевидными кристаллами; дисперсноупрочненные материалы, полученные путем введения в металлическую матрицу дисперсных частиц упрочнителей; слоистые материалы, созданные путем прессования или прокатки разнородных материалов.

В зависимости от свойства материала и масштабов производства разделительные операции могут производиться различными способами. Но независимо от свойств материала, для раскроя неметаллов и композиционных материалов предъявляются общие требования: острота режущих кромок инструмента, меньшие зазоры между лезвиями ножей (2-3% от s), надежный прижим заготовки во время резания. Такие материалы как гетинакс, фибру, твердый картон, твердую резину можно раскраивать на гильотинных ножницах при хорошо заточенных ножах и отрегулированном зазоре. Для мягких материалов таких как фетр, мягкая резина, фибра, картон и др. применяется односторонняя вырезка деталей из полос заостренными ножами; вместо ответной рабочей детали (пуансона или матрицы) применяют подкладку из дерева или мягкого металла. Угол заточки ножей для резины и картона 15-18°, для фибры и

текстолита – 45°. Органические стекла и эбонит небольших толщин ($s < 1$) раскраиваются в штампах с нагревом до 100-120 °С для оргстекла и до 60-80 °С – для эбонита. При $s > 1$ оргстекло и эбонит раскраиваются на ленточных пилах, либо фрезерованием.

Большие сложности вызывает раскрой волокнистых композиционных материалов, армированных стекло-боро или углеволокнами из-за хрупкости волокон; при раскросе на ножницах или в штампах возможно растрескивание волокон около кромок среза, поэтому необходима тщательная взаимная увязка матрицы, пуансона и прижима-съёмника штампа. Небольшие отверстия в заготовках из волокнистых композиционных материалов желательно не пробивать, а просверливать.

Формоизменяющие операции заготовок из неметаллов и композиционных материалов производятся в основном с нагревом заготовки: органическое стекло нагревают до 120-140 °С, текстолит – до 150-170 °С, эбонит – до 70-80 °С, винипласт – до 80-120 °С, миканит – до 120-150 °С. Картон и фибру деформируют без нагрева, но в увлажненном состоянии.

Для глубокой формовки оргстекла применяют либо вакуумные установки (рис. 12.4, а), либо установки, в которых формообразование производится сжатым воздухом (рис. 12.4, б).

В вакуумной установке заготовка нагревается ламповыми электронагревателями. После нагрева материала до требуемой температуры, включается вакуумный насос и из внутренней полости установки откачивается воздух – атмосферное давление производит формовку заготовки до соприкосновения ее с ограничителем.

Для формовки заготовки сжатым воздухом (рис. 12.4, б) заготовка в вертикальном положении нагревается в термошкафу до необходимой температуры, а затем закрепляется в установке и в полость установки подается сжатый воздух давлением 1200-1300 ГПа.

В обоих случаях при формовании заготовки не контактирует с каким-либо инструментом, что дает возможность сохранить чистоту и прозрачность штампуемой детали.

Формообразование деталей из композиционных материалов на неметаллической основе производится путем укладки армирующих материалов непосредственно на формообразующую оснастку (оправку) и последующей заливкой, полимеризацией (затверждением) связующего. Если позволяет форма детали ее формообразование производят путем намотки наполнителя со связующим (например, эпоксидной смолой) на оправки соответствующей формы.

Для выполнения небольших деформаций заготовки из стеклотекстолита ее нагревают до температуры 230 °С, а затем производят формообразование детали.

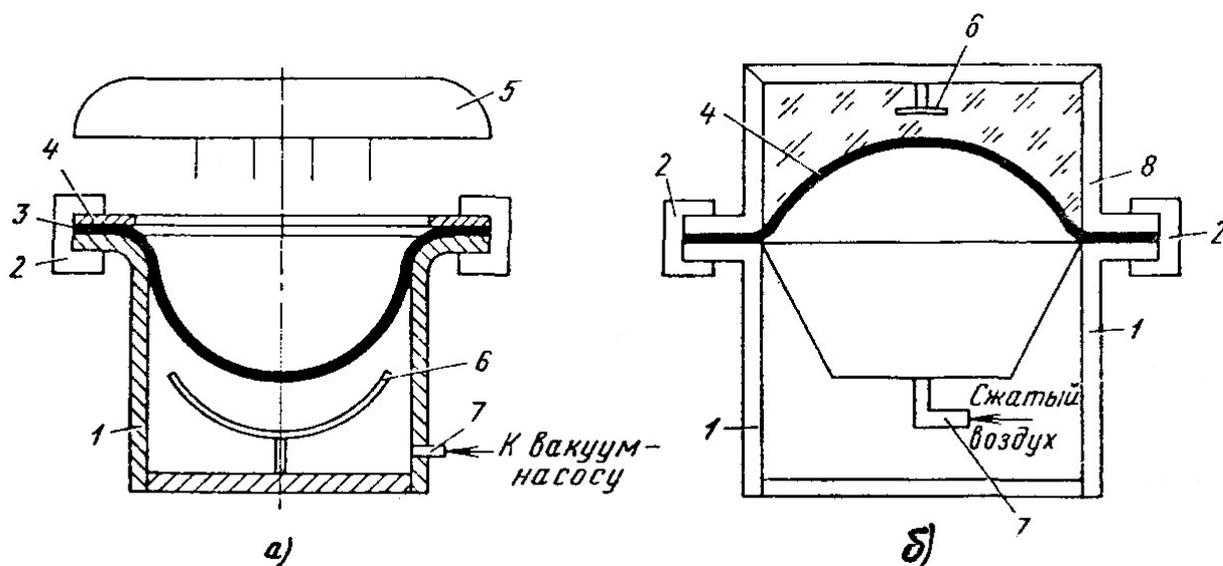


Рис. 12.4. Установки для формовки оргстекла.

a – вакуумная; *б* – работающая на сжатом воздухе.

1 – корпус; 2 – трубки; 3 – кольцо прижима; 4 – заготовка; 5 – нагреватель; 6 – ограничитель; 7 – штуцер; 8 – крышка.

Из композиционных материалов лучшими для авиакосмической техники являются алюминий и его сплавы, армированные нитями коррозионно-стойких сталей, бора, углеродными волокнами и др. Но из перечисленных материалов только композиционный материал алюминий-сталь обладает достаточной технологичной пластичностью для деформирования путем холодной штамповки.

Изготовление деталей из большинства видов волокнистых композиционных материалов сопряжено с определенными трудностями технического характера.

12.4. Изготовление сифонов.

Сифоны – это гибкие металлические трубы, представляющие собой тонкостенные оболочки с поперечными волнообразными складками на поверхности – гофрами (рис. 12.5), имеющие возможность в определенных пределах изменять длину и изгибаться. Основное назначение сифонов:

- ▲ соединение жестких трубопроводов, имеющих осевое и угловое смещение;
- ▲ температурная компенсация;
- ▲ устранение монтажных напряжений при сборке трубопроводной системы;
- ▲ демпфирование вибраций;
- ▲ герметизация подвижных соединений;
- ▲ использование в качестве чувствительных датчиков приборов, реагирующих на изменение давления в пневмо и гидросистемах и др.

Сифоны изготавливают из латуни, фосфористой и бериллиевой бронзы, нержавеющей стали, никелевых жаропрочных сплавов, жаропрочных и жаростойких сплавов, титановых и алюминиевых сплавов и др.

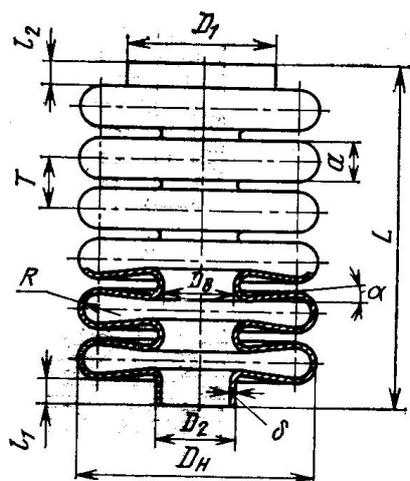


Рис. 12.5. Типовая конструкция сифона:
 D_1 и D_2 – диаметры заделок;
 l_1 и l_2 – длины заделок; R – радиус закругления гофра; T – шаг гофра; α – угол плотнения;
 δ – толщина стенки; a – толщина гофра.

В летательных аппаратах применяется большое разнообразие конструкций сифонов: нормальный тип, повышенной чувствительности, многослойные, с внутренней или внешней бронировкой, с переменным диаметром гофра и др. Конструктивные формы сифонов

характеризуются двумя коэффициентами $k_1 = \frac{D_n}{D_e}$

и $k_2 = \frac{L}{D_{\text{в}}}$, где $D_{\text{н}}$ и $D_{\text{в}}$ – наружный и внутренний диаметр сиффона; L – длина сиффона (см. рис. 12.5).

Наиболее часто применяется нормальный тип сиффона – однослойный, тонкостенный цилиндрический сиффон, у которого $k_1 \leq 1,5$, $k_2 \leq 1,3$. Сиффоны повышенной чувствительности имеют меньшую толщину стенки ($\delta \leq 0,1$ мм), $k_1 = 1,5-2$, $k_2 = 1,3-1,8$ изготавливаются из материалов на медной основе и работают при небольших нагрузках с относительно большими деформациями. Многослойные сиффоны предназначены для работы при больших нагрузках в агрессивных средах. Слои могут быть изготовлены из одинаковых или различных материалов; количество слоев может быть от 2^x до 4^{-x} . Для двухслойных сиффонов применяются серебро, нержавеющая сталь, никелевые сплавы и др.

Заготовками для сиффона служат чаще всего тонкостенные бесшовные трубы, полученные многопереходной глубокой вытяжкой из листа и дальнейшей протяжкой стакана с утонением стенок. Также заготовку можно получить путем ротационной вытяжки без утонения материала с дальнейшей протяжкой стакана с утонением стенок.

Существует несколько методов формообразования гофров: механический, механогидравлический, прессование резиной и др.

Механический метод (рис. 12.6). Формообразование гофров производится раскаткой трубчатой заготовки роликами, при этом металл течет как внутрь, так и наружу трубы. Процесс изготовления сиффона механическим методом состоит из двух операций – разметочной и окончательной – формообразующей. В первой операции на специальном станке осуществляется разметка шага гофров сиффона по длине трубы путем образования кольцевых рифтов. Во второй операции производится окончательное формообразование гофров металлическими роликами, постепенно перемещающимися перпендикулярно оси вращающейся заготовки. Раскатка производится в несколько переходов с промежуточными отжигами для снятия наклепа материала. В процессе раскатки заменяются ролики на большие диаметры и уменьшается шаг T между ними, в результате чего

получается полное формообразование гофров и укорочение трубы. Основное преимущество метода – возможность изготовления на одном станке путем замены роликов и простой переналадки большой номенклатуры типоразмеров сильфонов. Недостатки этого метода – большая трудоемкость изготовления детали и утонение стенок по вершинам гофров до 40-50 %.

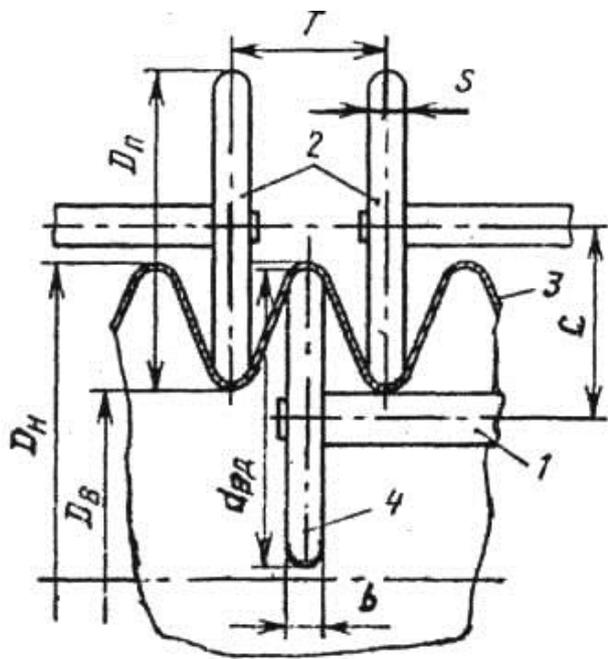


Рис. 12.6. Механический способ формообразования гофров.

1 – шпиндель; 2 – поддерживающие ролики; 3 – заготовка; T – шаг между вершинами гофра; D_n – диаметр поддерживающих роликов; $d_{вд}$ – диаметр ведущего ролика; S – толщина поддерживающего ролика; c – расстояние между осями роликов; D_n и $D_в$ – наружный и внутренний диаметры сильфона; b – толщина ведущего ролика.

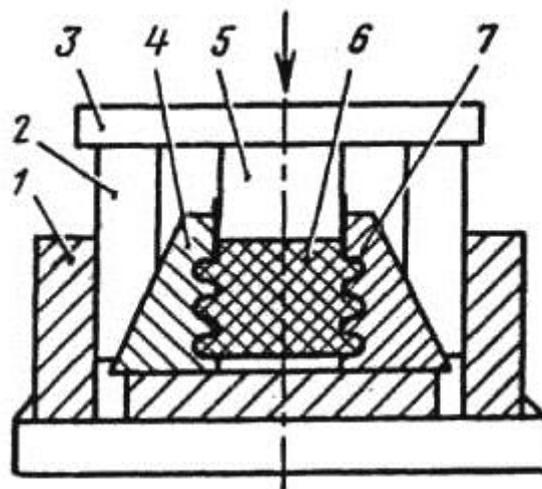


Рис. 12.7. Изготовление гофров методом прессования резиной.

1 – основание штампа; 2 – клинья; 3 – верхняя плита штампа; 4 – разъемная матрица; 5 – прижимной шток; 6 – резина; 7 – заготовка сильфона.

Гидравлический (гидромеханический) метод (рис. 12.8). При этом методе процесс изготовления сильфона состоит из двух операций: первой (механической) – накатка кольцевых гофров (рис. 12.8, а) и второй (гидравлической) – образование гофров (рис. 12.8, б). Во второй операции заготовка с накатанными рифтами устанавливается в специальное устройство и ее полость заполняется жидкостью под давлением. Гофрообразующие диски (матрицы) имеют возможность перемещаться по направляющим (скалкам). Под действием внутреннего давления и силы осевого сжатия, создаваемой медленно

перемещающейся торцевой колодкой, происходит формирование гофров в пространстве между формирующими дисками. Потребная величина давления жидкости устанавливается опытным путем, она зависит от диаметра трубы, толщины стенки трубы и марки материала заготовки. Основные преимущества гидромеханического способа – высокая производительность и незначительное утонение стенки на вершине гофра.

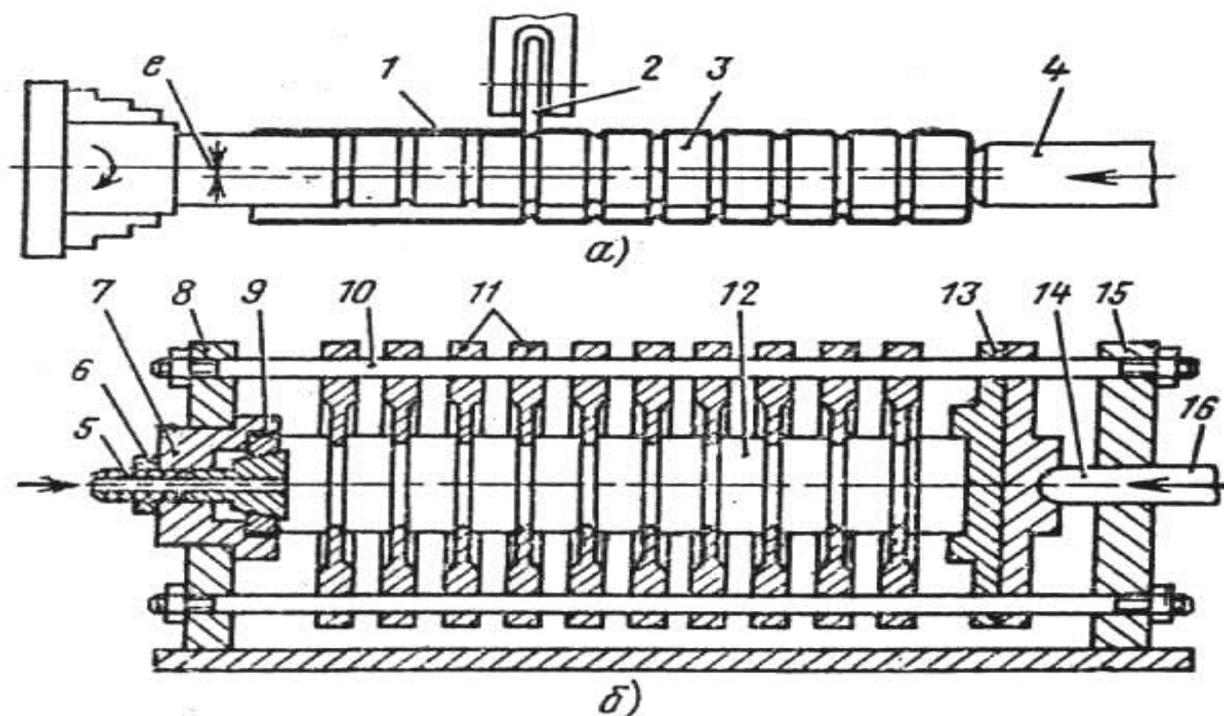


Рис. 12.8. Гидромеханический метод формовки сифонов.

а – предварительная накатка; *б* – формование гофров; 1 – заготовка; 2 – ролик; 3 – оправка; 4 – прижимы; 5 – штуцер подвода жидкости; 6 – гайка; 7 – втулка; 8, 15 – стойки; 9 – захват; 10 – скалка; 11 – формирующие диски; 12 – заготовка сифона; 13 – колодка; 14 – шток; 16 – гидропривод.

Метод прессования резиной (рис. 12.7). Этот метод формообразования производится в раздвижной секционной матрице на внутренней поверхности, которой имеются кольцевые выточки, выполненные в форме гофров. Роль пуансона играет резиновый цилиндр, вставляемый внутрь заготовки. Для обеспечения пластического деформирования заготовки необходимо создать удельное давление резины $(2-3) \cdot 10^4$ кПа. Основное преимущество штамповки сифонов резиной – высокая производительность. Недостатки – утонение стенок достигает 15 %; большой цикл и высокая трудоемкость изготовления разъемных матриц.

Имеются и другие методы формовки сильфонов, которые мы здесь не рассматриваем, например, гидроформовка в одну операцию без предварительной накатки рифтов; метод гидрорезиноформовки; штампо-сварной метод и др.

После формовки гофров сильфоны подвергаются отжигу, механической обработке торцов и кромок, промывке, сушке, очистке.

Контроль и испытания сильфонов.

Некачественное изготовление сильфонов может привести в процессе эксплуатации, особенно ракетно-космической техники, к непоправимым последствиям. Поэтому программа контроля и испытания этих изделий включает в себя значительное количество этапов:

- ▲ визуальный осмотр на предмет отсутствия трещин, рисок, забоин, вмятин и т. д.;

- ▲ контроль геометрических размеров;

- ▲ взвешивание, измерение емкости;

- ▲ контроль чистоты внутренних поверхностей;

- ▲ испытания на статическую прочность путем подачи жидкости под давлением вдвое превышающем рабочее давление;

- ▲ испытания на динамическую прочность включают в себя механические вибрационные испытания и испытания на гидравлический удар;

- ▲ испытания на герметичность;

- ▲ испытания на жесткость.

Часть сильфонов подвергается статическим и динамическим испытаниям до их разрушения – этим определяется долговечность, т. е. рабочий ресурс сильфона.

После испытаний сильфоны подвергаются очистке, промывке, обезжириванию и сушке.

Глава XIII. Технологическая подготовка серийного производства

Прогрессивные методы проектирования и производства летательных аппаратов

13.1. Содержание и объем работ при подготовке производства.

Серийному производству новых летательных аппаратов предшествует большой комплекс подготовительных работ, объединяемых понятием «технологическая подготовка серийного производства».

Содержание, объем и цикловое время работ по подготовке производства существенно зависит от ряда факторов:

- ▲ объема производства;
- ▲ степени сложности и новизны конструкции нового изделия;
- ▲ уровня кооперирования производства;
- ▲ степени оснащенности предприятия новыми методами и средствами производства и ряда других факторов.

Технологическая подготовка серийного производства включает в себя следующие виды работ:

- ▲ разработка директивных технологических материалов;
- ▲ подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ;
- ▲ подготовка плазово-шаблонной оснастки (при плазово-шаблонном методе производства).
- ▲ разработка технологических процессов изготовления деталей, узлов, агрегатов и т. п.;
- ▲ проектирование комплекта технологической оснастки;
- ▲ изготовление комплекта оснастки;
- ▲ проектирование нестандартного оборудования, средств механизации и контроля;
- ▲ изготовление нестандартного оборудования;

▲ разработка прогрессивных технических нормативов для определения трудоемкости изделия и расчетов потребной рабочей силы, оборудования, технологической оснастки, потребных производственных площадей, материалов, полуфабрикатов, электроэнергии для технологических целей и т. д.;

▲ распределение видов работ по специализированным цехам;

▲ отладка всех технологических и контрольно-испытательных операций;

▲ совершенствование инфраструктуры станочного и прессового оборудования.

По времени все работы по подготовке производства выполняются последовательно или параллельно-последовательно. Для сокращения цикла технологической подготовки производства значительная часть работ начинается на этапе разработки эскизного проекта и разработки чертежей опытного самолета.

Календарное время выполнения всех работ по технологической подготовке производства составляет цикл подготовки производства нового изделия. Одной из основных задач исполнителей работ, в частности, ОКБ, НИИ, ведущих и ведомых заводов – сокращение цикла технологической подготовки серийного производства.

Основной объем и главное содержание технологической подготовки серийного производства составляет разработка серийного технологического процесса изготовления нового изделия, проектирование и изготовление специальной технологической оснастки. Трудоемкость проектирования и изготовления специальной технологической оснастки обычно составляет 60-80 % общей трудоемкости технологической подготовки серийного производства летательных аппаратов. Например, при плазово-шаблонном методе производства самолета тяжелого типа необходимо изготовить до 150 тысяч различных шаблонов, по которым изготавливаются более 20 тысяч штампов для холодной штамповки.

13.2. Пути совершенствования технологической подготовки производства.

Качество всего комплекса работ, выполняемых при технологической подготовке производства, оказывает существенное влияние на технико-экономические показатели последующего серийного производства и, в конечном счете, на эффективность освоения новых образцов летательных аппаратов.

Высокое качество технологической подготовки должно обеспечивать общий технический прогресс предприятия, высокие технико-экономические показатели работы предприятия при наименьшей себестоимости и длительности самой подготовки производства.

Многолетняя практика авиа-ракетостроения выработала основные принципы, позволяющие высококачественно и своевременно выполнять огромный комплекс работ по технологической подготовке серийного производства. Основные принципы – это: совмещение работ; типизация технологических процессов; преемственность технологического оснащения производства.

Совмещение работ. Подготовка всей организационной и технической документации по подготовке серийного производства параллельно с проектированием самого изделия. Одновременно проводятся экспериментальные исследования, связанные с новыми процессами обработки деталей, технического контроля и др.

На этапах эскизного и рабочего проектирования изделия создаются укрупненные технологические процессы, представляющие из себя своеобразные тезисы будущего серийного технологического процесса. Эти документы называются директивными технологическими материалами или директивной технологией.

В разработке директивных технологических материалов принимают участие специалисты научно-исследовательских институтов, опытно-конструкторских бюро и серийных предприятий.

По завершению проектирования изделия на основе директивных технологических материалов разрабатываются серийные технологические процессы изготовления деталей, узлов, агрегатов летательного аппарата, его общей сборки, монтажа и испытаний.

Типизация технологических процессов. Типовые технологические процессы разрабатываются не для конструкций конкретных изделий, а для типовых представителей групп элементов конструкций различных летательных аппаратов.

Типовые технологические процессы разрабатываются заблаговременно в научно-исследовательских институтах или наиболее квалифицированными коллективами серийных предприятий. Это обеспечивает высокое качество разработок.

Типовые технологические процессы служат образцами для разработки рабочих технологических процессов. Но в ряде случаев можно их использовать с небольшими коррективами как рабочие технологические процессы. Типовые операции, как правило, удается использовать в качестве рабочих операций.

Принцип типизации технологических процессов дает предпосылки для повышения производительности труда, сокращения сроков освоения новых изделий, повышения их качества и снижения себестоимости.

Преимственность технологического оснащения. При проектировании технологической оснастки необходимо по возможности применять стандартные и нормализованные элементы. Это позволит уменьшить сроки проектирования и изготовления оснастки, снизить стоимость и повысить качество технологической подготовки производства нового изделия. Стандартные и нормализованные элементы оснастки изготавливаются заблаговременно, поэтому эта часть работы не входит в цикловое время подготовки производства.

Главное достоинство стандартных и нормализованных элементов состоит в том что их можно многократно использовать в различных конкретных конструкциях технологического оборудования и технологической оснастки. Например, в сложных многодетальных штампах нормализацию можно довести до такой степени, что при изменении объекта штамповки можно заменять только

формообразующие элементы штампа, оставляя без изменения корпус и другие элементы оснастки.

Последовательность оснащения производства означает поочередность оснащения производства начиная от упрощенных конструкций оснастки до более совершенных, обеспечивающих изготовление изделий высокого качества с наименьшей трудоемкостью.

Наиболее эффективным путем совершенствования технологической подготовки Современная тенденция развития информационных технологий определяет необходимость перехода авиа-ракетостроительных предприятий на систему полной безбумажной технологии, например созданием комплексных систем проектирования и производства (CAD/CAM/CAE), таких как CATIA, UNIGRAPHICS, Pro/ENGINEER.

Системы автоматизированного проектирования являются мощным инструментом для проектирования новых изделий и освоения их производства в сжатые сроки, с высоким качеством и наименьшими затратами. В мировой практике эти системы получили собирательное название CAD/CAM/CAE – систем:

CAD - Construction Adding Design - разработка конструкции;

CAM - Construction Adding Manufacture - изготовление конструкции;

CAE - Construction Adding Engineering - расчёт конструкции.

13.3. Использование комплексной системы CATIA в процессе проектирования и изготовления летательных аппаратов.

Развитие компьютерной техники и совершенствование программного обеспечения позволило коренным образом изменить принципы производства летательных аппаратов.

Создание комплексных систем проектирования и производства, а также дальнейшее совершенствование станков с ЧПУ позволило решить ряд самых главных проблем производства авиационной техники:

- исключить необходимость проведения плазменной увязки узлов, агрегатов и всего самолета в целом;
- исключить накопление погрешностей в процессе переноса размеров, присущее плазменно-шаблонному методу производства;
- упростить процесс подготовки и создания программного обеспечения для станков с ЧПУ;
- механизировать проведение контроля оснастки и готовых деталей, путем использования высокоточного контрольно-измерительного оборудования.

Главным преимуществом и отличием систем проектирования САПР и Юниграфикс - является то, что они охватывают весь диапазон производства, начиная от этапа проектирования и заканчивая контролем готовой продукции. На базе этих разработок стало возможным создание комплексной системы производства, обладающей единым первоисточником. Особенностью процесса проектирования является возможность производить все работы в единой системе координат для каждого объекта, и создавать математическую модель поверхности составляющих его деталей и одновременно осуществлять сборку их в единое целое. При этом конструктор имеет возможность с самого начала видеть взаимодействие между составляющими элементами (зазоры, натяги, поверхности контакта) не только в статике, но и в динамике.

В системе САПР создание математической модели производится в системе координат удобных для конструктора, но при этом модель остается жестко привязанной к первоначальным осям системы. В дальнейшем это необходимо для сборки отдельных деталей в единое целое. Визуальное представление созданного объекта обычно реализуется в виде проволочной модели, изображающей грани поверхностей. Это делается для сокращения объема используемой видеопамяти компьютера. Создание требуемого объема производится традиционными методами:

- вытягиванием заданного замкнутого профиля;
- вращением заданного профиля;
- по заданным проекциям;

- сложением из простых объемных примитивов типа: куб, призма, цилиндр, конус, шар, кольцо и т. п.

При этом каждый созданный объект имеет изначально заданные и в последствии зафиксированные габариты, объем, положение относительно начальной системы координат. Для упрощения и обогащения зрительного восприятия существует функция, представляющая проволочную модель в виде объемного трехмерного тела, которое можно рассматривать в любом масштабе, вращать, передвигать и копировать. Созданные объекты можно складывать в единое тело, вычитать один из другого, разрезать, отражать, снимать с кромок фаски или скруглять их заданным радиусом.

Указанные выше математические модели поверхности после их создания рассматриваются как твердые тела и создание сборочного чертежа узлов производится путем объединения деталей в сборку. Существующее программное обеспечение позволяет выделять детали различным цветом, а создание многоуровневого чертежа (САТІА позволяет иметь до 250 уровней) располагать различные детали на различных уровнях. Математический аппарат позволяет манипулировать деталями как твердыми телами. То есть всегда существует возможность проверить их взаимное положение, определить точки и поверхности контакта, возникающие натяги (взаимное проникновение одной детали в другую), замерить зазоры. Все эти действия можно проводить не только в статическом состоянии входящих деталей относительно друг друга, но в динамике. При задании взаимного перемещения можно моделировать функционирование и работу будущего механизма.

Впервые компанией Боинг при использовании только одной лишь системы САТІА спроектирован и изготавливается самолет "Боинг 777". Все чертежи самолета, их взаимная увязка, расчеты на прочность, проектирование всего технологического оснащения, а также управляющие программы для станков с ЧПУ и контрольно-измерительных машин созданы при использовании этой системы.

Применение системы полностью изменило порядок ведения чертежного хозяйства и позволило отказаться от привычного чертежа, как основного источника и средства хранения информации. Преобразование твердотельных объектов в привычные для производства рабочие чертежи сводится к заданию необходимых проекций и вывод их на лист чертежа, для чего конструктору необходимо только указать эти проекции и сечения. На них конструктор указывает расположение необходимых для производства размеров, назначает степень точности (допуска), требования к обработке поверхностей. Кроме этого ему необходимо указать требования к изготовлению, назначить материал, заполнить спецификацию и дать наименование видов и сечений. Числовые величины размеров берутся с математической модели. Эта связь существует постоянно и любое изменение в математической модели автоматически приводит к изменению размеров чертежа. Распечатанный чертеж для удобства представления исполнителя кроме сечений имеет изометрическое изображение детали или сборочной единицы. При этом чертеж на бумаге распечатывается только для выполнения конкретной работы и подлежит уничтожению после ее завершения.

Математическая модель используется в дальнейшем в процессе решения прикладных задач проектирования, таких как расчет на прочность, определение центра тяжести и массы деталей и сборок. В решении задачи расчета на прочность наличие твердотельной модели объекта сокращает сроки выполнения расчетов. Конструктору необходимо только задать необходимые условия (расположение и тип опор, нагрузки, свойства материала). При этом наглядно показывается распределение нагрузок и деформации, возникающие от их воздействия.

Работу конструктора оснастки можно проиллюстрировать следующим примером. Получив задание на проектирование сборочного приспособления, он переносит в свой рабочий файл твердотельную модель заданного агрегата. Используя готовые поверхности агрегата, проектируются фиксирующие узлы приспособления, последующая их связь несущей рамой. При этом есть возможность проиграть процесс установки и последующего снятия сборочных

единиц, оценить удобство работ и подходы для исполнителя. При этом исключается возможность ошибок в задании опорных поверхностей или взаимного натяга сборочного приспособления и собираемого агрегата.

При проектировании штампа или приспособления для выклейки задача проектирования предельно упрощена наличием твердотельной модели, и сводится к отражению детали на поверхность приспособления. При этом исключена ошибка в задании рабочей поверхности приспособления.

В процессе изготовления и контроля деталей и узлов математическая модель используется для создания управляющих программ для станков с ЧПУ. Прикладные программы, объединенные в систему, позволяют полностью моделировать процесс обработки с использованием заданного инструмента. Применяемые способы контроля готовой продукции на контрольно-измерительных машинах позволяют производить сравнение измеряемых размеров с имеющейся математической моделью и сразу выдавать величины отклонений. Аналогично производится контроль при использовании других современных методов измерения. К ним относится использование лазерных интерферометров и измерение фотометрическим способом при помощи цифровых видеокамер.

Как уже говорилось выше, первым крупным объектом, в процессе создания которого были использованы все возможности системы (CAD/CAM) CATIA, стал самолет "Боинг-777". Для полномасштабного функционирования системы только на заводе фирмы в Эверете, штат Вашингтон установлено 26000 вычислительных устройств, из которых 7000 являются конструкторскими рабочими местами. При этом все эти устройства объединены в единую систему в масштабе компании. Работа в единой системе такого большого количества пользователей стала возможной только благодаря использованию функции, жестко регламентирующей право доступа каждого пользователя к единой базе данных. Конкретный исполнитель производит работу в своем рабочем файле и после определенных регламентированных процедур согласования, его модель или чертеж получает разрешение на запуск в производство, и включается в единую базу данных. Пользователи имеют право только брать из единой базы данных информацию, но

любые изменения они могут производить только в своей копии, хранящейся в личном рабочем файле. При этом каждый исполнитель имеет право доступа к информации, содержащейся в рабочих файлах своих коллег, но не имеет право изменять ее.

При изготовлении самолета впервые фирма Боинг отказалась от использования плазов и построения объемного макета фюзеляжа самолета, используемого для проведения проверки увязки элементов каркаса и макетирования систем самолета. Вся заготовительно-штамповочная, механообработочная, выклеечная, сборочная и контрольная оснастка спроектирована с использованием указанной системы. Принятый способ позволил осуществлять широкую международную кооперацию в процессе производства этого самолета, в которой участвуют фирмы Японии, США, Канады, Великобритании. При этом сборка производится на заводе компании Боинг в Эверете. Все вопросы, которые могли бы появиться в процессе сборки и последующей стыковки компонентов самолета, решаются на этапе проектирования путем введения разумной компенсации в местах сочленения, учитывающей погрешности используемого метода изготовления узлов и агрегатов. В тоже время включение в систему и применение высокоточных станков с ЧПУ и современных методов контроля, полностью не исключает традиционных способов производства и контроля. Они продолжают применяться в тех случаях, когда экономически не целесообразно использование этого оборудования. Традиционные способы производства с использованием шаблонов и контрольных приспособлений задействованы в тех случаях, когда необходим контроль большого количества одинаковых деталей, в заготовительно-штамповочном производстве, при производстве простого оснащения, при производстве деталей из композиционных материалов. Во всех этих случаях первоисточником информации, а, следовательно, основой для изготовления и контроля оснастки и готовой продукции остается математическая модель, сформированная на основе единой базы данных.

На рис.5.3 приведены схемы получения точных форм и размеров штампованных и фрезерованных деталей в системе CATIA.

13.4. Использование системы Pro/ENGINEER

Большинство предприятий, специализирующихся на разработке и производстве изделий машиностроения поставлены сейчас в жесткие условия по срокам производства себестоимости и качеству продукции. Для решения проблем производства предлагаем применить современные системы автоматизированного проектирования.

Одной из наиболее быстро развивающихся CAD/CAM/CAE - систем является Pro/ENGINEER.

Pro/ENGINEER – это интегрированная система автоматизированного проектирования, используемая для создания моделей на компьютере в трехмерном пространстве. Так как используется трехмерное пространство, модели полностью отражают реальные детали, по которым они построены. Модели часто называют виртуальными деталями, так как на стадии проектирования они существуют только в памяти компьютера. Большинство моделей, сделанных в Pro/ENGINEER, называют твердотельными моделями. Этот термин подразумевает, что компьютер полностью понимает «твердость» детали, т. е. компьютер знает, где находится материал, а где пустое пространство. В процессе твердотельного моделирования использует команды, которые отображают технологию обработки, типа выдавливания или вырезания для создания законченной формы.

Pro/ENGINEER при конструировании и моделировании детали назначаются размеры, которые определяют деталь. Если, позже, понадобится доработать деталь, эти размеры могут быть легко изменены и деталь будет модифицирована во всех местах, где она используется. Это особенно полезно при работе со сборками, так как, в случае модификации какой-нибудь детали, перестраивается вся сборка. Конструктор может также накладывать зависимости между деталями.

Например, при возможном увеличении или уменьшении диаметра поршня двигателя соответствующий блок цилиндров может автоматически изменяться, отслеживая геометрию поршня.

В Pro/ENGINEER можно создавать самые разнообразные типы элементов. Деталь можно представить в виде некоторого материала, которому можно придать различную форму.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абибов А. Л., Бирюков М. Н. и др. «Технология самолетостроения» М.: Машиностроение, 1982. 551 с.
2. Белый И. В., Фертик С. М., Хименко Л. Т. «Справочник магнитно-импульсной обработки металлов» Харьков. Виша школа, 1977. 165 с.
3. Богоявленский К. Н., Камнев П. В. «Изготовление деталей пластическим деформированием» М.: Машиностроение, 1975. 420 с.
4. Валиев С. А. «Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов» М.: Машиностроение, 1973. 171 с.
5. Горбунов М. Н. «Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве самолетов» М.: Машиностроение, 1981. 224 с.
6. Житомирский Г. И. «Конструкция самолетов» М.: Машиностроение, 1995. 415 с.
7. Исаченков Е. И. «Штамповка эластичными и жидкостными средами» М.: Машиностроение, 1976. 360 с.
8. Камалов В. С. «Производство космических аппаратов» М.: Машиностроение, 1982. 280 с.
9. Катков В. Ф. «Оборудование и средства автоматизации и механизации заготовительно-штамповочных цехов» М.: Машиностроение, 1985. 384 с.
10. Комаров Ю. Ю., Крысин В. Н., Фирсов В. А. «Технологическая подготовка авиационного производства» Учебное пособие для вузов М.: МАИ, 2000.
11. Комаров Ю. Ю., Уваров Ю. Ю. «Технология производства ЛА и САПР» М.: Издательство МАИ, 1998. 24 с.
12. «Компьютерные технологии в науке, технике и образовании» Учебное пособие, ред. Промптов А. И. Иркутск. Издательство ИрГТУ, 2000. 396 с.
13. Крысин В. Н., Крысин М. В. «Технологические процессы формования, намотки и склеивания конструкций» М.: Машиностроение, 1989.
14. Кучеров В. П. «Совершенствование системы технологической подготовки производства в самолетостроении» Ташкент: «Фан», 2004. 200 с.

15. Саидахмедов Р. Х. «Многокомпонентные покрытия, формируемые ионно-плазменным методом» Ташкент: «Фан», 1999. 131 с.
16. «Современные авиационные технологии» ред. Братухин М. М.: Машиностроение, 1999.
17. «Справочник металлиста» Том 2. М.: Машиностроение, 1976. 716 с.
18. Степанов В. Г., Шавров И. А. «Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов» Л.: Машиностроение, 1975. 275 с.
19. Сторожев М. В., Попов Е. А. «Теория обработки металлов давлением» М.: Машиностроение, 1977. 412 с.
20. Сыркин В. Г. «Газофазная металлизация через карбонилы» М.: Metallurgy, 1985. 248 с.
21. Шамсиев З.З., Шамсиев Р.З., Халилов Х.Т. Вводный курс по моделированию в системе Pro/ENGINEER. Ташкент, ТашГТУ, 2012
22. www.google.ru
23. www.avia.ru
24. www.elibrary.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
Глава I. Основные понятия и определения	5
1.1. Сущность технологии заготовительно-штамповочных работ	5
1.2. Материалы, используемые для штампованных деталей	12
1.3. Термическая обработка заготовок и деталей из алюминиевых и титановых сплавов	18
1.4. Классификация операций разделения полуфабрикатов и формообразования	20
1.5. Защитные покрытия деталей	24
Глава II. Методы и средства обеспечения взаимозаменяемости штампуемых деталей	32
2.1. Плазово-шаблонный метод производства	33
2.2. Теоретический чертеж. Теоретический плаз	34
2.3. Основные и производственные шаблоны	35
2.4. Объемная оснастка	37
2.5. Эволюция методов и средств обеспечения взаимозаменяемости	39
Глава III. Изготовление деталей путем разделения заготовки (раскройные работы)	44
3.1. Основные требования к раскройным работам	44
3.2. Классификация раскройных работ	45
3.3. Механизмы деформирования и разделения при резке металлов	48
3.4. Раскрой на ножницах	51
3.5. Раскрой в штампах	54
3.6. Раскрой на фрезерных станках и ленточных пилах	61
3.7. Электрохимические и электрофизические методы раскроя	64
Глава IV. Гибочные процессы	67
4.1. Общие сведения	67
4.2. Расчет усилий при гибке	75
4.3. Пружинение при гибке	79
4.4. Минимальный радиус гибки	83
4.5. Способы гибки и применяемое оборудование	84
4.6. Гибка профилированных и трубчатых заготовок	88
Глава V. Процессы вытяжки	91
5.1. Методы вытяжки	91
5.2. Напряженно-деформированное состояние заготовки	101
5.3. Расчет усилий вытяжки и прижима	106
5.4. Оптимальные условия деформирования	107
Глава VI. Процесс раздачи	111
6.1. Общие сведения	111
6.2. Расчет усилий деформирования заготовки	112

6.3. Технологические возможности раздачи	113
6.4. Рациональные условия деформирования	115
Глава VII. Процесс отбортовки	117
7.1. Общие сведения	117
7.2. Расчет усилий деформирования	119
7.3. Технологические процессы отбортовки	120
Глава VIII. Процессы обжима и радиального обжатия	122
8.1. Общие сведения	122
8.2. Расчет усилий деформирования при обжиме листовой заготовки	123
8.3. Рациональные условия деформирования	124
Глава IX. Процесс обтяжки	127
9.1. Общие сведения	127
9.2. Напряженное состояние заготовки	128
9.3. Простая обтяжка (поперечная обтяжка)	132
9.4. Обтяжка с растяжением (продольная обтяжка)	136
9.5. Кольцевая обтяжка	138
9.6. Оборудование и оснастка для выполнения процессов обтяжки	139
Глава X. Процессы объемной штамповки	144
10.1. Ротационная вытяжка с утонением заготовки	144
10.2. Радиальное обжатие	146
10.3. Изготовление деталей путем трехосного сжатия заготовки	148
10.4. Деформирование поверхностных слоев заготовки	151
Глава XI. Импульсные методы штамповки	156
11.1. Штамповка взрывом	156
11.2. Электрогидравлический метод формования	158
11.3. Формование импульсным электромагнитным полем	160
Глава XII. Некоторые другие виды штамповки	162
12.1. Ротационный метод формовки без утонения заготовки	162
12.2. Штамповка на листоштамповочных молотах	163
12.3. Штамповка деталей из неметаллов и композиционных материалов	166
12.4. Изготовление сильфонов	169
Глава XIII. Технологическая подготовка серийного производства. Прогрессивные методы проектирования и производства летательных аппаратов.	174
13.1. Содержание и объем работ при подготовке производства.	174
13.2. Пути совершенствования технологической подготовки производства.	176
13.3. Использование комплексной системы САТІА в процессе проектирования и изготовления летательных аппаратов.	178
13.4. Использование системы Pro/ENGINEER	184
Список литературы	186

Эркин Мухамедович Назаров
Нуриддин Анварович Абдужабаров.
Технология изготовления деталей
летательных аппаратов.
Учебное пособие для вузов.
Компьютерное оформление
Когай Е. В., Когай А. В.