

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

Н.В. ВЛАСОВ, В.Н. МАЙНСКОВ

КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ
АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ИЗ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

Учебное пособие

УДК 629.7.02 (075)

Власов Н.В., Майнсков В.Н. **Конструирование деталей авиационных конструкций из литых заготовок**: Учеб. пособие / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара. 2002. 63 с.

ISBN 5-7883-0183-1

Приведены методические и справочные материалы, рекомендуемые к применению в лабораторно-практических работах, курсовом и дипломном проектировании при разработке конструкций самолетов.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 130100, изучающих курс конструкции и проектирования летательных аппаратов. Разработано на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов.

Табл. 22. Ил. 21. Библиогр.: 19 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева.

Рецензенты: А.Н. Степаненко, В.Т. Тимшин

ISBN 5-7883-0183-1

© Самарский государственный
аэрокосмический университет,
2002

СОДЕРЖАНИЕ

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ	5
2. ЛИТЕЙНЫЕ СПЛАВЫ	6
3. СПОСОБЫ ЛИТЬЯ	17
3.1. Литье в песчаные формы.....	17
3.2. Литье в кокиль.....	24
3.3. Литье в оболочковые формы.....	25
3.4. Литье по выплавляемым моделям.....	26
3.5. Литье под давлением.....	27
3.6. Литье способом выжимания.....	28
3.7. Литье под низким давлением.....	30
3.8. Литье способом направленно-последовательной кристаллизации.....	30
4. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ЛИТОЙ ДЕТАЛИ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ	31
4.1. Общие требования, предъявляемые к литым деталям.....	31
4.2. Определение положения детали в форме и выбор плоскости разреза.....	32
4.3. Конструктивные элементы детали, способствующие упрощению литейной формы.....	33
4.4. Толщина стенок.....	34
4.5. Размеры отверстий в литых заготовках.....	35
4.6. Ребра жесткости.....	36
4.7. Расстояние между стенками (или ребрами).....	38
4.8. Литейные уклоны.....	38
4.9. Радиусы закруглений в местах сопряжения стенок.....	38
5. ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ	41
5.1. Назначение класса точности литых деталей.....	41
5.2. Возможности повышения точности отдельных размеров литых деталей.....	41
6. НАЗНАЧЕНИЕ СПОСОБА ЛИТЬЯ ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ	44
6.1. Каркасные крупногабаритные детали.....	44
6.1.1. Пространственные крупногабаритные каркасные детали.....	44
6.1.2. Плоские крупногабаритные каркасные детали.....	45
6.2. Корпусные детали.....	46
6.3. Панельные детали.....	47

7. НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЛИ- ТЫХ ДЕТАЛЕЙ	48
7.1. Влияние конструкции литых деталей на их надежность при эксплуатации	48
7.2. Работа литых деталей при повышенных температурах	48
7.3. Работа литых деталей при низких температурах	49
7.4. Работа литых деталей в условиях, вызывающих коррозию ...	49
7.5. Виды дефектов и методы их контроля	49
7.5.1. Рентгеновский контроль	52
7.5.2. Ультразвуковой метод	52
7.5.3. Магнитная дефектоскопия	52
7.5.4. Люминесцентная дефектоскопия	53
7.5.5. Гамма-дефектоскопия	53
7.5.6. Спектральный анализ	53
7.6. Группы контроля качества литых заготовок	53
8. ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ	54
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	55
ПРИЛОЖЕНИЕ	56

ПРЕДИСЛОВИЕ

Литые детали широко применяют в конструкции самолетов. При небольшом объеме механической обработки из отливок можно изготавливать различные корпусные детали, фитинги, качалки, кронштейны, фланцы, ручки и другие детали. Литье является наиболее экономичным способом получения деталей со сложными криволинейными поверхностями, произвольно расположенными полостями и выступами, с минимальным числом обрабатываемых поверхностей при небольших припусках на эту обработку. В этих случаях применение отливок взамен поковок и штамповок повышает коэффициент использования металла (КИМ) и снижает трудоемкость изготовления детали.

В литых деталях возможно получение рационального распределения материала по сечению, которого нельзя достичь при других способах получения заготовок. Это несколько компенсирует относительно невысокие механические свойства литейных материалов (прочностные характеристики, ударную вязкость, пластичность) и дает выигрыш по массе. Литые детали, изготовленные методом точного литья (под давлением, по выплавляемым моделям), имеют высокую точность и низкую шероховатость поверхности.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

Детали из литых заготовок (отливок) рекомендуют применять в случаях, когда их механические свойства удовлетворяют требованиям, предъявляемым к конструкции.

1. Литые заготовки обеспечивают получение деталей со сложными криволинейными поверхностями, полостями и выступами, расположенными в различных направлениях, при минимальном количестве обрабатываемых поверхностей и с небольшими припусками на механическую обработку. Это особенно важно при изго-

товлении деталей из сверхпрочных сплавов, плохо обрабатываемых резанием.

2. Литые заготовки обеспечивают максимальное приближение к форме готовой детали за счет применения минимальных уклонов, минимальных радиусов.

3. Монолитность литых деталей обеспечивает их более высокую жесткость и общую конструктивную прочность.

4. Литые детали имеют однородные механические свойства во всех направлениях в отличие от деталей из деформируемых сплавов, обладающих анизотропностью свойств.

5. Литые заготовки, полученные методами точного литья, имеют высокую точность (4-й и 5-й классы) и низкую шероховатость поверхности (Ra 3,2 и Ra 1,6).

6. Несмотря на большие преимущества деталей, получаемых из литых заготовок, их ограниченное применение объясняется тем, что механические свойства литейных цветных сплавов ниже свойств деформируемых сплавов. Однако прочность детали зависит не только от материала, но и от общего конструктивного оформления. В литой детали вследствие более рационального распределения металла можно увеличить момент инерции и момент сопротивления сечения.

7. Прочностные свойства литейной легированной стали (предел прочности и предел текучести) почти не отличаются от аналогичных свойств деформируемой стали вдоль направления волокон, но значительно уступают ей по свойствам, характеризующим пластичность (относительное удлинение, поперечное сужение и ударная вязкость). Однако механические свойства литейной стали лучше, чем у деформируемой стали поперек направления волокон.

8. В условиях серийного производства для деталей сложной конфигурации наибольший экономический эффект дает применение литых заготовок, получаемых способами точного литья (литьем под давлением, литьем по выплавляемым моделям) и требующих значительных затрат на изготовление оснастки. При использовании иных способов литья увеличивается объем механической обработки детали, затраты и загрузка станочного оборудования.

2. ЛИТЕЙНЫЕ СПЛАВЫ

Литейные сплавы разделяют по назначению (герметичные, высокопрочные, жаропрочные, коррозионностойкие), по прочности (пониженной, средней, высокой), по жаропрочности (средней,

повышенной, высокой), по коррозионной стойкости (пониженной, удовлетворительной, повышенной). Литейные свойства сплавов характеризуют жидкотекучестью, герметичностью, линейной усадкой, склонностью к образованию горячих трещин.

В конструкции самолета применяют литые детали из алюминиевых сплавов (АЛ9, АЛ9-1, ВАЛ10, АЛ19 и др.), магниевых сплавов (МЛ5, МЛ5 п.ч., МЛ8), титановых сплавов (ВТ5Л, ВТ20Л), сталей (35ХГСЛ, ВЛЗ, 27ХГСНМЛ). Высокопрочные сплавы АЛ9-1, ВАЛ10, МЛ8 имеют механические свойства, приближающиеся к их деформируемому аналогу. Такие характеристики этих сплавов обеспечиваются качеством и стабилизацией свойств отливок, т.е. ограничением допустимого содержания примесей и повышением точности химического состава.

Заготовки деталей получают разнообразными методами литья, применение которых определяется требуемой точностью отливки:

- в сырые песчаные формы, т.е. в землю (сплавы МЛ8, МЛ5 п.ч., МЛ5, АЛ9-1, АЛ9, ВАЛ10, АЛ19);
- в кокиль (сплавы АЛ9 и АЛ9-1);
- по выплавляемым моделям (сплавы МЛ8, МЛ5 п.ч., МЛ5, ВАЛ10, ВТ5Л, ВЛЗ, 35ХГСЛ);
- в набивные графитовые формы (сплав ВТ5Л);
- под давлением (сплавы АЛ9 и АЛ9-1);
- компрессионным, вакуумным и центробежным;
- в электромагнитном поле;
- плавка металла и заливка форм в контролируемой атмосфере;
- бесковшовой заливкой литейных форм и др.

Краткие технологические сведения о литейных сплавах и областях их применения приведены в табл. 1-4. Механические свойства литейных сплавов даны в табл. 5-8.

При конструировании литых деталей необходимо учитывать зависимость механических свойств отливки от толщины. Наилучшими механическими свойствами обладают тонкостенные литые детали. Прочностные свойства сплавов определяют на образцах, вырезанных из отливок.

Технологические характеристики и области применения титановых литейных сплавов

Марка материала	Технологические сведения	Области применения
BT5Л	Литейные свойства невысокие. Склонность к образованию горячих трещин отсутствует. Коррозионная стойкость высокая. Сплав обладает высоким пределом ползучести. Свариваемость хорошая. Обработка резанием удовлетворительная. Отливка производится только в вакуумных печах или в печах с защитной атмосферой	Для деталей, подвергающихся большим нагрузкам и работающих в агрессивных средах при высоких температурах. Не рекомендуется для работы в среде свободного кислорода
BT20Л	Устойчив в атмосферных условиях и морской воде	Детали, длительно работающие при температурах 350...500°С

Технологические характеристики и области применения алюминиевых литейных сплавов

Марка материала	Технологические сведения	Области применения
АЛ2	Литейные свойства отличные: имеет высокую жидкотекучесть, не склонен к образованию горячих трещин, обладает высокой герметичностью, особенно при литье в кокиль. Плохо обрабатывается резанием, но хорошо сваривается. Коррозионная стойкость удовлетворительная	Для деталей сложной конфигурации, не подвергающихся значительным нагрузкам; деталей агрегатов приборов и арматуры, отливаемых в песчаные формы, в кокиль и под давлением
АЛ4	Литейные свойства отличны: сплав имеет высокую жидкотекучесть, не склонен к образованию усадочных горячих трещин, герметичность хорошая. Хорошо обрабатывается резанием, хорошо сваривается. Коррозионная стойкость удовлетворительная. Теплопрочность пониженная	Для деталей сложной конфигурации, подвергающихся значительным нагрузкам: корпусов, картеров, панелей. Сплав используется при отливке в песчаные формы, в кокиль и методом выжимания
АЛ8	Литейные свойства низкие: сплав склонен к окислению и образованию микрорыхлот и горячих трещин. Герметичность пониженная. Хорошо обрабатывается резанием, хорошо полируется. Свариваемость удовлетворительная. Сплав имеет высокие антикоррозионные свойства. Особенно хорошо сопротивляется воздействию морской воды	Для наиболее ответственных узлов и деталей несложной конфигурации, подвергающихся ударным нагрузкам и коррозионным воздействиям. Сплав применяется для отливки деталей в песчаные формы

Окончание табл. 2

Марка материала	Технологические сведения	Области применения
АЛ9	Литейные свойства хорошие: жидкотекучесть, удельно-теплическая, сплав не склонен к образованию горячих трещин. Герметичность повышенная. Обрабатываемость резанием удовлетворительная, свариваемость хорошая. Коррозионная стойкость удовлетворительная	Для деталей сложной конфигурации, подвергающихся среднему на грузкам; деталей свариваемых, отливаемых в песчаные формы, в ко киль и под давлением
АЛ9-1	Высокие литейные свойства и герметичность (давление до 35 МПа), не склонен к образованию горячих трещин. Удовлетворительно обрабатывается резанием, сваривается газовой и аргонодуговой сваркой	Для деталей сложной конфигурации и средней нагруженности, длительно работающих при температурах до 200°C
АЛ19	Теплопрочный и высокопрочный сплав, обладающий повышенной пластичностью и ударной вязкостью. Литейные свойства невысокие: пониженная жидкотекучесть, повышенная склонность к образованию горячих трещин. Коррозионная стойкость удовлетворительная. Свариваемость хорошая. Обрабатываемость резанием отличная. Герметичность пониженная	Для деталей средней сложности, работающих при повышенной температуре (175...300°C). Рекомендуется для отливки в песчаные формы
ВАЛ10	Высокопрочный сплав с удовлетворительными литейными свойствами, повышенной герметичности (течь появляется при давлении 10 МПа), склонный к образованию горячих трещин и рыхлот. Коррозионная стойкость пониженная	Для высоконагруженных деталей, длительно работающих при температуре до 250°C, с габаритными размерами до 500 мм

Технологические характеристики и области применения магниевых литейных сплавов

Марка материала	Технологические сведения	Области применения
МЛ5, МЛ5 п.ч.	Литейные свойства удовлетворительные, жидкотекучесть хорошая, но сплав склонен к образованию микропористости и рыхлот. Обрабатываемость резанием отличная, свариваемость удовлетворительная. Коррозионная стойкость удовлетворительная	Для тонкостенных деталей сложной конфигурации, подвергающихся значительным нагрузкам: кронштейнов, ферм, штурвалов, авиакорпусов, тормозных барабанов и др. Сплав используется для литья в песчаные и оболочковые формы, в кокиль и под давлением
МЛ8	Удовлетворительная коррозионная стойкость, обрабатываемость резанием отличная. Микрорыхлота снижает свойства отливок из сплава МЛ8 в значительной мере, чем из сплава МЛ5	Высоконагруженные детали (кронштейны, барабаны, реборды, детали приборов, детали управления)
МЛ11	Сплав повышенной теплопрочности, Литейные и технологические свойства аналогичны сплаву МЛ5, но сплав МЛ11 отличается повышенной горячеломкостью. Коррозионная стойкость удовлетворительная. Сваривается аргонодуговой сваркой	Для деталей сложной конфигурации, нагреваемых в работе до 250...300°C

Технологические характеристики и области применения литейных сталей

Марка материала	Технологические сведения	Области применения
35ХГСЛ	Литейные свойства удовлетворительные. Сваривается и обрабатывается резанием хорошо	Для высоконагруженных, особо ответственных деталей, отливаемых в песчаные или оболочковые формы и по выплавляемым моделям
ВНД-3	Литейные свойства хорошие. Сталь имеет хорошую жидкотекучесть и высокую трещиностойкость, хорошо сваривается. Коррозионная стойкость удовлетворительная. Прочность сварного шва без последующей термической обработки после сварки не менее 1100 МПа	Для крупногабаритных литосварных конструкций, применяемых без термической обработки после сварки, а также для высоконагруженных деталей, работающих при температурах до 350...500°C
27ХГСНМЛ	Литейные свойства хорошие. Сваривается и обрабатывается резанием хорошо. Имеет склонность к образованию горячих трещин	Для высоконагруженных, особо ответственных деталей, отливаемых в песчаные или оболочковые формы и по выплавляемым моделям

Таблица 5

Механические свойства титановых литейных сплавов

Марка стали	Характеристика сплава	ОСТ, ВТУ	Способ литья	Термообработка	σ_b , МПа	δ , %
BT5Л	Герметичный сплав с хорошими литейными свойствами пониженной прочности	ОСТ 1 90060-72	Центробежный	Без термической обработки	780	6
BT20Л	Высокопрочный и жаропрочный сплав	ВТУ 518-1-68	Центробежный	Без термической обработки	900	5

Механические свойства алюминиевых литейных сплавов

Марка сплава	Характеристика сплава	ГОСТ, ОСТ	Способ литья	Термообработка	σ_b , МПа	δ , %
АЛ2	Герметичный сплав с хорошими литейными свойствами пониженной прочности	ГОСТ 2685-75	ЗМ ¹ , КМ		150	4
			К, Д		160	2
АЛ4	Герметичный сплав с хорошими литейными свойствами средней прочности	ГОСТ 2685-75	З, К		150	2
			К	Т1 ²	200	1,5
			ЗМ	Т6	230	3
			К	Т6	240	3
АЛ8	Коррозионностойкий сплав повышенной прочности	ГОСТ 2685-75	З	Т4	280	9
			З, К		160	2
			З	Т4	180	4
			К	Т4	190	4
			З, К	Т5	200	2
АЛ9	Герметичный сплав с хорошими литейными свойствами средней прочности	ГОСТ 2685-75	З	Т4	280	9
			З, К		160	2
			З	Т4	180	4
			К	Т4	190	4
			З, К	Т5	200	2

Марка сплава	Характеристика сплава	ГОСТ, ОСТ	Способ литья	Термообработка	σ_b , МПа	δ , %
АЛ9-1	Герметичный сплав с хорошими литейными свойствами повышенной прочности	ГОСТ 2685-75	З	Т5	210	2
			К	Т5	240	2,5
			З	Т6	240	1,5
			К	Т6	260	2
АЛ19	Высокопрочный и жаропрочный сплав	ГОСТ 2685-75	З	Т4	300	8
			З	Т5	340	4
			К	Т4	320	12
ВАЛ10	Высокопрочный сплав	ОСТ 1.90004-79	З, В	Т4	300	10
			К	Т5	440	8
			З, В	Т5	400	7
			К	Т6	500	4
			З, В	Т6	430	4

1 Условные обозначения способов литья: З - литье в землю; К - литье в кокиль; Д - литье под давлением; О - литье в оболочковые формы; В - литье по выплавляемым моделям; М - применяется модифицирование сплава.

2 Условные обозначения видов термообработки: Т1 - старение; Т2 - отжиг; Т4 - закалка; Т5 - закалка и частичное старение; Т6 - закалка и полное старение до наибольшей твердости; Т7 - закалка и смягчающий отпуск.

Механические свойства магнелиевых литейных сплавов

Марка стали	Характеристика сплава	ГОСТ	Способ литья	Термо-обработка	σ_b , МПа	δ , %
МЛ5 и МЛ5 п.ч.	Высокопрочный сплав	2856-68	3	T2	160	5
			3	T4	250	9
			3	T6	250	4
МЛ8	Высокопрочный и жаропрочный сплав	2856-68	3	T4	300	8
			3	T5	340	4
МЛ11	Жаропрочный сплав	2856-68	3	T2	120	1,5

Механические свойства литейных сталей

Марка стали	Характеристика сплава	ОСТ	Способ литья	Термообработка	σ_b , МПа	δ , %
35ХГСЛ	Сталь для фасонных отливок	1 90093-73	Метод точного литья по выглаваемым моделям или в керамические формы по постоянным моделям	Закалка с 880°C в масле, отпуск при 630...670°C	800	12
				Закалка с 880°C в масле, отпуск при 570...630°C	1000	9
				Закалка с 890±10°C в масле, отпуск при 450...500°C	1500	5

Окончание табл. 8

Марка стали	Характеристика сплава	ОСТ	Способ литья	Термообработка	σ_b , МПа	δ , %
ВНЛЗ	Высокопрочная свариваемая сталь	1 90090-73	По выплавляемым моделям и в керамические формы	Гомогенизация при $1110 \pm 10^\circ\text{C}$, охлаждение на воздухе; закалка с $970 \pm 10^\circ\text{C}$ на воздухе; старение при $460 \pm 10^\circ\text{C}$ 1 час, охлаждение на воздухе	1250	12
				Закалка с $890 \pm 10^\circ\text{C}$, отпуск при $540 \dots 560^\circ\text{C}$	900	10
27ХГСНМЛ	Высокопрочная сталь для тонкостенных отливок	1 90093-73	По выплавляемым моделям и в керамические формы	Закалка с $890 \pm 10^\circ\text{C}$ в масле при $300 \pm 20^\circ\text{C}$	1300	8
				Закалка с $890 \pm 10^\circ\text{C}$, отпуск при $200 \dots 240^\circ\text{C}$	1500	7

3. СПОСОБЫ ЛИТЬЯ

В серийном производстве авиационных заводов применяют следующие способы литья:

- литье в песчаные формы;
- литье в кокиль;
- литье в оболочковые формы;
- литье по выплавляемым моделям;
- литье под давлением;
- литье выжиманием;
- литье под низким давлением;
- литье с применением направленно-последовательной кристаллизации;
- литье в керамические формы.

Сравнительная характеристика различных способов литья приведена в табл. 9 и табл. 10.

Выбор способа литья зависит от масштабов производства, габаритных размеров детали, ее конфигурации, требований, предъявляемых к детали в отношении точности, шероховатости поверхности и прочности материала.

Применение точных способов литья требует значительных затрат на изготовление оснастки и должно быть экономически оправдано.

Основной показатель при определении эффективности использования того или иного способа литья - окончательная стоимость готовой детали, включающая стоимость применяемых материалов, механической обработки и стоимость оснастки, приходящейся на одну деталь.

Рекомендации по экономически целесообразному применению различных способов литья в зависимости от габаритных размеров детали, сложности отливки (конфигурации детали) и серийности (индивидуальное, серийное или крупносерийное производство) приведены в табл. 11.

Ниже дана краткая характеристика и особенности способов литья, применяемых на авиационных заводах

3.1. Литье в песчаные формы

Литье в песчаные формы - наиболее универсальный способ изготовления литых деталей. Для этого способа характерна низкая стоимость оснастки и сжатые сроки освоения производства. Особенно целесообразно применение способа литья в песчаные формы для индивидуального и мелкосерийного производства.

Характеристика способов литья

Способ литья	Шероховатость поверхности, мкм	Применяемая оснастка	Стойкость оснастки	Коэффициент использования материала	Характеристика способа литья	
					Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5	6	7
Литье в песчаные формы	40...63	Деревянные и металлические модели и стержневые ящики	Деревянные модели — 600 съёмов, металлические модели — 10000 съёмов	0,7	Возможность изготовления сложных крупно-габаритных деталей; высокая маневренность технологии производства	Низкая точность размеров и высокая шероховатость поверхности
Литье в кокиль	20...40	Металлические формы	Отливки из алюминиевых сплавов — 50000 шт., из магниевых сплавов — 75000 шт., из стали и чугуна — 300 шт	0,72	Возможность получения отливок с плотной структурой металла и повышенными механическими свойствами. Возможность механизации процесса. Экономия производственных площадей и формочных материалов	Ограничение в габаритных размерах и сложность отливки деталей

Продолжение табл. 10

1	2	3	4	5	6	7
Литье по выплавляемым моделям	10...20	Гипсовые и металлические формы	Гипсовые пресс-формы — 30...50 съёмов, пресс-формы из алюминия, свинца, стальных до 5000 съёмов, пресс-формы более 7000 съёмов	0,90	Возможность применения безъёмных моделей и форм для сложных деталей. Получение низкой шероховатости поверхностей и точных размеров, при которых можно свести до минимума механическую обработку деталей	Ограниченные габаритные размеры деталей. Большая прочность. Должительность цикла, невозможность контроля на всех операциях, повышенный брак
Литье в оболочковые формы	20...40	Металлические модели и стержневые ящики	5000 съёмов	0,85	Пониженная шероховатость поверхности и повышенная точность размеров. Экономия производственных площадей и формочных материалов	Ограничения габаритными размерами и сложностью деталей. Дефицитные формочные материалы и их высокая стоимость

Окончание табл. 10

1	2	3	4	5	6	7
Литье под давлением	6,3...10	Металлические пресс-формы	Отливки из алюминиевых сплавов - 3500 шт., из магниевых сплавов - 4500 шт., из медных сплавов - 12000 шт	0,95	Возможность получения тонкостенных деталей сложной конфигурации, почти не требующих механической обработки. Возможность получения готовой резьбы, рельефных надписей, шероховатости поверхности до Ra 0,80 и точных размеров	Ограниченные габаритные размеры деталей. Низкая прочность и плотность материала отливок. Невозможность применения термобработки для улучшения механических свойств ввиду наличия в отливках газовых включений

Целесообразность применения способов литья

Способ	Максимальный габаритный размер детали, мм	Конфигурация детали	Экономическая целесообразность применения способов литья в условиях производства			
			индивидуального	серийного	крупносерийного	
1	2	3	4	5	6	
Литье в песчаные формы	До 100	Простая	+	-	-	
		Средн. сложности	+	-	-	
	Св. 100 до 400	Сложная	+	+	+	
		Простая	+	-	-	
	Св. 400 до 1000	Средн. сложности	+	-	-	
		Сложная	+	+	+	
	Св. 1000 до 3000	Простая	+	+	+	
		Средн. сложности	+	+	+	
			Сложная	+	+	+
			Простая	-	+	+
Литье в кокиль	До 100	Средн. сложности	-	+	+	
		Сложная	-	-	-	
	Св. 100 до 400	Простая	-	+	+	
		Средн. сложности	-	+	+	
	Св. 400 до 1000	Сложная	-	-	-	
		Простая	-	+	+	
		Средн. сложности	-	+	+	
		Сложная	-	+	-	

Продолжение табл. 11

1	2	3	4	5	6
Литье в оболочковые формы	До 100	Простая	-	+	+
		Средн. сложности	-	-	-
	Св. 100 до 400	Сложная	-	-	-
		Простая	-	+	+
		Средн. сложности	-	+	+
		Сложная	-	-	-
Св. 400	Простая	-	+	+	
	Средн. сложности	-	+	+	
Литье по выплавляемым моделям	До 100	Простая	+	+	-
		Средн. сложности	+	+	+
	Св. 100	Сложная	+	+	+
		Простая	+	+	-
		Средн. сложности	+	+	+
		Сложная	+	+	+
Литье под давлением	До 100	Простая	-	+	+
		Средн. сложности	-	+	+
	Св. 100 до 400	Сложная	-	+	+
		Простая	-	+	+
		Средн. сложности	-	+	+
		Сложная	-	+	+
Св. 400	Простая	-	+	+	
	Средн. сложности	-	-	-	
Литье выжиманием	3500 × 1200	Средн. сложности	-	+	+
		Сложная	-	+	+

На изготовление деталей этим способом не влияет сложность конструкции отливаемых деталей, их масса, габариты и применяемые материалы. При крупносерийном производстве применение такого способа нецелесообразно ввиду пониженной производительности труда, недостаточной точности и повышенной шероховатости поверхности отливок.

Способ литья в песчаные формы может быть механизирован применением специальных машин. Однако и в этом случае он уступает по производительности литью в постоянные формы.

Сущность способа литья в песчаные формы состоит в изготовлении разовой литевой формы из песчано-глинистых смесей по деревянной или металлической модели, воспроизводящей внешние очертания отливки с учетом ее усадки при кристаллизации и охлаждении.

Песчаная форма состоит обычно из двух или нескольких съёмов (частей), каждый из которых заключен в опоку. Поверхности сопряжения двух съёмов называются поверхностями разъема.

Литье в песчаные формы обеспечивает:

- точность размеров деталей по классам ЛТ5...ЛТ7 в зависимости от применяемой оснастки, сложности отливки и габаритных размеров детали;
- шероховатость поверхности не менее Ra 12,5;
- использование материала заготовки до 60%;
- толщину необрабатываемых стенок 3...6 мм в зависимости от площади заливаемой сплошной поверхности.

Из-за недостаточной точности размеров деталей, отливаемых в песчаные формы, назначают увеличенные припуски механической обработки. Это приводит к увеличению толщины стенок деталей и повышает количество местных массивов, требующих установки питающих прибылей. В свою очередь, такая особенность конструкции детали ухудшает качество литого материала и увеличивает термические напряжения.

3.2. Литье в кокиль

Литье в кокиль - широко применяемый способ литья в постоянные формы, который характеризуется большой производительностью труда по сравнению с литьем в песчаные формы, снижением себестоимости, повышением точности и качества литья. Детали, отлитые в кокиль, имеют более плотную структуру и повышенные механические свойства.

Литье в кокиль применяют в условиях серийного производства деталей, при котором окупаются предварительные затраты на изготовление металлической литейной оснастки - кокиля.

Этот способ используют для отливки разнообразных деталей из легких сплавов. Применение металлических, песчаных (сырых и сухих) и оболочковых стержней позволяет получать в кокилях сложные тонкостенные отливки. На самолетостроительных заводах в кокиль отливают барабаны колес, реборды, корпуса, кронштейны, качалки, детали трубопроводов, отсеки корпусов и крыльев самолета, детали оперения и др.

Литье в кокиль с применением сухих и сырых песчаных стержней обеспечивает:

- точность размеров по классам Лт4...Лт5 (Лт5 при применении сухих песчаных стержней);
- шероховатость поверхности не ниже Ra 6,3 (при применении сухих песчаных стержней шероховатость не ниже Ra 25);
- коэффициент использования материала заготовки до 65%.

Требования, предъявляемые к конструкции деталей:

1. Деталь может иметь наружную поверхность сложной конфигурации.

2. Внутренняя поверхность детали оформляется стержнем. Если деталь имеет простую конфигурацию, то формирование ее внутренней поверхности выполняют при помощи металлического стержня. При сложной конфигурации внутренних поверхностей оформление их производится песчаными стержнями.

3. Стенки, перпендикулярные плоскости разреза, должны иметь конструктивные уклоны.

4. Расположение массивных участков детали должно учитывать возможность установки питающих прибылей.

5. Высота ребер, расстояние между ними, диаметры отверстий и др. в зависимости от условий формирования ребер (металлической или песчаной частью формы) должны соответствовать величинам, указанным в разд. 4.

3.3. Литье в оболочковые формы

Литье в оболочковые формы - один из прогрессивных способов. Его применяют в самолетостроении в основном для получения крупногабаритных тонкостенных отливок повышенной точности.

Изготовление деталей способом литья в оболочковые формы осуществляют в условиях серийного производства, при котором

окупаются затраты на изготовление точной оснастки и эксплуатацию специальных машин.

Литье в оболочковые формы обеспечивает:

- получение крупногабаритных плоскостных каркасных деталей размером 2500×1500 мм и высотой до 200 мм из магниевых и алюминиевых сплавов;
- изготовление тонкостенных крупногабаритных высоконагруженных деталей из конструкционных легированных сталей размером до 1200×300×100 мм;
- точность размеров детали по классу Лт3 (легкие сплавы) и 4...7-го класса (стали);
- шероховатость поверхности Ra 6,3 и Ra 3,2;
- толщину необрабатываемых стенок 4...5 мм;
- коэффициент использования материала заготовки до 85% (механическая обработка сводится к обработке сопрягаемых поверхностей и сверлению отверстий).

Способ литья в оболочковые формы повышает качество изготовления деталей, снижает трудоемкость операций получения отливки и операций механической обработки. Кроме того, в литейных цехах значительно уменьшаются потери основных материалов при изготовлении деталей, сокращается расход формовочных материалов и повышается культура литейного производства. В механических цехах отпадает необходимость в уникальном оборудовании, сокращается объем механической обработки отливок, уменьшается расход режущего инструмента. При этом способе литья из-за уменьшения толщины необрабатываемых стенок снижается масса деталей.

3.4. Литье по выплавляемым моделям

Этот способ применяют для изготовления сложных деталей из стали и труднообрабатываемых сплавов, требующих длительной и трудоемкой механической обработки. Литье по выплавляемым моделям обеспечивает:

- повышение точности отливок за счет отсутствия разъемов в форме, необходимых для извлечения модели при обычном способе формовки;
- точность размеров отливок из стали по классу Лт3, Лт4 при шероховатости поверхности от Ra 6,3 до Ra 1,6;
- толщину необрабатываемых стенок до 1,5 мм.

Применение отливок, полученных способом литья по выплавляемым моделям, значительно снижает объем механической обработки (до 80...90%) и сокращает расход металла в 1,5...2 раза по сравнению с другими способами изготовления деталей.

Наибольший эффект при литье по выплавляемым моделям достигается в серийном и массовом производстве, так как окупаются затраты на изготовление точной металлической оснастки.

Отливки деталей, изготавливаемых этим способом, могут иметь габариты до 500 мм, а массу от нескольких граммов до 20 кг. Однако следует учитывать, что применение такого способа для получения крупногабаритных деталей большой массы нерационально. Из-за деформации керамической оболочки и усложнения технологического процесса теряются основные преимущества этого способа: повышение точности и качества поверхности отливок.

Требования, предъявляемые к конструкции деталей:

1. Толщина необрабатываемых стенок должна соответствовать величинам, приведенным в разделе 4.

2. Деталь должна быть равностенной. Сопряжения ее плоскостей должны иметь галтели, что обеспечивает минимальные термические напряжения, возникающие в процессе остывания отливки.

3. При проектировании деталей следует избегать глухих отверстий, глубоких карманов и канавок. Наличие глухих полостей в детали затрудняет процесс нанесения покрытия и, в особенности, процесс сушки модельных комплексов. В табл. 12 приведена допустимая глубина глухого отверстия в зависимости от его диаметра.

Таблица 12

Допустимая глубина глухого отверстия

Диаметр отверстия, мм	3...5	5...10	10...20	20...40	40...100	Более 100
Допустимая глубина, мм	До 5	5...15	15...25	20...50	50...100	До 120 и более

4. Тонкие части отливки должны быть связаны ребрами жесткости с ее основной массивной частью.

3.5. Литье под давлением

Литье под давлением деталей из алюминиевых и магниевых сплавов применяют в условиях серийного и крупносерийного производства, при котором оправданы первичные затраты на изготовление оснастки (форм для литья под давлением).

Экономичность литья под давлением обусловлена значительным уменьшением объема механической обработки литых заготовок. Этот способ обеспечивает наибольшую из всех способов литья точность размеров (классы Лт3 и Лт2), а также низкую шероховатость поверхности (не более Ra 3,2). Кроме того, снижается расход металла: коэффициент использования материала достигает 0,7...0,9.

Такой способ отливки обеспечивает получение тонкостенных деталей сложной конфигурации. Обычно средняя толщина стенок равна 2,5...3 мм. В отдельных случаях толщина стенок может быть уменьшена до 0,6...0,8 мм.

Габариты отливаемых деталей определяются мощностью машины для литья под давлением.

Требования, предъявляемые к конструкции деталей:

1. Общая площадь проекции детали на плоскость разъема формы не должна превышать 400 см².

2. Деталь не следует подвергать термообработке.

3. Толщина стенок детали должна быть не менее 2...2,5 мм и не более 7...8 мм.

4. Местные утолщения следует устранять армированием и правильной конструкцией элементов детали. Необходимость этого обусловлена тем, что массивные места детали, отлитой под давлением, всегда имеют усадочные и газовые раковины.

5. Переходы от утолщенных мест к тонким должны быть плавными.

6. Деталь не должна иметь поднутрений, препятствующих свободному извлечению металлических стержней и отливки из формы.

3.6. Литье способом выжимания

Изготовление таких деталей целесообразно в условиях серийного производства, при котором окупаются затраты на изготовление специальной литейной машины и точной металлической литейной оснастки.

Литье способом выжимания обеспечивает:

– изготовление деталей из алюминийкремниевых сплавов марок АЛ2, АЛ4 и др.;

– более высокие механические свойства литого материала;

– получение тонкостенных панелей размерами 2000×1000 мм с толщиной стенок 2 мм;

- получение панелей с переменной толщиной стенок, что снижает их массу;
- точность размеров деталей по классу Лт4;
- отклонение размеров по толщине стенки в пределах $\pm 0,5$ мм;
- отклонения от теоретического обвода поверхности в пределах $\pm 0,5$ мм на длине 200 мм;
- шероховатость поверхности от Ra 12,5 до Ra 6,3;
- коэффициент использования материала литой заготовки достигает 85% (механическая обработка сводится к обработке сопрягаемых поверхностей и сверлению отверстий).

Требования, предъявляемые к конструкции литых панелей:

1. Панели должны иметь одну ребренную поверхность.
2. В конструкции панелей, имеющих сквозные проемы, должна быть предусмотрена механическая обработка проемов по всему контуру.
3. На ребренной поверхности панели не должно быть поднутрений, выступов и других элементов, препятствующих свободной усадке отливки и оформлению этой поверхности.
4. Ребра панели могут быть расположены в любых направлениях.
5. Толщина стенки панели должна быть не менее 2 мм.
6. Толщина ребер должна быть не более толщины сопрягаемых с ними стенок.
7. Радиусы сопряжения стенки панели с другими конструктивными элементами должны быть не более толщины стенки панели.
8. Высота ребер не должна превышать 60 мм.
9. У основания бобышек, диаметр и высота которых более 20 мм, необходимо предусматривать платик (местное утолщение). Его диаметр и толщина соответственно равны удвоенному диаметру бобышки и толщине стенки (рис. 1). (Все рисунки помещены в приложении).
10. Лучевое расположение ребер более технологично, хотя и не имеет существенного значения для литья.
11. Стенки, сопрягаемые с поверхностью панели, должны иметь уклоны не менее $30'$.

Способ литья выжиманием дает возможность отливать монолитные панели, не уступающие по прочности клепаным конструкциям. Кроме того, сокращается расход материала, снижается трудоемкость и стоимость изготовления литой панели.

3.7. Литье под низким давлением

Такой вид литья рекомендуют применять для отливки тонкостенных деталей типа корпусных отсеков и малогабаритных крыльев из алюминиевых и магниевых сплавов.

Преимущества литья под низким давлением следующие: обеспечение толщины стенок от 2 мм и возможность устранения механической обработки обтекаемых (лицевых) поверхностей при получении корпусных отсеков диаметром до 500 мм и длиной до 700...800 мм. То же самое при получении цельнолитых несущих поверхностей с габаритами до 1000...1250 мм.

Требования, предъявляемые к конструкции литых деталей:

1. На наружной поверхности следует избегать глубоких поднутрений, которые затрудняют линейную усадку и приводят к образованию трещин в тонкостенных отливках. При выполнении поднутрений сухими песчаными стержнями значительно возрастает шероховатость поверхности и снижается точность размеров.

2. Толщина местных утолщений (кронштейнов, окантовок и пр.) не должна превышать 2...3 толщин основной стенки.

3. Диаметр цилиндрической бобышки не должен превышать 2...3 диаметров просверливаемого в ней отверстия. Высота бобышки не больше 4...5 толщин прилегающей к ней стенки.

4. Толщина усиливающих элементов в виде кольцевых и продольных ребер не должна быть больше толщины основной стенки.

3.8. Литье способом направленно-последовательной кристаллизации

Этот способ рекомендуют применять в условиях серийного производства, при котором оправданы предварительные затраты на изготовление точной металлической литейной оснастки и эксплуатацию специальной машины. Литье способом направленно-последовательной кристаллизации обеспечивает:

- получение крупногабаритных тонкостенных корпусных деталей из алюминиевых и магниевых сплавов;
- отклонение размеров по толщине стенок в пределах $\pm 0,8$ мм;
- шероховатость поверхности от Ra 12,5 до Ra 6,3;
- коэффициент использования материала до 85% (механическая обработка детали сводится к обработке сопрягаемых поверхностей и сверлению отверстий).

Требования, предъявляемые к конструкции деталей:

1. Конфигурация наружной поверхности должна предусматривать изготовление кокиля без съемных частей и вставок.
2. Конфигурация внутренней полости детали должна обеспечить простоту изготовления стержневых ящиков без съемных частей, оказывающих отрицательное влияние на точность размеров.
3. Конструкция детали должна предусматривать применение минимального количества стержней и съемных частей, отрицательно влияющих на точность размеров заготовки деталей.
4. Конструкция детали должна обеспечивать удобство и минимальную трудоемкость обрезки литниковых колодцев, в которые по трубкам подается металл.

4. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ЛИТОЙ ДЕТАЛИ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

4.1. Общие требования, предъявляемые к литым деталям

После отливки заготовку подвергают механической обработке. Поэтому наряду с требованиями литейной технологии деталь должна отвечать следующим требованиям технологии механической обработки:

1. При выборе сплава учитывают как технические требования к детали, так и его технологические свойства: литейные свойства, обрабатываемость резанием, свариваемость и пр.
2. Литая деталь должна иметь минимальное количество обрабатываемых поверхностей и, следовательно, наименьшую трудоемкость механической обработки.
3. Форма обрабатываемых поверхностей должна обеспечить удобство и возможность применения высокопроизводительных методов механической обработки.

Боковые грани обрабатываемого участка детали рекомендуют располагать перпендикулярно к плоскости обработки так, чтобы контур этого участка (в плане) не изменялся при обработке (рис. 2).

Фланцы бортов и бобышек должны быть толще остальных частей детали (рис. 3).

4. Литая деталь должна по возможности иметь одни и те же базовые поверхности для изготовления модели и для механической обработки. Базовые поверхности рекомендуют располагать так,

– неприменение дополнительных стержней, обеспечивающее удобное извлечение отливки из формы.

5. Точность размеров литой детали повышают:

– обеспечением массивных участков детали дополнительным питанием за счет прибылей;

– расположением детали в одной (нижней) части формы;

– выполнением плоского разъема формы;

– расположением наибольшей поверхности отливки в плоскости разъема формы;

– расположением опорных частей стержней в нижней части формы и обеспечением их достаточной устойчивости;

– обеспечением свободного (удобного) извлечения отливки из формы.

6. Поверхности разъема формы бывают плоскими и фасонными (рис. 4). Наиболее удобным и простым разъемом формы является плоский. Всякое усложнение разъема увеличивает трудоемкость изготовления модельной оснастки и усложняет технологию изготовления отливки.

Песчаная форма может быть изготовлена с несколькими горизонтальными поверхностями разъема, кокиль - с несколькими горизонтальными и вертикальными разъемами. Оболочковые формы обычно имеют одну поверхность разъема, но возможно изготовление и более сложных форм. Форма для литья под давлением имеет одну поверхность разъема. Формы, изготавливаемые по выплавляемым моделям, не имеют разъема.

7. Возможность применения нескольких разъемов различного вида – большое преимущество литейной технологии, позволяющее получать детали со сложными контурами.

4.3. Конструктивные элементы детали, способствующие упрощению литейной формы

Применение стержней (в форме) и отъемных частей модели (или металлической формы) позволяет получать детали со сложными полостями, выступами, расположенными в любом направлении, поднутрениями и т.д.

Всякое усложнение детали, требующее применения дополнительных стержней или отъемных частей, приводит к следующим недостаткам:

- увеличение трудоемкости изготовления литейной оснастки;
- усложнение изготовления и сборки форм;
- увеличение брака из-за неточности размеров и незаливов, связанных со смещением стержней и отъемных частей моделей (или металлических форм).

При конструировании детали предусматривают возможность свободного удаления модели из формы и отливок из металлической формы. Количество стержней для образования литейной формы должно быть минимальным. На рис. 5, а и 6, а показаны литые детали со сферическими бобышками, расположение которых относительно разъема требует применения стержней или отъемных частей. Спрямление бобышек в направлении, перпендикулярном разъему, позволяет упростить литейную форму (рис. 5, б и 6, б).

Для бобышек высотой h (рис. 7) более 3 мм и расстоянием между ними t менее 10 мм рекомендуют объединять их в один прилив.

4.4. Толщина стенок

1. Толщина стенок литой детали должна быть *постоянной* по сечению, чтобы обеспечить равномерность кристаллизации и охлаждения отливки. Если нельзя избежать утолщений, то переходы от тонких стенок к утолщенным местам должны быть плавными. Наличие утолщений вызывает появление в этих местах усадочной рыхлоты.

Постоянная толщина сечений детали имеет важное значение при применении точных методов литья. При литье под давлением невозможно создавать дополнительное питание массивных мест. Кроме того, в утолщенных местах возникают газовые раковины и пористость. При литье по выплавляемым моделям установка прибылей вызывает дополнительную механическую обработку, что снижает эффект применения точного литья. Примеры устранения массивного места детали приведены на рис. 8 и 9.

2. Наилучшими механическими свойствами обладают тонкие стенки. При проектировании литых деталей рекомендуют выбирать наименьшую толщину стенки, обеспечивая требуемую прочность конструкции путем рационального распределения металла по сечению.

Минимальная толщина стенки определяется способом литья (табл. 13 и 14).

3. Кроме того, минимальная толщина стенки зависит от площади заливаемой сплошной поверхности (табл. 15) и конструктивных особенностей детали:

- максимальных габаритных размеров;
- максимальной высоты вертикальных стенок.

4. В деталях с большими поверхностями предусматривают отверстия и ребра, обеспечивающие заполняемость тонких стенок жидким сплавом.

4.5. Размеры отверстий в литых заготовках

Отверстия в литых заготовках выполняют в следующих случаях:

- при невозможности их получения другим способом;
- для уменьшения объема механической обработки;
- для рассредоточения узлов скопления металла и облегчения отливки (рис. 11).

Желательно обеспечить перпендикулярность осей отверстий детали к плоскости разъема. Минимальные размеры отверстий, получаемых при различных способах литья, приведены в табл. 16.

Необрабатываемые отверстия иногда усиливают бортиками (рис. 13). Боковые стенки с отверстиями выполняют с достаточной конусностью, чтобы эти отверстия получать без применения дополнительных стержней (рис. 14).

Отверстия, расположенные под углом к поверхности и подлежащие механической обработке, снабжают фланцами, платиками или бобышками (рис. 15).

Отверстия и внутренние полости, выполняемые металлическими стержнями, не должны иметь закруглений, получение которых возможно лишь отъемными частями или с помощью специальных приспособлений (рис. 16).

4.6. Ребра жесткости

При конструировании литых деталей предусматривают ребра жесткости, которые в большинстве случаев позволяют уменьшить сечения отдельных элементов детали при сохранении необходимой прочности. При этом снижаются внутренние напряжения в местах сопряжения стенок детали, а также предотвращаются коробление, образование трещин, усадочных трещин и рыхлот, ослабляющих отливку.

На рис. 10 приведены примеры правильного конструирования литых деталей с использованием ребер жесткости.

Минимальная толщина стенки, мм

Площадь заливаемой сплошной поверхности, см ²	Литье в песчаные формы			Литье в кокиль			Литье по выплавляемым моделям
	Силумины	МЛ5 АЛ18 АЛ19	Чугун	Силумины	МЛ5 АЛ18 АЛ19	Чугун	
До 25	2	3	2	2,0	3,0	2,5	Сталь 1,5
25...100	2,5	3,5	2,5	2,5	3,0	3,0	2,0
100...225	3	4	3	3	4,0	3,5	2,5
225...400	3,5	4,5	4	4	5,0	4	3
400...1000	4	5	5	4	6,0	4,5	
1000...1600	5	6	6				
Свыше 1600	6	7	7				

Минимальная толщина стенки, мм

Площадь заливаемой сплошной поверхности, см ²	Литье в оболочковые формы				Литье под давлением				
	Алюмин. и магниевые сплавы	Медные сплавы	Чугун	Сталь	Оловянно-свинцовые сплавы	Цинковые сплавы	Магние-вые сплавы	Алюми-ниевые сплавы	Медные сплавы
До 25	2	2	2	2	2,0	3,0	2,5	1,5	1,5
25...100	2	2	2	2	2,5	3,0	3,0	2,0	2,0
100...225	2,5	3,0	2,5	3	3	4,0	3,5	2,5	2,5
225...400	3,0	3,5	3	4	4	5,0	4	3	3
400...1000	4	4	4	5	4	6,0	4,5		
1000...1600	4	4	4	6					
Свыше 1600									

Таблица 15
Минимальное значение толщины стенки отливок из алюминиевых и магниевых сплавов при литье в песчаные формы и кокиль

Максимальная горизонтальная площадь заливаемой сплошной поверхности, см ²	Максимальный габаритный размер детали, мм	Максимальная высота вертикальных стенок, расположенных выше основания прибылей, мм	Минимальная заливаемая толщина стешки, мм
25	До 100	15	3
225	100...400	25	4
400	400...1000	40	5
1000	1000...1600	100	6
1600	Свыше 1600	150	7

Таблица 16
Минимальные размеры отверстий

Способ литья	Сплавы	Минимальный диаметр отверстия (или наименьший размер), мм	Глубина отверстия, выраженная в диаметрах	
			Несквозного	сквозного
Литье в песчаные и оболочковые формы	Все	8...10	5	10
			5	10
Литье в кокиль	Цветные	1	5	12
			3	10
	Цинковые	2,5	3	5
			3	4
	Магниевого	2,5	3	5
3			4	
Алюминиевые	5,0	3	4	
		3	4	
Литье под давлением	* Цветные	2,0	1	2
			2	2
Литье по выплавляемым моделям	Черные	2,5	1	2
			2	2

4.7. Расстояние между стенками (или ребрами)

Расстояние между стенками или ребрами детали и их высоту определяют по табл. 17.

4.8. Литейные уклоны

Литейные уклоны применяют для облегчения удаления моделей из формы, стержней из стержневых ящиков, отливок из металлических форм, металлических стержней из отливок и восковых моделей. В литейном производстве возможно использование трех типов уклонов (рис. 12).

При определении толщины необрабатываемых стенок и ребер учитывают их утолщение из-за уклонов. Детали с литейными уклонами имеют неравномерное сечение стенок. Вследствие этого увеличивается масса отливки и в местах сопряжения стенок образуются массивы, требующие дополнительного питания жидким сплавом.

Выбор величины литейных уклонов осуществляют по табл. 18.

4.9. Радиусы закруглений в местах сопряжения стенок

Закругления углов применяют в отливках для предупреждения образования дефектов и для облегчения изготовления форм. Нормальный ряд значений внешних и внутренних радиусов закругления в местах сопряжения стенок приведен в табл. 19.

Минимальный радиус закругления при сопряжении стенок, отливаемых под давлением, равен 0,3 мм, по выплавляемым моделям – 0,25 мм, литьем в песчаные, оболочковые формы и кокиль – 3 мм.

Наличие в деталях резких переходов вызывает появление в этих местах трещин, а также ухудшает условия заполнения формы жидким сплавом. Применение больших радиусов сопряжения элементов детали приводит к образованию массивов с усадочными дефектами.

При выборе радиуса сопряжения r стенок или ребер (рис. 17) используют правило вписанных окружностей: отношение D/d должно быть менее 1,3.

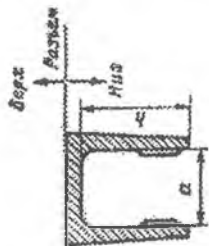
Величина радиуса сопряжения r составляет 0,2...0,3 от суммы толщин $(a+b)$ сопрягаемых стенок (рис. 18).

При сопряжении стенок или ребер толщиной до 6 мм с массивными частями радиус r равен толщине a тонкой стенки (рис. 19).

На рис. 20 приведены примеры правильного и неправильного сопряжения в литых деталях.

Расстояние между стенками или ребрами детали

Способ литья	Минимальное расстояние между стенками (или ребрами), мм	Соотношение между высотой ребер (или стенок) и расстоянием между ними	
		Стенки, расположенные в верхней части формы	Стенки, расположенные в нижней части формы
Литье в песчаные формы без стержней	10	1:2	1:1
Литье в песчаные формы со стержнями и оболочковые формы	8		10:1
Литье в кокиль	4		6:1
Литье под давлением	4		5:1
Литье по выплавляемым моделям	3 - для цветных сплавов 4 - для стали		4:1



Литейные уклоны

Способ литья	Минимальные литейные уклоны		Оптимальные литейные уклоны	
	Внутренние поверхности	Внешние поверхности	Внутренние поверхности	Внешние поверхности
Литье в песчаные формы	1°	0°30'	1°30'	1°
Литье в оболочковые формы	0°20'	0°20'	0°30'	0°30'
Литье в кокиль	1°	0°30'	1°30'	1°
Литье по выплавляемым моделям			0°20'	0°15'

Радиусы закругления

Радиусы закругления, мм												
0,25	0,5	1	2	3	5	8	10	15	20	25	30	40

5. ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

5.1. Назначение класса точности литых деталей

1. Точность размеров литых деталей зависит от способа литья, габаритных размеров и сложности детали (табл. 20 и табл. 21).

2. Класс точности детали назначают на основе требований, предъявляемых к ней, с учетом возможности изготовления и экономической целесообразности.

3. Точность литой детали назначают по одному классу, соответствующему точности большинства размеров, и указывают на поле чертежа в технических требованиях. Например:

– для алюминиевых сплавов: “Предельные отклонения размеров отливки по ОСТ 1.41154-72. Класс точности Лт...”;

– для стали: “Предельные отклонения размеров отливки по ГОСТ 6645-85. Класс точности Лт...”.

4. В случае необходимости указывают числовые значения допусков на отдельные размеры детали. Эти значения приведены:

– для алюминиевых, магниевых и титановых сплавов в ОСТ 1.41154-72;

– для стали в ГОСТ 6645-85.

5.2. Возможности повышения точности отдельных размеров литых деталей

1. Отклонения размеров литой детали зависят от погрешностей последовательных стадий ее получения (изготовления модели, формы, стержней, сборки формы, кристаллизации и остывания отливки, сопровождаемых усадкой, механической обработки).

2. Наибольшие по абсолютной величине отклонения размеров имеют место при формовке, сборке формы, особенно при применении отъемных частей моделей (или металлической формы) и стержней. Большая потеря точности размеров при этих операциях - причина недопустимого по условиям прочности утонения стенок, незаливов стенок, неспаев, рыхлот.

3. В зависимости от технологии изготовления детали и условий формирования отдельных размеров их условно разделяют на *технологически устойчивые* и *технологически неустойчивые* размеры.

К технологически устойчивым размерам относят размеры, на формирование которых не оказывают влияние разъем формы, стержни

Класс точности литых деталей

Способ литья	Габаритные размеры детали, мм	Класс точности	ОСТ
Литье в песчаные формы	До 250	1...2	ОСТ 1.41154-72
	Св. 250	2	ОСТ 1.41154-72
Литье в оболочковые формы			
Литье в кокиль			
Литье по выплавляемым моделям		1	ОСТ 1.41154-72

имеет недостаточную точность размеров. Поэтому окончательно деталь получают с помощью дополнительных операций механической обработки. Припуски на нее увеличивают толщину стенок отливок и повышают количество местных массивов, требующих установки питающих прибылей. Все это ухудшает качество детали и увеличивает внутренние напряжения.

Требования, предъявляемые к конструкции пространственных крупногабаритных каркасных деталей:

1. В конструкции детали предусматривают минимальное количество разъемов. Для получения более точных размеров разъемы, по возможности, должны быть прямолинейными, требующими наименьшего количества стержней.

2. Детали должны быть равностенными при толщине необрабатываемых стенок 4...6 мм.

3. На все нерабочие и несопрягаемые размеры следует задавать меньшую точность, чем это предусмотрено:

— для алюминиевых, магниевых и титановых сплавов в ОСТ 1.41154-72;

— для стали в ГОСТ 6645-85.

4. При указании размеров необходимо увязывать базы для механической обработки с литейными базами. Разъемы формы и стержни не должны влиять на формирование базовых поверхностей.

5. Расположение массивных мест должно предусматривать возможность установки питающих прибылей.

6. Форма детали должна быть замкнутой. Между ее элементами предусматривают плавные переходы, которые снижают температурные напряжения, возникающие при остывании отливки, и следовательно, уменьшают коробление заготовки детали.

6.1.2. Плоские крупногабаритные каркасные детали

Плоские крупногабаритные каркасные детали размером до 2000 мм в двух направлениях измерения выполняют из магниевых и алюминиевых сплавов способом литья в песчаные и оболочковые формы.

Литье в оболочковые формы - производительный и экономичный способ изготовления плоских крупногабаритных каркасных деталей. Для него характерно уменьшение механической обработки, повышение точности размеров и уменьшение шероховатости поверхности.

Однако этот способ литья деталей целесообразно применять в условиях серийного производства, при котором окупаются затраты

на изготовление и эксплуатацию точной металлической оснастки и специального оборудования.

Требования, предъявляемые к конструкции плоских крупногабаритных каркасных деталей:

1. Толщина необрабатываемых стенок не должна быть меньше величины, приведенной в табл. 13 и табл. 14.

2. Деталь должна иметь минимальное количество поднутрений, полостей и отростков, которые получают с помощью стержней, снижающих точность размеров и усложняющих технологию изготовления деталей.

3. В детали не должно быть местных утолщений, требующих установки прирублей и холодильников. Такие технологические приемы трудно осуществимы (питание отливки в большинстве случаев предусматривается от литниковой системы).

4. При указании размеров необходимо увязывать базы для механической обработки с литейными базами. При этом на формирование базовых поверхностей не должны влиять разъемы формы и стержней.

5. В конструкции детали должен быть предусмотрен плоский разъем модели.

6. Форма детали должна быть замкнутой. Между ее элементами предусматривают плавные переходы, которые снижают температурные напряжения, возникающие при остывании отливки, и, следовательно, уменьшают коробление заготовки детали.

6.2. Корпусные детали

К таким деталям относят стойки шасси, кронштейны, коробки, чаши сидений и т.д. Выбор способа литья зависит от назначения детали, ее габаритов и предъявляемых требований.

Крупногабаритные корпусные детали (максимальный габаритный размер 500 мм) изготавливают литьем в песчаные формы, литьем под низким давлением и способом направленно-последовательной кристаллизации.

При разработке конструкции этих деталей учитывают следующие требования:

- толщина стенок различных сечений детали должна быть, по возможности, постоянной, чтобы избежать скопления металла и обеспечить равномерность кристаллизации и охлаждения отливки;
- при наличии узлов скопления металла конструкция детали должна позволять установку в этих местах питающих прирублей;

- на наружной поверхности детали не рекомендуется предусматривать поднутрения и выступы, формирование которых требует стержней и отъемных частей;
- в стенках большой протяженности рекомендуется предусматривать окна и отверстия.

Конструкция корпусной детали должна обеспечивать хорошее питание всех частей отливки и минимальные внутренние напряжения. Это достигается:

- постоянной толщиной стенок отливки;
- плавными переходами одних сечений в другие;
- возможностью применения питающих прибылей;
- минимальным количеством выступающих частей отливки, препятствующих свободной усадке.

6.3. Панельные детали

Панели и части крыла, оперения, фюзеляжа, имеющие большую поверхность малой кривизны и тонкие ребренные стенки, изготавливают из литых монолитных конструкций.

В зависимости от габаритных размеров панельных деталей применяют следующие способы литья:

- литье в песчаные формы;
- литье под давлением;
- литье способом направленно-последовательной кристаллизации;
- литьем выжиманием.

При назначении способа литья панельных деталей учитывают следующее:

- литье в песчаные формы не требует специального оборудования, но дает низкую точность размеров и повышенную шероховатость поверхности отливки;
- литье под давлением обеспечивает точность размеров и низкую шероховатость поверхности, но габариты детали ограничены возможностями оборудования;
- способом направленно-последовательной кристаллизации получают отливки средней точности. Его рекомендуют для панельных деталей, требующих применения внутренних стержней;
- литье выжиманием обеспечивает получение крупногабаритных тонкостенных деталей с большой точностью и низкой шероховатостью поверхности.

– термическое усталостное растрескивание и т.д.

Все эти явления необходимо учитывать при выборе сплава для детали, работающей при повышенных температурах. Критерий выбора материала - отсутствие в нем структурных превращений при повышенных температурах, которые могут привести к изменению свойств или размеров детали при эксплуатации.

7.3. Работа литых деталей при низких температурах

При низких температурах повышаются практически все механические характеристики материала литой детали: модуль упругости, предел текучести, предел прочности, сопротивление усталости и твердость.

7.4. Работа литых деталей в условиях, вызывающих коррозию

Коррозия литой детали уменьшает ее прочность. Различают поверхностную коррозию, межкристаллитную коррозию и особые виды коррозии.

Под *поверхностной* коррозией подразумевают более или менее равномерное разрушение поверхности детали, которое приводит к повышенной шероховатости и концентрации напряжений.

Межкристаллитная коррозия приводит к разрушению детали по границам зерен. Разрушения подобного рода наблюдаются чаще у деталей из деформированного материала и почти не встречаются у литых деталей, соприкасающихся с жидкими коррозионными средами. Чаще коррозия появляется в поднутрениях и углублениях детали из-за скапливания в них коррозионной жидкости.

Коррозионная стойкость отливки повышается:

- при беспрепятственном стекании жидкости с ее поверхности;
- при применении конструкции, уменьшающей образование пористости усадочного происхождения;
- поверхностной обработкой;
- нанесением защитного покрытия [10].

7.5. Виды дефектов и методы их контроля

Классификация дефектов отливок и методы их контроля приведены в табл. 22.

Виды дефектов отливок и методы их контроля

Группа дефектов	Подгруппа дефектов	Вид дефекта	Метод контроля		
Внешние дефекты	Несоответствие размеров и конфигурации отливок чертежам	Отклонение размеров отливок	Внешний осмотр		
		Коробление	Проверка измерительным инструментом		
Внешние дефекты	Несоответствие размеров и конфигурации отливок чертежам	Перекоп и разностенность	Контроль проверочным инструментом		
		Неспай			
		Залеск	Разметка		
		Подтек			
		Уход металла	Внешний осмотр		
		Недолив			
		Механические повреждения			
		Объемные дефекты	Неудовлетворительное качество поверхности	Повышенная шероховатость	Проверка измерительным инструментом
				Загар	
				Окисная пленка	Остуживание
Заворот					
Ужимины	Рентгенопросвечивание				
Вскип					
Утяжины					
Объемные дефекты	Трещины			Холодные	Внешний осмотр
				Горячие	
Объемные дефекты	Трещины			Магнитный	Рентгенопросвечивание
		Люминесцентный	Люминесцентный		

Группа дефектов	Подгруппа дефектов	Вид дефекта	Метод контроля
Объемные дефекты	Раковины	Усадочные	Внешний осмотр Рентгенопроецирование Излом детали Ультразвук Гамма-дефектоскопия
		Газовые Песчаные (засор) Шлаковые Флюсовые Рыхлоты и пористость	
Дефекты состава и структуры	Несоответствие химического состава заданному		Спектральный анализ Химический анализ
		Несоответствие зерна Несоответствие микроструктуры Ликвация Неметаллические включения	Исследование микро- и макроструктуры
Неудовлетворительные механические свойства	Несоответствие заданным механическим свойствам		Испытание механических свойств на отдельно отлитых, прилитых или вырезанных из отливок образцах

Контроль литых деталей проводят измерительным инструментом (рулетками, линейками, штангенциркулями, индикаторами часового типа и др.), проверочным инструментом (скобами, пробками, щупами и др.), рентгенопросвечиванием, магнитным методом (магнитными дефектоскопами), люминесцентным методом, ультразвуком, гамма дефектоскопией, спектральным анализом, исследованием микро- и макроструктуры (микроскопами).

Контроль механических свойств отливки проводят на образце, вырезанном из специально предусмотренного прилива. Если образцы для испытаний не могут быть вырезаны из отливки (малые размеры или недостаточная толщина стенки), то ее механические свойства контролируют на отдельно отлитых образцах.

7.5.1. Рентгеновский контроль

Способ просвечивания изделий рентгеновскими лучами широко применяют в технике. Он позволяет обнаруживать внутренние пороки в детали без ее разрушения.

Внутренние дефекты в отливках выявляют из-за неодинаковой поглощаемости рентгеновских лучей различными средами. При просвечивании детали на экране или на пленке-рентгенограмме появляются пятна в месте расположения дефекта.

7.5.2. Ультразвуковой метод

Этот метод обнаружения внутренних дефектов детали базируется на свойстве ультразвука отражаться от их поверхностей. При использовании такого метода вибратор периодически посылает ультразвуковые колебания в толщу металла. Дойдя до противоположной поверхности изделия, ультразвуковые колебания отражаются от нее и улавливаются специальным искателем. Если в толще металла имеется дефект, то отраженные от него ультразвуковые колебания попадают в искатель раньше ультразвуковых колебаний, отраженных от противоположной поверхности изделия. О наличии дефекта в детали судят по появлению соответствующего сигнала на экране осциллографа.

7.5.3. Магнитная дефектоскопия

Применение магнитного метода контроля изделий основано на обнаружении местных магнитных потоков рассеяния около дефектов.

Эффективность этого метода зависит от ориентации магнитного потока относительно дефекта. При их перпендикулярности магнитный метод контроля четко выявляет дефект. В противном случае, т.е. при

параллельности магнитного потока дефекту, этот метод не позволяет обнаружить дефект металла.

Контроль детали осуществляют погружением ее в суспензию с магнитным порошком. Данный метод хорошо выявляет трещины, выходящие на поверхность, и, как правило, не выявляет газовые поры и шлаковые включения.

7.5.4. Люминесцентная дефектоскопия

Люминесцентный метод - облучение ультрафиолетовыми лучами деталей, предварительно погруженных в раствор минерального масла. Раствор проникает в трещины, раковины и поры детали. Под действием ультрафиолетовых лучей он ярко флюоресцирует (светится), что позволяет быстро обнаруживать поверхностные дефекты.

Этот метод применяют для контроля плохо намагничиваемых деталей, а также деталей с черной и грубой поверхностью. Люминесцентным методом выявляют трещины толщиной менее 5 мкм.

7.5.5. Гамма-дефектоскопия

Физическая основа этого метода - ослабление интенсивности γ -лучей при прохождении их через вещество.

Широкое распространение в промышленной дефектоскопии получил фотографический способ регистрации γ -лучей при помощи рентгеновской пленки.

Чувствительность к выявлению дефекта уменьшается при увеличении толщины изделия. Недостатком этого метода является небольшая скорость определения дефектов.

7.5.6. Спектральный анализ

Метод спектрального анализа позволяет определить с достаточной точностью наличие в сплавах различных химических элементов и их процентное содержание без разрушения детали.

Он основан на анализе светового спектра электрической дуги или искры, возбуждаемой между испытуемой металлической деталью и медным дисковым разрядником. Особенности светового спектра позволяют выявить присутствие того или иного химического элемента.

7.6. Группы контроля качества литых заготовок

В целях наиболее тщательного контроля ответственных литых деталей рекомендуют указывать в рабочих чертежах группу контроля детали.

Отливки из алюминиевых, магниевых, титановых сплавов и сталей согласно ОСТ 1 90074-72 разделяют на четыре группы контроля, из которых применяют только группы 2 (основное применение) и 2а (ограниченное применение). Группа 2 предусматривает контроль механических свойств отдельно отлитых образцов данной плавки, а также контроль деталей на внутренни (рентгеноконтроль) и внешние (люминесцентный контроль) дефекты. Для ответственных деталей применяют группу 2а, которая предусматривает только контроль механических свойств по результатам испытаний отдельно отлитых образцов плавки и контроль на внешние дефекты.

8. ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

1. Кроме общих требований к рабочим чертежам, предусмотренных ЕСКД, в чертежах литых деталей необходимо указывать следующие технические требования:

- группу контроля детали;
- метод и места контроля качества детали;
- места вырезания образцов для механических испытаний;
- литейные уклоны;

– точность размеров детали. Если все размеры отливки можно выполнить по одному классу точности, то в технических требованиях указывают класс точности, назначаемый на основе требований к конструкции и возможностей способа получения отливки. Если отдельные размеры литой детали должны быть выполнены с повышенной точностью, то на эти размеры указывают величины допустимых отклонений;

- величину внешних (технологических) радиусов закругления.

Соответствующие формулировки технических требований приведены в [5].

2. Технологические приливы, необходимые для дальнейшей механической обработки (для зажима в патроне, центрах и т.п.), показывают в чертеже штрих-пунктиром.

3. В чертеже литой детали указывают размеры, не ссылаясь на шаблоны с плаза, так как модельщики вследствие линейной усадки металла изготавливают свои собственные шаблоны.

Пример оформления чертежа литой детали приведен на рис. 21.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проектирование конструкций самолетов/Е.С. Войт, А.И. Ендогур, З.А. Мелик-Саркисян, И.М. Алявдин. - М.: Машиностроение, 1987. - 416 с.
2. Житомирский Г.И. Конструкция самолетов. - М.: Машиностроение, 1991. - 400 с.
3. Белянин П.Н. Производство широкофюзеляжных самолетов. - М.: Машиностроение, 1979. - 360 с.
4. Рекомендации по технологичности самолетных конструкций. Кн. 1. Ч. 2. - М.: Оборонгиз, 1963. - 499 с.
5. Майнсков В.Н. Технические требования на чертежах: Метод. указания /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1982. - 32 с.
6. Майнсков В.Н. Основы конструирования в самолетостроении: Метод. указания /Самар. гос. аэрокосм. ин-т. Самара, 1992. - 56 с.
7. Резниченко Г.А. Проектирование детали летательного аппарата: Метод. указания /Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1994. - 40 с.
8. Резниченко Г.А. Система обозначения чертежей в самолетостроении: Учеб. пособие /Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1993. - 13 с.
9. ГОСТ 316-68. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц. М.: Машиностроение, 1968. - 6 с.
10. Производственная инструкция ПИ-3602. Защитные покрытия изделий. М.: Изд-во Минавиапром СССР, 1979. - 55 с.
11. Александров В.Г., Базанов Б.И. Справочник по авиационным материалам и технологии их применения. - М.: Транспорт, 1979. - 263 с.
12. Авиационные материалы. Т. 1. Конструкционные стали. - М.: ОНТИ ВИАМ, 1973. - 585 с.
13. Авиационные материалы. Т. 2. Коррозионные и жаростойкие стали и сплавы. - М.: ОНТИ ВИАМ, 1975. - 371 с.
14. Авиационные материалы. Т. 4. Алюминиевые и бериллиевые сплавы. Ч. 1. Деформируемые алюминиевые сплавы и сплавы на основе бериллия. Кн. 1. - М.: ОНТИ ВИАМ, 1982. - 687 с.
15. Авиационные материалы. Т. 4. Алюминиевые и бериллиевые сплавы. Ч. 1. Деформируемые алюминиевые сплавы и сплавы на основе бериллия. Кн. 2. - М.: ОНТИ ВИАМ, 1983. - 520 с.
16. Авиационные материалы. Т. 4. Алюминиевые и бериллиевые сплавы. Ч. 2. Литейные алюминиевые сплавы. - М.: ОНТИ ВИАМ, 1986. - 132 с.
17. Авиационные материалы. Т. 5. Магниево-титановые сплавы. - М.: ОНТИ ВИАМ, 1973. - 585 с.
18. ОСТ 1.41154-72. Отливки из сплавов на основе алюминия, магния, меди, свинца, цинка и титана. Допуски на размеры и припуски на механическую обработку.
19. ГОСТ 6645-85. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку.

Неправильно Правильно

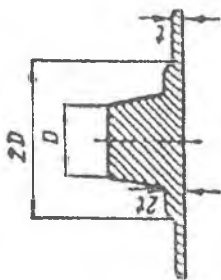
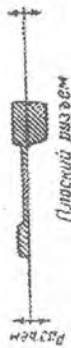
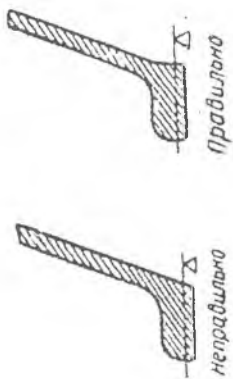


Рис. 3



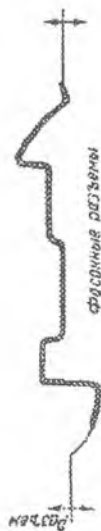
Плоский разъем

Рис. 1



Правильно

Неправильно



Фасонный разъем

Рис. 2

Рис. 4. Виды разъемов

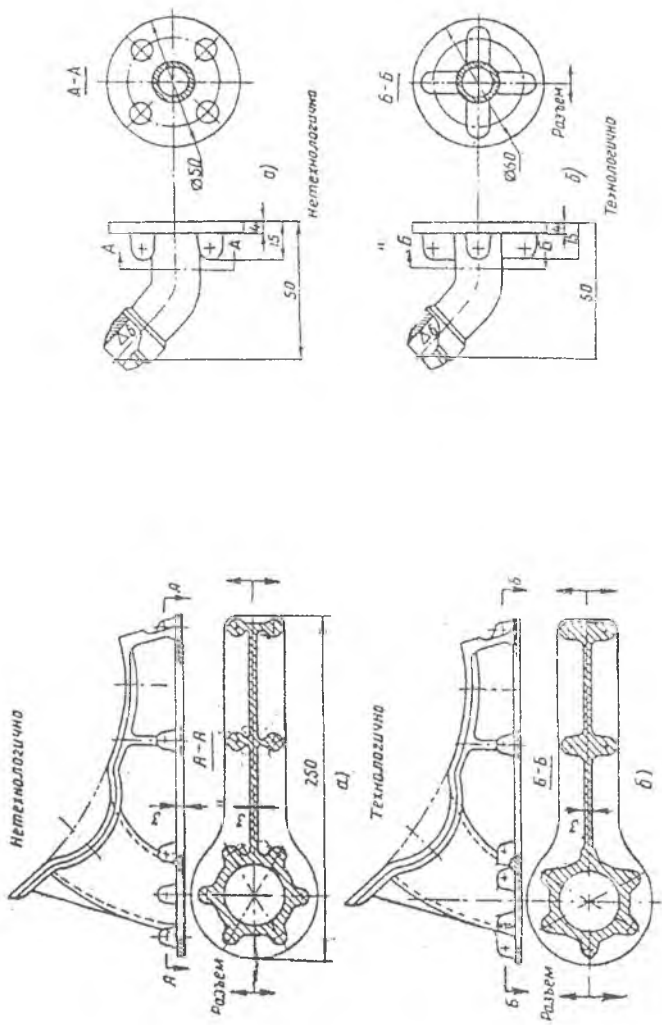


Рис. 6.

Рис. 5

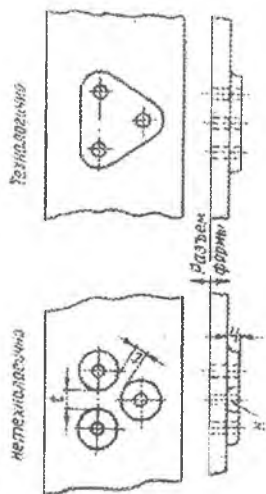


Рис. 7 - Объединение бобышек в один прилив

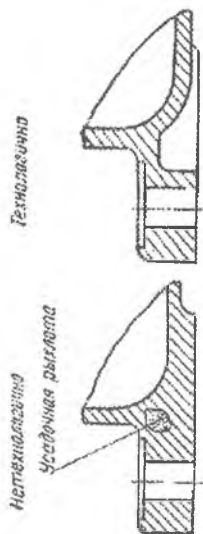


Рис. 9

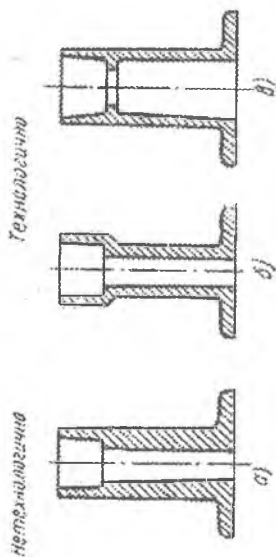


Рис. 8

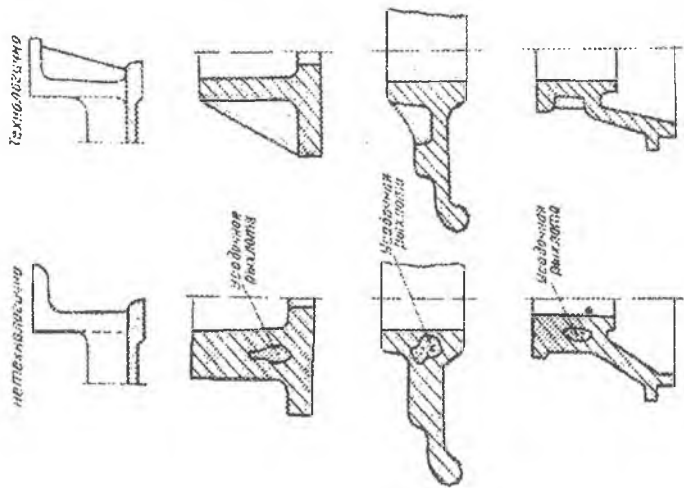


Рис. 10

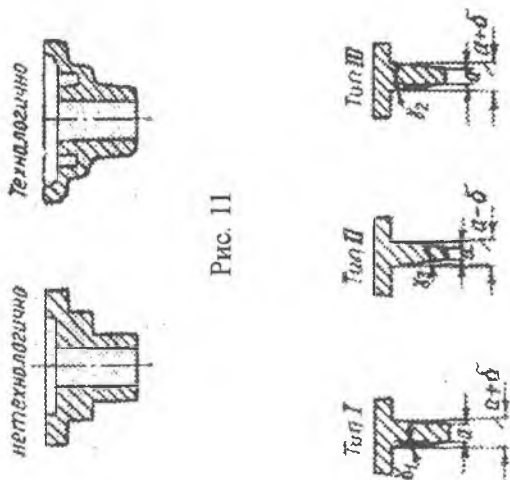
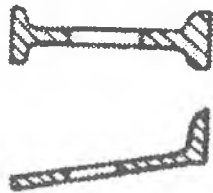


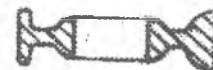
Рис. 11

Рис. 12. Типы применяемых литевых уклонов:
 Тип I - уклон за счет утолщения стенки,
 тип II - уклон за счет утонения стенки,
 тип III - уклон за счет деления поля допуска
 (δ - отклонение размера, γ - угол наклона)

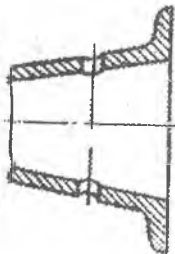
Неправильно



Правильно



Нетехнологично



Технологично

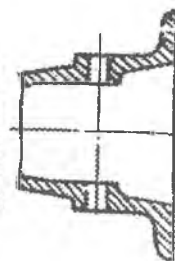
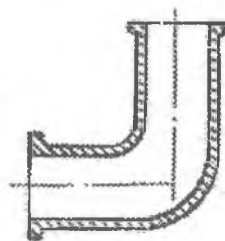


Рис. 15

Рис. 13

Неправильно



Правильно

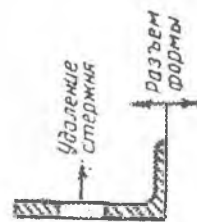
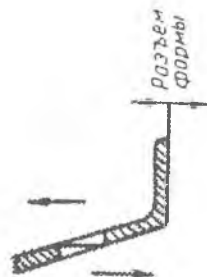
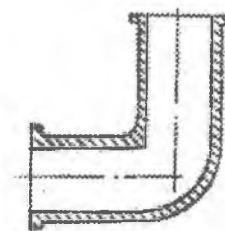


Рис 14

Рис. 16

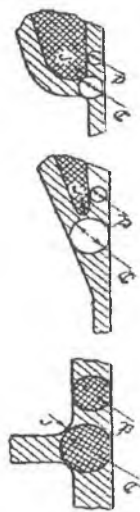


Рис. 17. Соотношение толщин сопрягаемых стенок



Неправильно Правильно неправильно Правильно

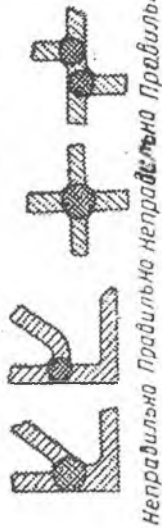


Рис. 18. Величина радиуса закругления



Правильно

Неправильно



Неправильно Правильно неправильно Правильно

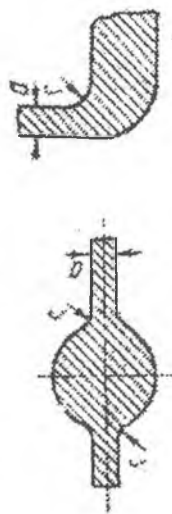


Рис. 19. Сопряжение ребер с массивными частями

Рис. 20. Виды сопряжений в литых деталях

Учебное издание

В л а с о в *Николай Васильевич*
М а й н с к о в *Владимир Николаевич*

**КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК**

Учебное пособие

Редактор Л. Я. Ч е г о д а е в а

Компьютерная верстка Т. Е. П о л о в н е в а

Лицензия ЛР № 020301 от 30.12.96 г.

Подписано в печать 21.01.2002 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 3,72. Усл. кр.-отг. 3,84. Уч.-издл. 4,00.

Тираж 300 экз. Заказ № . Арт. С - 6/2002.

Самарский государственный аэрокосмический
университет им. академика С. П. Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

РИО Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443001 Самара, ул. Молодогвардейская, 151.