

**С.С. Клименков
В.В. Савицкий**

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ЗАГОТОВОК

курс лекций

**Витебск
ВГТУ
2009**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования "Витебский государственный технологический университет"

С.С. Клименков, В.В. Савицкий

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ЗАГОТОВОК

Курс лекций по дисциплине

«Основы технологии формообразования заготовок изделий»

для студентов специальности 1–36 01 04 «Оборудование и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов» высших учебных заведений

**Витебск
2009**

УДК 621.9 (075)
ББК 34.63
К49

Рецензент:

Алексеев И.С., кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технологии высокоэффективных процессов обработки», УО «ВГТУ»»

Рекомендовано в качестве пособия редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 1 от 12 февраля 2009 г.

Клименков С.С., Савицкий В.В.

К49 Технологичность заготовок : курс лекций / С. С. Клименков, В. В. Савицкий. – Витебск : УО"ВГТУ", 2009. – 80 с.

ISBN 978- 985-481-133-8

Рассматриваются требования, предъявляемые к конструкции деталей для обеспечения их технологичности при изготовлении различными методами. Описаны методы получения заготовок, получившие наибольшее распространение: холодная листовая штамповка, литье в песчаные формы, в кокиль, по выплавляемым моделям, под давлением, методы получения изделий из порошков, из пластмасс литьем под давлением.

Курс лекций составлен для изучения дисциплины «Основы технологии формообразования заготовок изделий» для студентов специальности 1 - 36 01 04 «Оборудование и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов».

Для студентов высших учебных заведений.

УДК 621.9 (075)
ББК 34.63

ISBN 978- 985-481-133-8

© Клименков С.С., Савицкий В.В., 2009 г.
© Издательство УО «ВГТУ», 2009

СОДЕРЖАНИЕ

1 ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ЛИСТОВЫХ ШТАМПОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ...	4
2 ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ОТЛИВОК.....	14
2.1 Литье в песчаные формы.....	15
2.2 Технологичность отливок, полученных литьем под давлением.....	36
2.3 Литье в металлические формы (в кокили).....	43
2.4 Литье по выплавляемым моделям.....	46
1.5 Литье в оболочковые формы.....	55
3 ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ЗАГОТОВОК ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИА-	
ЛОВ.....	58
4 ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ЗАГОТОВОК ИЗ ПЛАСТМАСС.....	67
ЛИТЕРАТУРА.....	79

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ЛИСТОВЫХ ШТАМПОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Технологические процессы получения деталей методами холодной листовой штамповки могут быть наиболее рациональными при условии создания такой конструкции детали, которая обеспечивает ее наиболее простое изготовление при условии соблюдения технических и эксплуатационных требований.

К техническим требованиям относятся:

- полное соответствие конструкции назначению и условиям эксплуатации детали;
- обеспечение требуемой прочности и жесткости при минимальном расходе металла;
- обеспечение требуемой точности;
- соответствие физическим, химическим, техническим и иным условиям.

Основными показателями технологичности листовых штампованных деталей являются:

- минимальный расход металла;
- минимальное количество и трудоемкость операций;
- минимум последующей механической обработки;
- наименьшее количество потребного технологического оборудования и производственных площадей для организации производства изделий;
- минимальное количество оснастки, минимальные затраты и сроки подготовки производства;
- увеличение производительности отдельных операций.

Интегральным показателем технологичности является наименьшая себестоимость штампуемых деталей.

Технологичность определяется серийностью производства, поскольку от нее зависят статьи затрат, включаемые в себестоимость. Поэтому технологичная конструкция для условий мелкосерийного производства может оказаться нетехнологичной при массовом выпуске изделий и наоборот.

Общие технологические требования к конструкции деталей:

- механические свойства листового материала должны соответствовать кроме прочих процессу формоизменения и характеру пластических деформаций;
- для формоизменения можно использовать более пластичные материалы, которые в процессе штамповки испытывают наклеп, который значительно увеличивает прочность материала;
- при расчете на прочность не следует увеличивать толщину листового материала, поскольку в процессе деформации происходит упрочнение материала;
- следует стремиться к созданию облегченных конструкций деталей, применяя для увеличения их жесткости в конструкции ребра жесткости, отбортовку, закатку кромок и другие элементы, заменять катаные профили гнутыми из листового материала;

– конфигурация детали и ее развертки должна обеспечить наиболее выгодное использование исходной заготовки за счет применения малоотходного и безотходного раскроя, однако не следует искусственно завышать размеры и площадь заготовки;

– при образовании отхода следует стремиться придать ему конфигурацию другой детали и использовать вторично;

– стремиться уменьшать ассортимент применяемых толщин и марок листового материала;

– стремиться соблюдать кратность размеров крупных штучных заготовок размерам листа, иначе отходы значительно увеличатся;

– по возможности шире применять штамповарные конструкции взамен литых, кованных или клепаных изделий;

– стремиться к замене большого количества отдельных деталей одной цельноштампованной кроме случаев, когда такая деталь становится громоздкой и нетехнологичной;

– следует применять методы штамповочной сборки отдельных деталей (расклепкой, закатыванием шва, отбортовкой, загибом лапок и кромок, полкой высадкой);

– допуски на размеры штампованных деталей должны соответствовать экономической точности холодной штамповки – 8–9 качеству точности, а при получении более высокой точности использовать операции чистовой обработки (зачистки, калибровки, правки).

При изготовлении деталей вырубкой и пробивкой необходимо учитывать следующие технологические требования:

– избегать сложной конфигурации с узкими и длинными вырезами контура или очень узкими прорезями;

– сопряжения сторон наружного контура следует выполнять с закруглениями лишь при вырубке деталей по всему контуру, для безотходного раскроя использовать сопряжения сторон под прямым углом;

– избегать вырубки длинных и узких деталей постоянной ширины, заменяя вырубку расплющиванием проволочных заготовок;

– наименьшие размеры пробиваемых отверстий следует выбирать из таблицы 1;

Таблица 1

Минимальные размеры пробиваемых отверстий

Материал	Обычная пробивка свободным пуансоном		Пробивка в зажатом состоянии направляемым пуансоном	
	круглым	прямоугольным	круглым	прямоугольным
Твердая сталь	1,3S	1,0S	0,5S	0,4S
Мягкая сталь, латунь	1,0S	0,7S	0,35S	0,3S
Алюминий	0,8S	0,5S	0,3S	0,28S
Текстолит, гетинакс	0,4S	0,35S	0,3S	0,25S

– наименьшее расстояние от края отверстия до прямолинейного наружного контура должно быть не менее S (толщины металла) для фигурных круглых отверстий и не менее $1,5S$, если края отверстия параллельны контуру детали;

– не следует располагать отверстия в заготовке, подлежащей гибке, близко к радиусу закругления детали, при этом наименьшее расстояние от края отверстия до загнутой полки должно составлять $a \geq r + 2S$, где r – радиус изгиба;

– в вытянутых деталях, имеющих отверстия в дне или фланце, пробиваемых после вытяжки, расстояние от стенки детали до края отверстия должно быть $c \geq r + 0,5S$, где r – радиус закругления дна или фланца;

– наименьшее расстояние между отверстиями при одновременной их пробивке должно быть равно $b = (2 \div 3)S$.

Основные технологические требования к конструкции изогнутых листовых деталей:

– минимально допустимые радиусы гибки следует применять лишь при исключительной конструктивной необходимости, причем в большинстве случаев лучше применить увеличенные радиусы гибки $r \geq S$, а для толстых заготовок еще бóльшие;

– в случае гибки пластичных металлов (малоуглеродистых сталей, например, сталей 10, 20) с малым радиусом закругления ($r \geq 0,5S$) линию изгиба желательно располагать поперек волокон проката; при гибке тех же металлов с радиусом $r > S$ расположение линии изгиба безразлично: решающее значение при этом имеет достижение наиболее выгодного раскроя металла с максимально высоким $k_{\text{им}}$;

– при гибке твердых и малопластичных металлов (бронз, сильно наклепанной латуни, ленты пружинной стали и др.) линию изгиба следует располагать *обязательно поперек* волокон проката, при этом наименьший радиус изгиба берется в пределах от 2 до $4S$;

– в случае изгиба заготовки в разных направлениях, а также при изготовлении правых и левых деталей из одной заготовки радиус закругления одного из перегибов должен быть увеличен, причем гибка должна быть произведена так, чтобы сторона с заусенцами пришлась на наружную сторону перегиба с увеличенным радиусом;

– для увеличения жесткости гнутых деталей и устранения упругого пружинения рекомендуется штамповка ребер жесткости поперек угла изгиба;

– если конструкция сборочного узла требует прилегания боковых полок и основания изогнутой скобы (с внутренней стороны) к другим деталям, вместо гибки под острым углом рекомендуется делать гибку с поднутренным закруглением в углах;

– наименьшая высота h отгибаемой полки должна быть $h \geq 3S$;

– при гибке деталей, имеющих широкую и узкую часть, радиус изгиба не должен захватывать широкую часть, в противном случае образуются наплывы;

если же по конструктивным соображениям линия изгиба проходит в месте сопряжения этих частей, следует применять вырезы шириной $b \geq S$;

– в случае многооперационной гибки необходимо предусматривать технологические базы для фиксирования заготовок на операциях.

Основные технологические требования к конструкции полых деталей, изготовленных вытяжкой и формовкой:

– необходимо по возможности избегать весьма сложных и несимметричных форм вытягиваемых деталей, прибегая к ним лишь в случае исключительной конструктивной необходимости;

– радиусы закруглений у фланца должны быть выполнены по возможности больше, чем радиусы закруглений у дна: $r \geq (2 \div 4) S$. Сопряжение стенок с дном без радиуса закругления может быть выполнено путем дополнительной калибровки или при штамповке весьма толстых заготовок ($D/S \leq 20$ при $m > 0,7$);

– необходимо избегать глубоких вытяжек с широким фланцем ($D > 3d$ при $h \geq 2d$), требующих большого количества операций;

– полуоткрытые несимметричные формы полых деталей следует проектировать так, чтобы после спаренной вытяжки обеспечивалась разрезка на две детали;

– в прямоугольных коробках следует избегать острых углов в плане и у дна детали, за исключением случаев изготовления коробок методом холодного выдавливания;

– при вытяжке полых деталей сложной конфигурации необходимо предусматривать определенные технологические базы для фиксирования заготовок на операциях.

Методы повышения технологичности листовых штампуемых деталей и пути экономии материала

Разработка технологичных форм деталей создает условия для упрощения производственного процесса их изготовления и в большинстве случаев дает возможность экономить исходный материал.

В большинстве случаев конфигурация штампуемой детали или ее заготовки может быть изменена и не окажет влияния на конструктивное или эксплуатационное назначение, но измененная конструкция детали позволит снизить расход металла и в большинстве случаев применить малоотходный или безотходный раскрой материала. Причем даже незначительная корректировка формы детали позволяет снизить расход металла на 35–40 % и более и увеличить производительность процесса холодной листовой штамповки (в два и более раза). Рост производительности связан с возможностью получения за один ход пресса большего количества деталей.

Одним из способов существенной экономии материалов от 30 до 75 % при одновременном снижении массы машин, оборудования, приборов и т.п. является применение гнутых профилей взамен горячекатаного профильного

проката. Основные типы гнутых профилей, которые рекомендованы для использования в машиностроении, строительстве и других отраслях, стандартизованы (ГОСТ 19771–93, ГОСТ 19772–93, ГОСТ 8278–83, ГОСТ 8282–83 и т.д.).

Большую экономию материала при значительном упрощении технологии изготовления дает применение технологичных штамповарных деталей взамен литых, кованных или клепаных конструкций. К сложным штамповарным изделиям относят, например, кузова и кабины автомашин, тракторов, комбайнов, состоящие из штампованных деталей, соединенных с помощью точечной или шовной сварки друг с другом, другие изделия.

Рассмотрим применение общих принципов технологичности штампованных заготовок применительно к конкретным видам изготавливаемых деталей различного назначения.

При осуществлении вытяжки заготовка затягивается в зазор между матрицей и пуансоном, причем плоская заготовка трансформируется в полое изделие. Если величина зазора меньше толщины материала, вытяжка осуществляется с преднамеренным утонением стенок.

Процесс деформации происходит в условиях сложного напряженного состояния. Поэтому, получаемые вытяжкой изделия должны иметь наиболее простую геометрическую форму: цилиндрическую, ступенчатую в виде тел вращения, прямоугольную.

На рис. 1 приведены примеры рекомендаций по выбору наиболее рациональной формы вытягиваемых изделий.

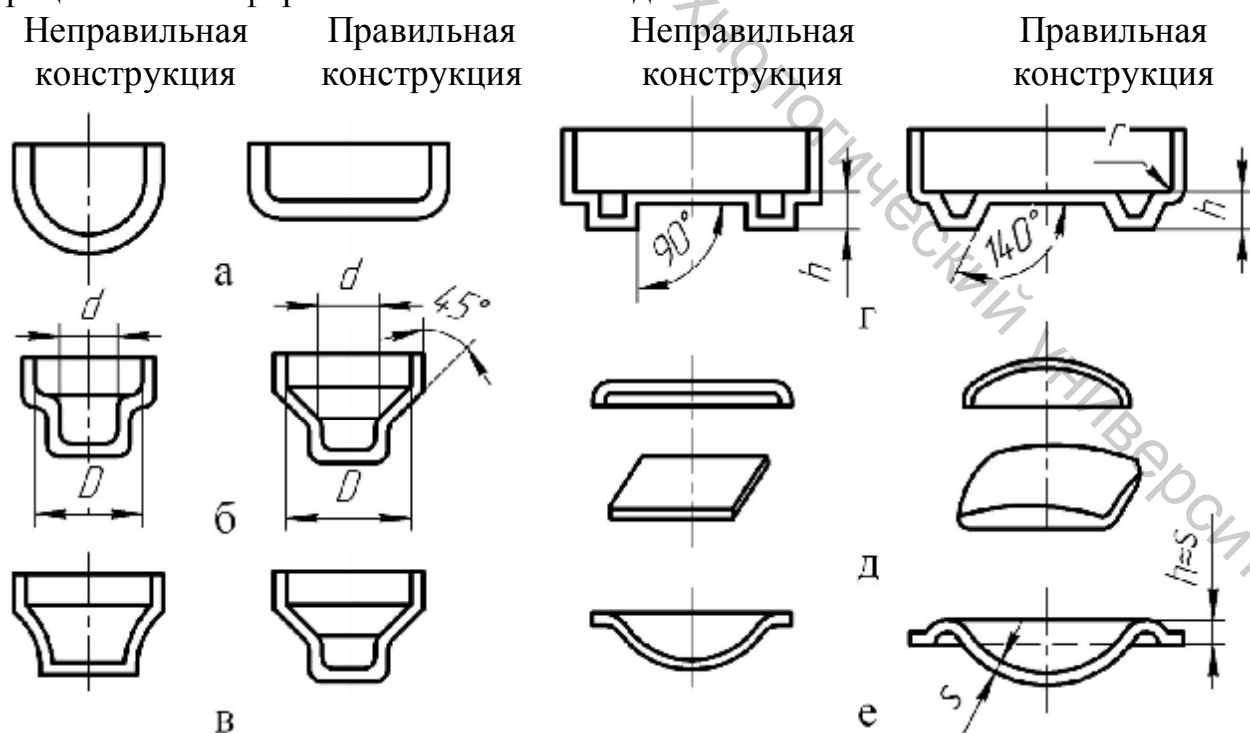


Рис. 1. Примеры рекомендуемых конструкций изделий

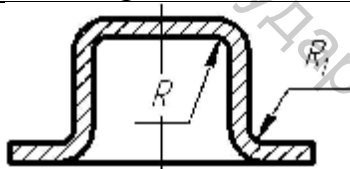
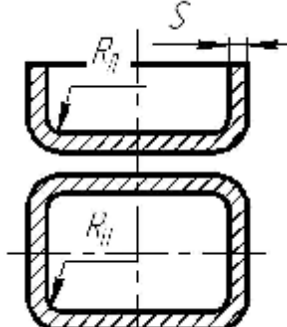
Плоское дно наиболее рационально, чем сферическое (рис. 1, а). Переходы в ступенчатых изделиях следует выполнять наклонными, а разность

диаметров ступеней предусматривать минимальной (рис. 1, б). Следует избегать криволинейных и сферических боковых поверхностей (рис. 1, в). Выступы следует делать наклонными с минимальной высотой (рис. 1, г). Изделия больших габаритных размеров с плоским дном более склонны к перекосу, чем выпуклым (рис. 1, д). Изделия со сферическим дном следует выполнять с небольшим выступом $h \approx S$, облегчающим удержание заготовки при вытяжке (рис. 1, е).

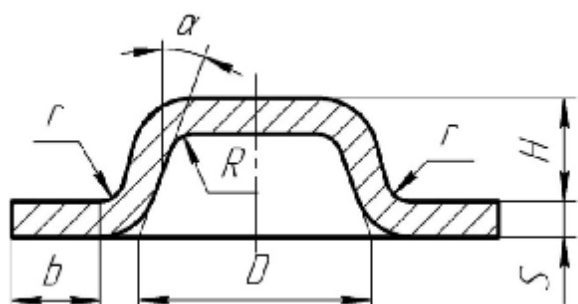
От радиуса сопряжений зависят напряжения в материале, возможность обрывов, складкообразования. Рекомендуемые значения радиусов сопряжения приведены в таблице 2.

Таблица 2

Радиусы сопряжения стенок

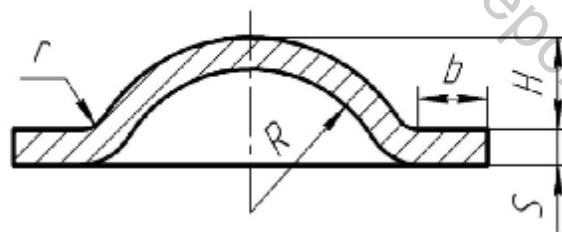
Вид детали	Место расположения радиуса закругления	Рекомендуемые значения
	Между дном и стенкой R (радиус дна)	$R \geq S$
	Между фланцем и стенкой R_1 (радиус фланца)	$R_1 \geq (2 \div 3)S$
	Между дном и стенкой R_d (радиус дна)	$R_d = 1,5S$ желательно $R_d = R_n$
	Между боковыми стенками R_n (радиус в плане)	$R_n \geq 3S$

На рис. 2 представлены примеры форм и размеры изделий, вытягиваемых за одну операцию.



$$H \leq (1,5 - 2)S; R \geq (1 - 1,5)S; \alpha \geq 15 - 20^\circ;$$

$$D \geq 3H; r \leq 0,5S; b \geq (3 - 3,5)S$$



$$R \geq (3 - 4)S; H \leq 2S;$$

$$r \leq 0,5S; b \geq (3 - 3,5)S$$

Рис. 2 Конструктивные требования к изделиям, получаемым за одну операцию

Минимальное расстояние между отверстиями во фланце (рис. 3) определяют из соотношения

$$A \geq D + 2S + 2r + d \quad (1)$$

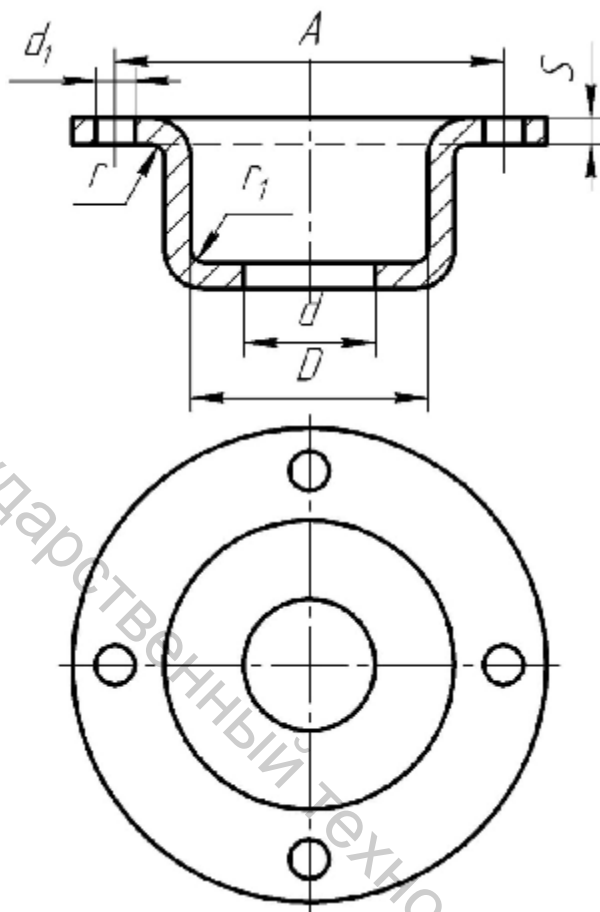


Рис. 3. Технологические требования к расположению отверстий

В таблице 3 приведены допускаемые отклонения по высоте полых цилиндрических изделий, которым следует руководствоваться при конструировании.

Таблица 3

Числовые значения симметричных отклонений по высоте цилиндрических изделий с фланцем

Толщина материала, мм	Высота вытяжки Н, мм						
	До 18	Свыше 18 до 30	Свыше 30 до 50	Свыше 50 до 80	Свыше 80 до 120	Свыше 120 до 180	Свыше 180 до 260
До 1	±0,3	±0,4	±0,5	±0,6	±0,8	±1,0	±1,2
Свыше 1 до 2	±0,4	±0,5	±0,6	±0,7	±0,9	±1,2	±1,4
Свыше 2 до 4	±0,5	±0,6	±0,7	±0,8	±1,0	±1,4	±1,6
Свыше 4 до 6	±0,6	±0,7	±0,8	±0,9	±1,1	±1,6	±1,8

Для изогнутых минимальные радиусы гибки зависят от следующих факторов: механических свойств материала; угла гибки; направлением линии гибки относительно направлений волокон проката. Минимально допустимый радиус гибки определяется по формуле

$$R_{\min} = KS, \quad (2)$$

где S – толщина материала; K – коэффициент, зависящий от механических свойств материала (табл. 4)

Таблица 4

Числовые значения коэффициента K

Металл	Отожженный или нормализованный металл		Наклепанный металл	
	Расположение линии сгиба			
	Поперек волокон проката	Вдоль волокон проката	Поперек волокон проката	Вдоль волокон проката
	Коэффициент K			
Алюминий	—	—	0,3	0,8
Медь отожженная	—	—	1,0	2,0
Латунь Л68	—	0,2	0,4	0,8
Сталь 0,5; 08кп	—	—	0,2	0,5
Сталь Ст. 2	—	0,4	0,4	0,8
Сталь 15; 20; Ст. 3	0,1	0,5	0,4	0,8
Сталь 25; 30; Ст. 4	0,2	0,6	0,5	1,0
Сталь 35; 40; Ст. 5	0,3	0,8	0,6	1,2
Сталь 45; 50; Ст. 6	0,5	1,0	0,8	1,5
Сталь 55; 60; Ст. У7	0,7	1,3	1,0	1,7
Сталь 30ХГСА	—	—	1,5	4,0
Сталь жаропрочная	—	—	1,3	2,0
Сталь нержавеющей	—	—	2,5	6,5
Дюралюминий мягкий	1,0	1,5	1,5	2,5
Дюралюминий твердый	2,0	3,0	3,0	4,0

Минимальные радиусы гибки следует применять лишь в случае абсолютной конструктивной необходимости; во всех остальных случаях рекомендуется применять радиусы гибки: $R \geq S$ для материалов толщиной до 1,5мм; $R \geq 2S$ материалов толщиной свыше 1,5мм.

Длина отгибаемой части изделия должна быть не менее двух толщин материала. Если высота отгибаемой полки должна быть короче рекомендуемой величины, полка должна быть изогнута более высокой, а затем обрезана по высоте.

Для предотвращения искривлений формы отверстий, расположенных близко к линии изгиба, необходимо расстояние от центра радиуса изгиба до края пробитого отверстия принимать не менее двух толщин $a < 2S$ (рис. 4, а). В противном случае осуществлять после гибки, или предусматривать

дополнительные технологические отверстия, предотвращающие утяжку (рис. 4, б).

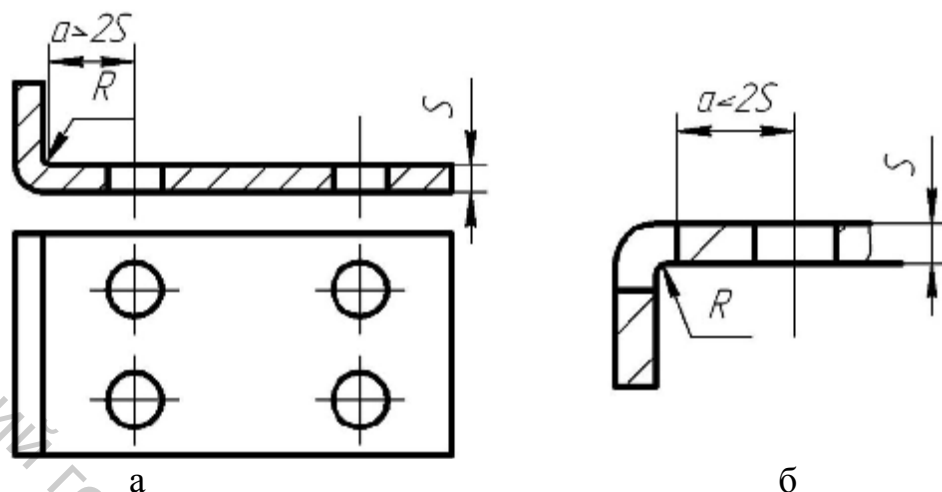


Рис. 4. Схемы расположения отверстий в гнутых изделиях

Во избежание трещин в углах при гибке выступов, линию гибки нужно смещать от углов на величину не менее радиуса гибки (рис. 5, а) или выполнять технологические местные вырезы (рис. 5, б).

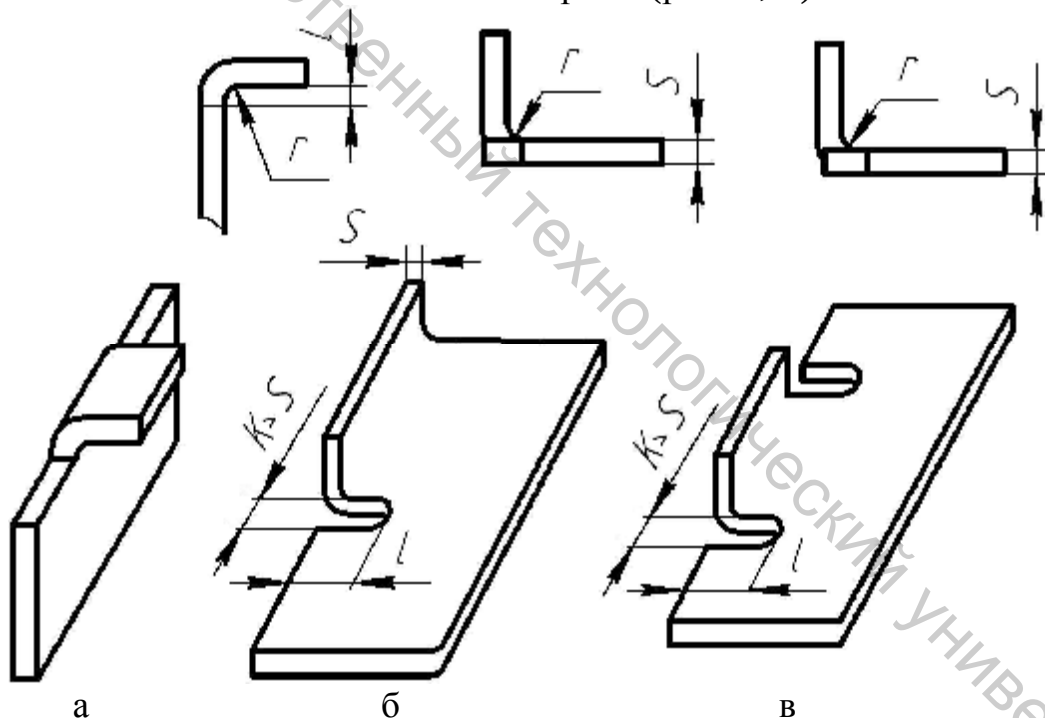


Рис. 5. Схемы расположения выступов в гнутых изделиях:

а – при $l \geq r$; б – $l = S + r + K/2$; в – $l = r + K/2$

Величина внутренних радиусов r_1, r_2 должна быть не менее трех толщин материала (рис. 6, а). В противном случае на боковых полках возможно образование вмятин и задиrow.

Не следует назначать наружный радиус менее суммы внутреннего радиуса и толщины материала. В противном случае изделие подвергается предварительной гибке (рис. 6, б), а последующими осадкой и чеканкой изделию придается окончательная форма.

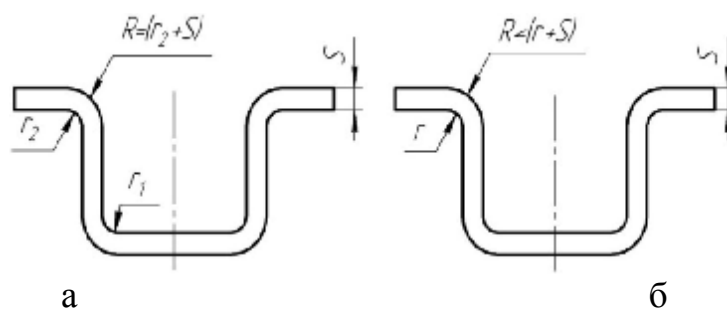


Рис. 6. Схемы конструкций изделий для назначения наружных радиусов сопряжения: а – $R_H = r_2 + S$; б – $R_H < r + S$.

Угол между линией контура и линиейгиба должен быть равен 90° . В противном случае происходит искривление (отклонение от плоскостности) отгибаемой полки (рис. 7).

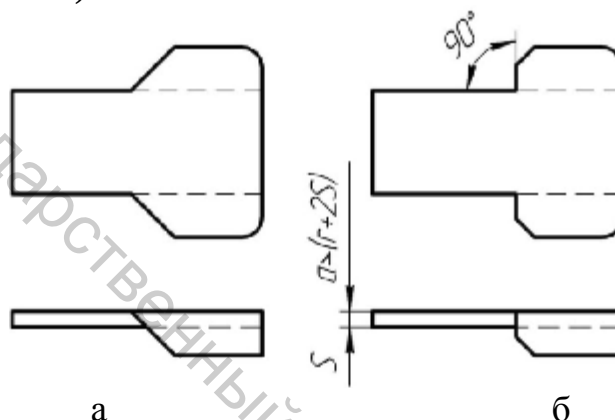


Рис. 7. Схемы конструкций гнутого изделия:
а – неправильная; б – правильная

Отклонения на линейные и угловые размеры назначают двухсторонними симметричными (табл. 5).

Таблица 5

Числовые значения линейных отклонений на отгибаемые полки

Толщина материала, мм	Отклонения по размерам, мм			
	a	h	H	c
До 1	$\pm 0,7$	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$
Свыше 1 до 2	$\pm 1,0$	$\pm 0,7$	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$
Свыше 2 до 3	$\pm 1,2$	$\pm 1,0$	$\pm 0,6$	$\pm 0,8$
Свыше 3 до 4	$\pm 1,5$	$\pm 1,2$	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$
Свыше 4 до 6	$\pm 2,0$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$	$\pm 1,2$

2 ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ОТЛИВОК

Выбор наиболее целесообразного технологического процесса изготовления отливки часто затруднен, поскольку одинаковые по размерной точности и качеству заготовки можно получить различными методами. Окончательный выбор выполняется после оценки экономической эффективности различных способов получения отливок. Причем в этом случае необходимо учитывать не только стоимость изготовления отливки, но и стоимость ее последующей обработки (механической, электрофизической, термической и др.). Стоимость литой заготовки определяется ее конструкцией, от нее зависит выбор типа модельной оснастки. Конструктивное исполнение деталей отличается разнообразием форм, однако наиболее важным свойством любой детали является ее технологичность, под которой понимают совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, техническом обслуживании и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Отработка конструкции изделия на технологичность осуществляется при творческом содружестве конструкторов и технологов на всех этапах: разработке конструкции, процессов заготовительного производства, обработки, сборки и контроля.

Выбор того или иного вида литья зависит от материала детали, точности и шероховатости поверхностей, получаемых при изготовлении заготовки данным методом, конфигурации, размера и массы детали, типа производства.

Независимо от метода изготовления отливки при определении ее конфигурации и размеров следует учитывать общие принципы:

- форма и размеры заготовки должны быть наиболее близкими к готовой детали;
- внутренние и внешние контуры отливки должны иметь конфигурацию, состоящую из сочетаний правильных геометрических фигур, что упростит модельную оснастку;
- отливка должна иметь минимальное количество обрабатываемых поверхностей;
- при возможности разделять крупные сложные отливки на несколько меньших простой формы;
- детали, подвергающиеся быстрому износу, следует проектировать как отдельные отливки;
- по возможности использовать типовые отливки, изготавливаемые на унифицированной оснастке;
- выбор материала должен предусматривать применение производительных методов литья, высокую производительность процесса, обеспечивать уменьшение припусков на обработку;
- необходимо стремиться изготавливать форму по цельной модели либо стремиться к минимальному количеству поверхностей разъема;

- отливки должны иметь плавную обтекаемую конфигурацию без острых углов, изломов, с плавным переходом от одних сечений к другим;
- толщина стенки отливки должна быть минимально допустимой для выбранного метода литья, обеспечивая при этом необходимую прочность заготовки и хорошее заполнение формы;
- отливке следует придавать такую форму, чтобы жидкий металл вытеснял воздух и газы, образующиеся в результате нагрева стенок формы и выделяющихся из металла;
- обеспечивать усадку и не препятствовать ей;
- использовать типовые сопряжения стенок литых заготовок;
- для устранения напряжений, повышения качества отливок использовать метод направленного и одновременного затвердевания, устранять местные скопления металла.

2.1 Литье в песчаные формы

Среди используемых способов получения отливок наибольший удельный вес занимает литье в песчаные формы. Для отливок, получаемых в разовых формах, следует стремиться к максимальному уменьшению общих габаритов детали, выступающих частей, устранению тонкостенных ребер, глубоких пазов, впадин, поднутрений, что обеспечит минимальное количество разъемов модели, минимальное количество стержней, устранив необходимость применения отъемных частей модели. Технологичность внешних и внутренних очертаний отливки определяют по правилу световых теней. Сущность этого правила заключается в том, что при освещении заготовки параллельными лучами света, направленными перпендикулярно плоскости разъема формы и стержневого ящика, не должно быть теневых участков на отливке. Теневые участки возникают при неправильном расположении отдельных элементов отливки, к числу которых относят выемки, ребра, бобышки, поднутрения, приливы. Отливки без теневых участков имеют более высокое качество и менее трудоемки в изготовлении, не требуют применения отъемных частей в модельной оснастке, использования стержней.

Конфигурация отливки должна обеспечивать ее изготовление в форме с одной желательной плоской поверхностью разъема, поскольку каждый дополнительный разъем сложной формы усложняет модельную оснастку, требует применения дополнительной опоки, увеличивает время на формовку, отделку формы и ее сборку, отливка имеет меньшую размерную точность и погрешности геометрии, что вызывает проблемы при дальнейшей обработке.

Целесообразно в некоторых случаях изменить конфигурацию отливки с тем, чтобы значительно уменьшить стоимость изготовления заготовки.

Для достижения точности размеров отливки и уменьшения вероятности смещения одной части литой заготовки относительно другой формовку заготовки рекомендуется выполнять по неразъемной модели.

При этом положение отливки во время заливки металла оказывает существенное влияние на ее качество. При оценке положения отливки в форме следует руководствоваться следующими правилами:

- ответственные части отливки, к которым предъявляются высокие требования по точности и качеству, располагают в нижней части формы, поскольку в верхней части скапливаются неметаллические включения и газовые раковины;

- при невозможности выполнения приведенного выше требования ответственные поверхности отливки располагают вертикально или наклонно, причем целесообразно в отливках горизонтальные поверхности заменять наклонными, что устраняет газовые и неметаллические включения;

- если обрабатываемые поверхности обращены кверху, следует обеспечить такие условия при заливке и кристаллизации, при которых возможные литейные пороки будут образовываться в частях отливки, удаляемых после ее получения (прибылях, выпорах, припусках на механическую обработку и технологических напусках);

- от положения при заливке зависят разъем формы, величина припусков на механическую обработку, способ установки стержней в форме;

- по возможности упрощать конфигурацию полостей в отливках и соответственно стержней, используемых для формообразования этих полостей, чтобы можно было обеспечить надежную их установку, достаточную жесткость, простоту отвода газов, возможность легкого удаления стержней из отливки;

- все поверхности отливки должны быть доступны для обрубки и зачистки заливок и заусенцев;

- следует избегать в отливках небольших несквозных полостей для устранения полного спекания стержня, используемого для формования данной полости;

- целесообразно предусматривать такую конфигурацию детали, при которой заливки образуются на обрабатываемых поверхностях, поскольку их можно удалить со слоем припуска;

При конструировании отливки необходимо учитывать процесс заполнения формы жидким металлом для получения здоровой отливки без усадочных раковин, пористости, опасности возникновения напряжений, приводящих к появлению трещин. Хорошее заполнение формы металлом определяется допустимой наименьшей толщиной стенки отливки, которая зависит от применяемого литейного сплава, температуры его заливки, конфигурации и размеров отливки, состояния используемой формы.

В таблице 6 приведена минимальная толщина стенок отливок, изготовленных из различных литейных сплавов.

Таблица 6

Минимальная толщина стенки отливок, изготовленных из различных сплавов

Материал сплава	Минимальная толщина стенки, мм		
	мелких	средних	крупных
Серый чугун	3–4	8–10	12–15
Ковкий чугун	3–4	6–8	–
Сталь	5–7	10–12	15–20
Бронза	3–5	5–8	–
Алюминиевые сплавы	3–5	5–8	–
Магниеые сплавы	3–5	5–7	–

К мелким отливкам из чугуна и углеродистой стали относятся отливки массой до 2 кг, к средним – массой от 2 до 50 кг, крупными считаются отливки массой свыше 50 кг. Мелкими отливками из низколегированной стали являются отливки массой до 3 кг, средними – массой от 3 до 70 кг, крупными – массой свыше 70 кг.

Отливки из цветных сплавов классифицируются по массе на группы, приведенные в таблице 7.

Таблица 7

Классификация отливок из цветных сплавов по группам сложности

Группа	бронза, латунь, кг	алюминиевые сплавы, кг
1	до 0,25	до 0,2
2	0,25–1,0	0,2–0,4
3	1–4	0,4–0,8
4	4–10	0,8–1,6
5	10–20	1,6–3,2
6	20–50	3,2–6,3
7	50–200	6,3–12,5
8	200–500	12,5–25
9	св. 500	св. 25

При выборе минимальной толщины стенки отливки необходимо также учитывать, что для отливок из серых чугунов во избежание отбела стенки выполняют не тоньше 6 мм, для отливок из ковких чугунов – не менее 4 мм. Стальные отливки, работающие под нагрузкой и давлением, не должны иметь стенки толщиной меньше 7–10 мм.

При выборе толщины стенки необходимо учитывать сложность отливки. В сложных отливках металл движется дольше, поэтому толщина стенки таких отливок должна быть увеличена в сравнении с простыми отливками.

По сложности отливки из черных металлов делят на *группы*. К *первой группе* относятся отливки преимущественно с плоскими взаимно-перпендикулярными и цилиндрическими поверхностями. Примерами таких отливок служат колеса, маховики, рычаги, диски, кольца и т.д.

Во *вторую группу* включены полые отливки, имеющие кроме простых и криволинейные поверхности, сопрягающиеся под острыми или тупыми углами.

К типовым отливкам этой группы относятся литые детали арматуры, криволинейные рычаги, простые крышки, подставки, плиты, корпуса подшипников и другие детали.

Третью группу составляют отливки с наклонными поверхностями, сопрягающимися под любыми углами, и содержащие изогнутые полости сложной формы, бобышки, приливы, ребра. Представительными деталями группы являются корпуса, крышки, основания для редукторов, крупные зубчатые колеса, корпуса станин, простые кожухи турбин.

Четвертую группу образуют отливки с различного вида поверхностями и отверстиями, которые оформляются сложными стержнями. К таким отливкам относятся станочные отливки, составные кожухи сложных турбин, опоры валковых клеток прокатных станов, станины молотов и прессов и т.д.

К *пятой группе* относятся отливки, которые формуются непосредственно по модели и не содержат сложных стержней либо полость в отливке оформляется одним простым стержнем. К таким отливкам относятся картеры, зубчатые и приводные колеса, гребные винты, сложные станины станков, плиты и т.д.

Утолщение стенок при изготовлении сложных отливок позволяет уменьшить сопротивление движению жидкого металла и устранить спаи и недоливы. Для уменьшения вероятности их появления отливка не должна содержать длинных тонких горизонтальных стенок, поскольку затрудняется отвод газов. Последние задерживаются вблизи верхней плоскости стенки и образуют газовые раковины. Рекомендуется горизонтальным плоскостям придавать уклон либо устанавливать отливку в наклонное положение. Газовые раковины образуются также в тех впадинах формы, из которых газы не имеют выхода. Проектируя отливку необходимо предусматривать способы вентиляции стержней.

Весьма сложной задачей является получение отливок, имеющих тонкие узкие полости, ребра, отверстия, которые оформляются с помощью тонких стержней. Такие элементы отливок образуются тонкими выступами из формовочной или стержневой смеси, причем формовка таких частей – весьма трудоемкий процесс. После заливки формы металлом велика вероятность появления брака, так как возможен пригар формовочной смеси, затруднена очистка и обрубка полученной отливки. При формовке таких заготовок необходимо предусматривать надежное крепление стержней в форме и их достаточную прочность, обеспечивать хорошие условия вентиляции каждого стержня, равномерную толщину стенки, располагать отверстия в местах, доступных для легкого удаления стержней из отливки.

Большинство отливок имеют стенки, сопрягающиеся друг с другом и остальными частями отливки под разными углами. Образующиеся так называемые узлы разделяются на следующие типы: лобовое сопряжение, являющееся стыком двух стенок различной толщины, лежащих в одной плоскости; прямоугольное – сопряжение двух стенок под прямым углом; остроугольное – сопряжение стенок под острым углом; вилообразное –

сопряжения трех стенок; Т-образное – сопряжение трех стенок под прямым углом; крестообразное – сопряжение из четырех стенок под различными углами (Х-сопряжение).

Лобовое сопряжение одной стенки с другой выполняют с помощью радиуса скругления, причем при переходе от одной стенки к другой отношение толщин сопрягаемых стенок не должно превышать 4:1 (рис. 8, а). Для деталей, отношение толщин стенок которых $S/S_1 \leq 2$, переходы также выполняют плавным сопряжением (рис. 8, б), радиусы закругления которых для деталей из чугуна, магниевых и алюминиевых сплавов принимают – $R=0,3h$; для отливок из сталей и медных сплавов – $R=0,4h$. Для деталей, испытывающих ударные нагрузки, рекомендуется сопряжение, приведенное на рис. 8, в. Длину участка перехода от одной стенки к другой принимают в зависимости от вида заливаемого сплава, а радиус сопряжения выбирают, исходя из соотношения толщин сопрягаемых стенок. Для отливок из чугунов, алюминиевых и магниевых сплавов $l \geq 4h$, где $h = A-a$, для отливок из стали и медных сплавов – $l \geq 5h$. Радиус скругления при соотношении $A:a=4:1$ – $R=A/3$.

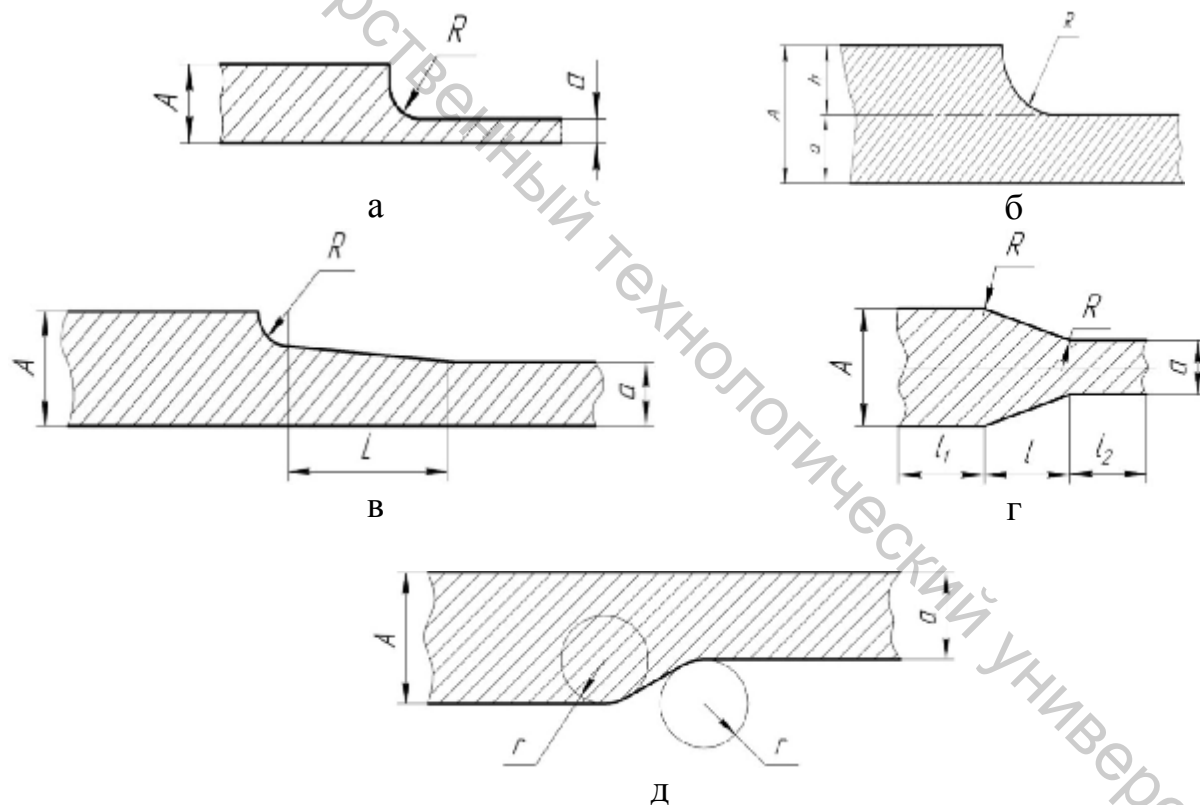


Рис. 8. Сопряжение двух стенок разной толщины

Возможна значительная разница в толщине сопрягаемых стенок (рис. 8, г). Для этого случая длина переходного участка рассчитывается из следующих зависимостей:

для отливок из чугуна и цветных сплавов

$$l \geq 3 \left(\frac{Al_1}{S + l_1} - \frac{al_2}{a + l_2} \right);$$

для отливок из сталей

$$l \geq 4 \left(\frac{Al_1}{S + l_1} - \frac{al_2}{a + l_2} \right).$$

Радиусы скругления принимают равными от $A/2$ до A .

При угловом сопряжении стенок правильно выбранные радиусы закруглений позволяют в большинстве случаев практически полностью устранить образование усадочной раковины. Формы угловых сопряжений показаны на рис. 9.

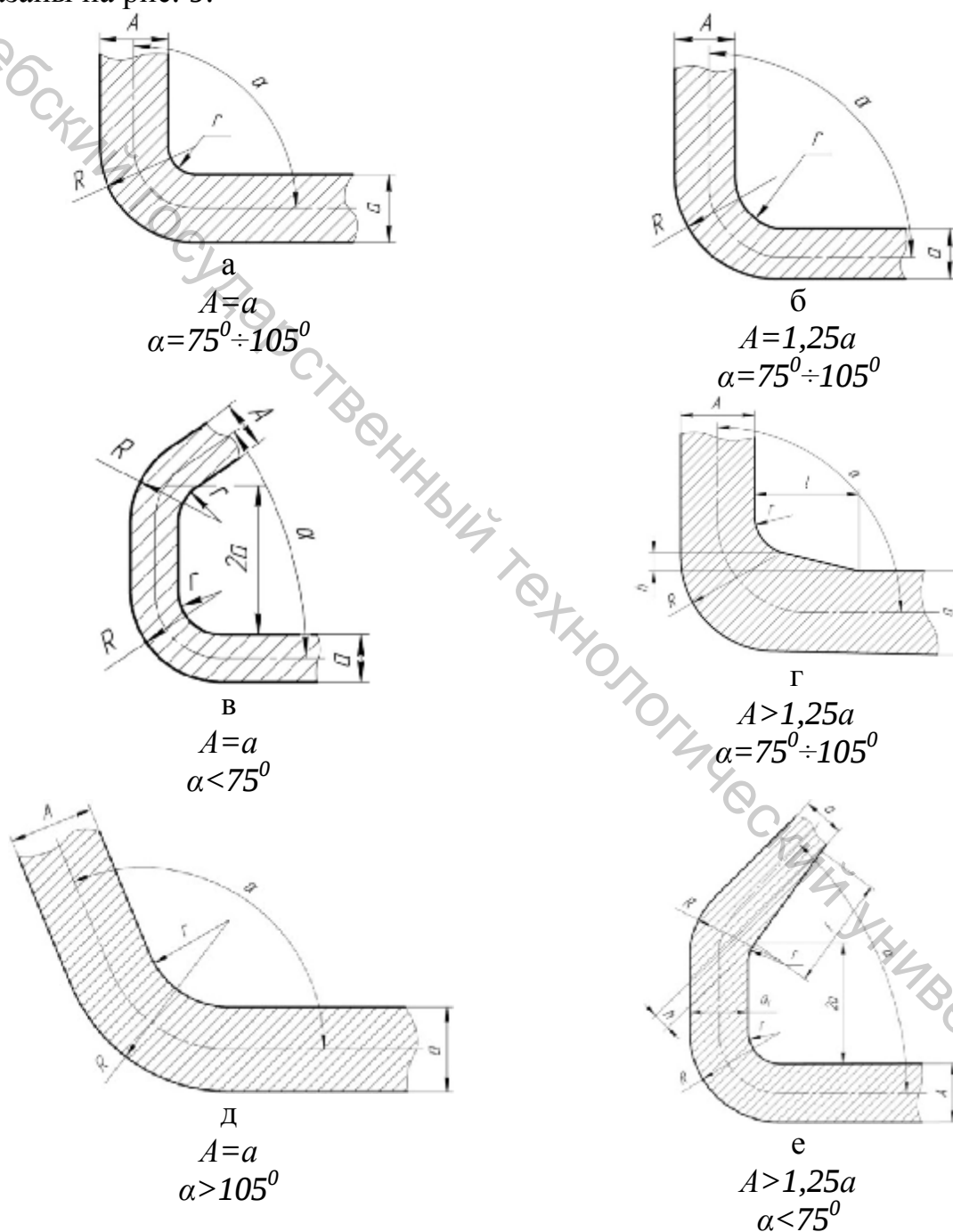


Рис. 9. Формы угловых сопряжений стенок

Для приведенных выше угловых сопряжений значение R принимают следующим образом:

для сопряжений а, б, в, д – $R=r+A$;

для сопряжений г; е – $R=r+a+h$.

Радиусы закруглений r определяют по таблицам в зависимости от средней толщины сопрягаемых стенок ($A+a/2$), марки выбранного литейного сплава и угла сопряжения стенок (см. таблицу 7 и 8). Значения h и l принимают по таблице 9.

Таблица 7

Радиус закругления сопрягаемых стенок

Средняя толщина сопрягаемых стенок	Радиус закругления r сопрягаемых стенок отливок из сталей и медных сплавов при угле сопряжения α					
	$>165^\circ$	$135^\circ-165^\circ$	$105^\circ-135^\circ$	$75^\circ-105^\circ$	$50^\circ-75^\circ$	50°
5	10	8	6	4	3	2,5
10	15	12	8	5	4,5	2,8
15	20	16	10	6	5	3
20	25	18	11	7,5	6	4
25	32	22	12	9	7,5	6,3
50	56	38	22	15	11	10,5
75	75	45	32	22	15	12
100	105	67	42	28	20	16
125	125	85	50	36	26	18
150	150	90	60	40	30	20

Таблица 8

Радиус закругления сопрягаемых стенок

Средняя толщина сопрягаемых стенок	Радиус закругления r сопрягаемых стенок отливок из чугуна, алюминиевых и магниевых сплавов при угле сопряжения α					
	$>165^\circ$	$135^\circ-165^\circ$	$105^\circ-135^\circ$	$75^\circ-105^\circ$	$50^\circ-75^\circ$	$<50^\circ$
5	10	6,7	3,4	2	1,8	1,6
10	12	8	5	2,5	2	1,8
15	16	11	7,5	3	2,2	2
20	20	15	9	3,4	3,2	2,2
25	25	16	10,5	11	4	3,4
50	45	30	18	12	10	6,3
75	67	42	26	16	12	8
100	85	56	36	20	16	10
125	105	67	42	25	21	12
150	125	71	50	30	24	14

Таблица 9

Значения h и l для определения радиусов закруглений

Соотношение толщин стенок	h	l	
		Сталь, медные сплавы	Чугун, алюминий, магниевые сплавы
$<1,25$	0	$\geq 5h$	$\geq 4h$
1,25–1,8	A-a		
1,8–2,5	0,8(A-a)		
$>2,5$	0,7(A-a)		

Для сопрягаемых стенок, образующих прямой угол друг с другом, рекомендуется применять сопряжения, основные конструктивные размеры которых приведены на рис. 10.

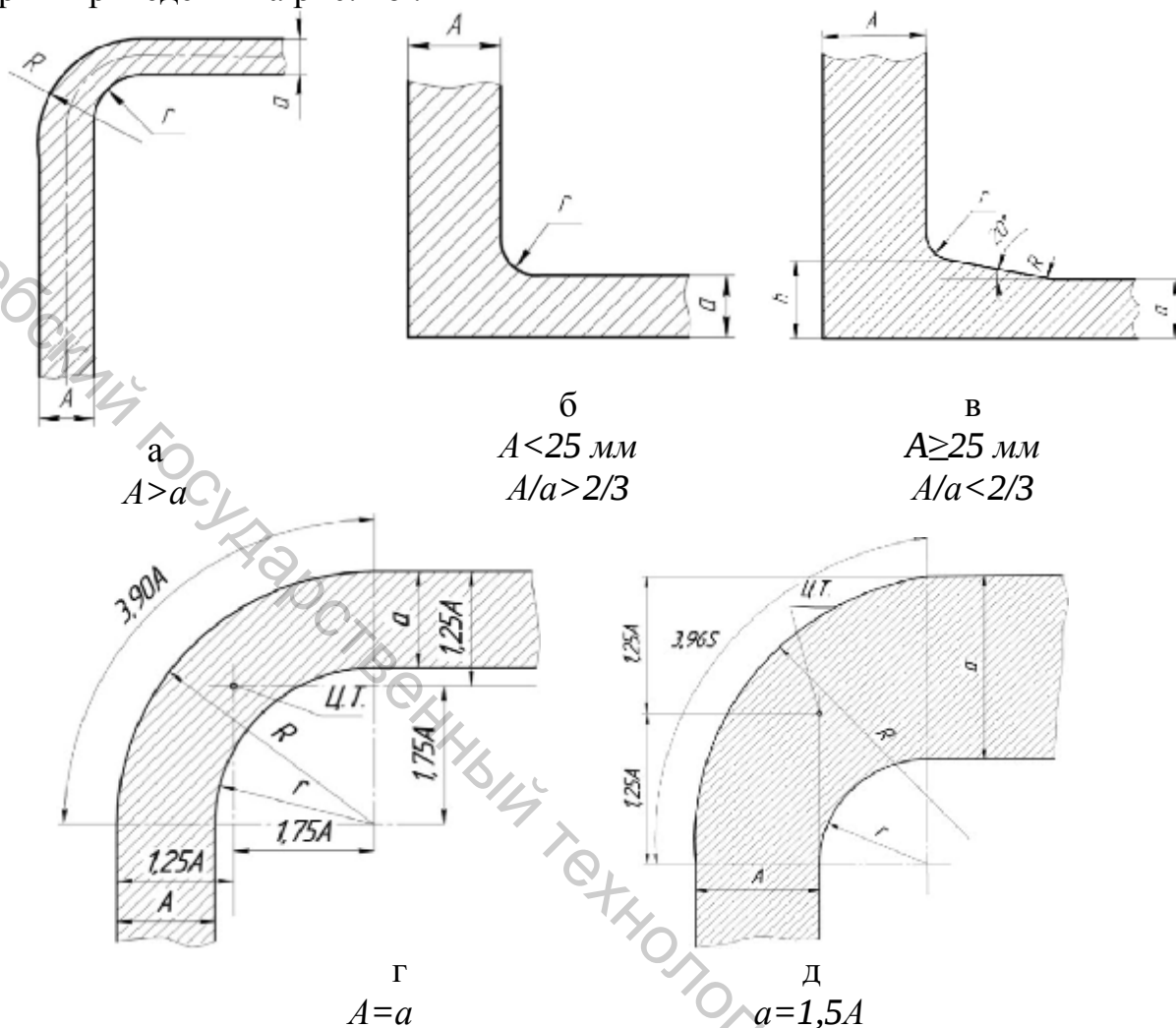


Рис. 10. Сопряжения двух стенок разной толщины под прямым углом

Значения радиусов для приведенных выше сопряжений определяются следующим образом:

для варианта а – $r = \frac{A+a}{2}$; $R = A+a$;

для варианта б – $r = 0,3A$, но не менее 4 мм;

для варианта в – $r = 0,3A$; $R = 5A$;

для варианта г – $r = 2A$; $R = 3A$;

для варианта д – $r = A$; $R = 2A$.

Значение h может быть определено из данных, приведенных в таблице 9.

В случае если стенки, образующие угловое сопряжение, подвергаются механической обработке, радиусы скруглений рассчитываются с учетом припусков на механическую обработку.

При Т-образном или тавровом сопряжении велика вероятность образования усадочных раковин и рыхлости в местах образования острых

углов, большой разнице в толщинах сопрягаемых стенок, а также при очень больших радиусах закруглений. Виды рекомендуемых тавровых сопряжений стенок показаны на рис. 11.

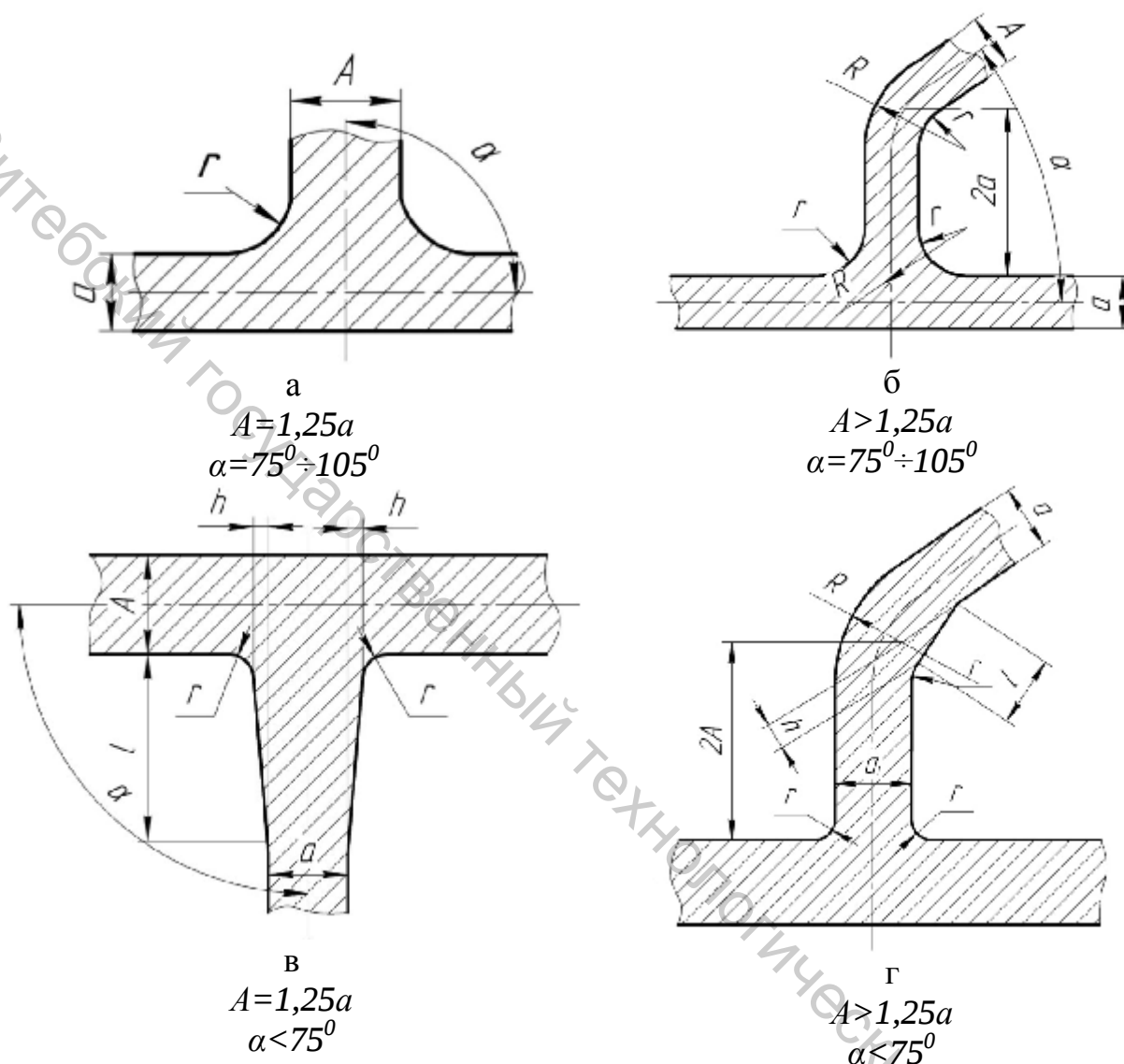


Рис. 11. Тавровое сопряжение стенок

При определении величин h и l учитывают соотношение толщин сопрягаемых стенок и марку литейного сплава (таблица 10).

Таблица 10

Значения h и l для тавровых сопряжений стенок

Соотношение толщин стенок	h	l	
		Сталь, медные сплавы	Чугун, алюминиевые и магниевые сплавы
<1,25	0	$\geq 10h$	$\geq 8h$
1,25–1,8	$0,5(A-a)$		
1,8–2,5	$0,4(A-a)$		
>2,5	$0,35(A-a)$		

Радиусы скруглений сопрягаемых стенок r определяют по данным таблиц 7–8. Значение R для сопряжения, показанного на рис. 11, б – $R=r+A$; для сопряжения г – $R=A+a_1$; $a_1=a+h$.

При V-образном сопряжении не допускается угол выполнять острым, его необходимо закруглять радиусом r . Рекомендуемые варианты сопряжения стенок приведены на рисунке 12.

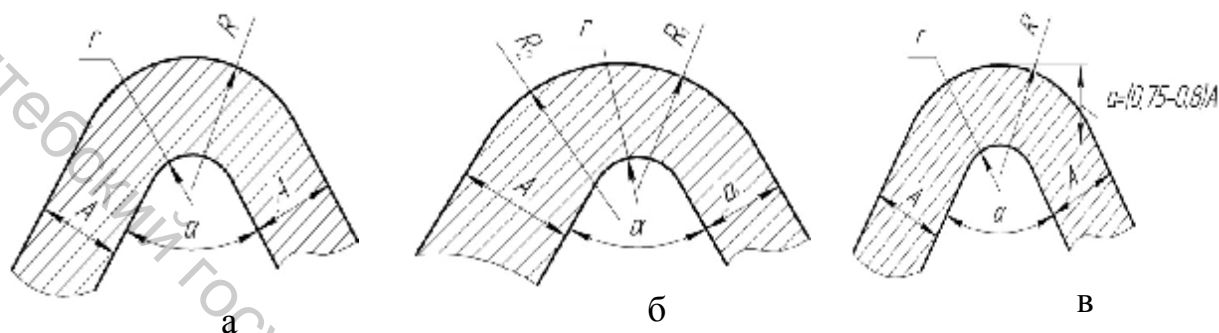


Рис. 12. Рекомендуемые варианты V-образного сопряжения стенок

Радиусы закруглений принимают при $A=a_1$, $A \geq 10$ мм и $\alpha < 60^\circ$ (рис. 12, а)

$$R = r + a;$$

при $A \neq a$, $\frac{A+a}{2} \geq 10$ мм и $\alpha < 60^\circ$ (рис. 12, б)

$$r \geq \frac{A + a}{2};$$

$$R_1 = a + r; R_2 = A + r.$$

При конструировании деталей, имеющих литые углы $\alpha \leq 75^\circ$, толщину стенки a в вершине угла берут меньше, чем у боковых стенок (рис. 12, в), поскольку скорость затвердевания металла к вершине угла меньше, а величину радиуса R находят подбором.

Вилкообразное сопряжение не допускается проектировать с острым углом, этот угол следует закруглять радиусом. Формы рекомендуемых вилкообразных сопряжений приведены на рис. 13.

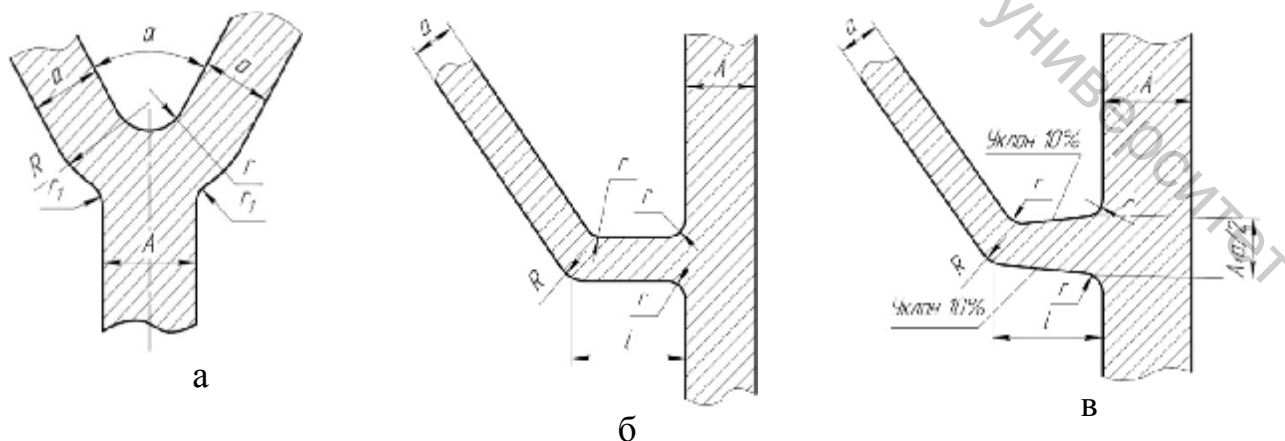


Рис. 13. Варианты вилкообразного сопряжения стенок

Радиусы скруглений вилкообразных сопряжений зависят от толщины стенок и их соотношения. При $A < 25$ мм для $a/A > 2/3$ и при $A > 25$ мм для $a/A > 2/3$ величины радиусов принимают – $r \geq a$ (при $r \geq 10$ мм и $\alpha < 60^\circ$), $r_1 = 0,3A$, $R = r + a$ – для первого из приведенных соотношения; – $R = r + \frac{A+a}{2}$ – для второго соотношения. Для сопряжения, показанного на рис. 13, б при $A < 25$ мм для $a/A > 2/3$ радиусы скруглений определяются следующим образом – $r = 0,3A$; $r_1 = a$; $R = 2A$. Для сопряжения на рис. 13, в – $r = 0,3a$; $r_1 = a$; $R = \frac{A+3a}{2}$.

К-образное сопряжение и близкие к нему применяют преимущественно в ребристых конструкциях, причем в местах утолщения могут образоваться усадочные рыхлоты и раковины, поэтому большие скопления металла необходимо рассредоточить (рис. 14).

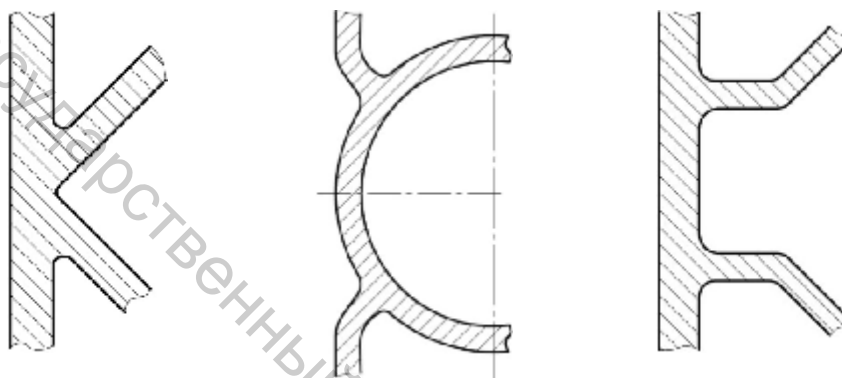


Рис. 14. К-образные сопряжения стенок

При конструировании *Т-образных (шахматных) сопряжений*, которые могут быть рекомендованы в ребристых конструкциях, необходимо соблюдать равнотолщинность стенок. Рациональные примеры таких сопряжений показаны на рис. 15.

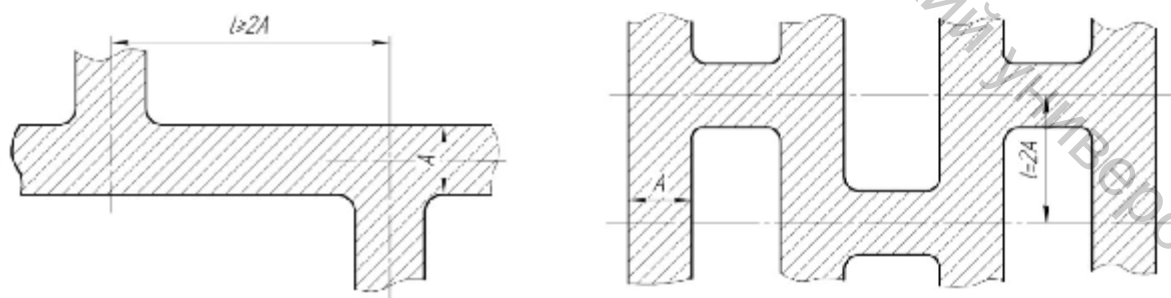


Рис. 15. Рекомендуемые шахматные сопряжения

Х-образное сопряжение стенок может использоваться лишь в крайних случаях, поскольку значительно увеличивается объем металла и возрастает опасность проявления усадочных эффектов.

Крестообразное сопряжение четырех стенок следует применять в исключительных случаях, причем в узле следует предусмотреть отверстие.

Правильный выбор радиусов скруглений в местах сопряжения и перехода стенок от одних сечений к другим определяет качество литой детали. Практический опыт показывает, что малая величина радиусов в сопряжениях приводит к трещинам, увеличенное значение радиусов – к появлению усадочной рыхлости. Кроме этого неправильно назначенные радиусы закруглений могут стать причиной аварийного выхода машин и механизмов из строя.

Закругления радиусов наружной и внутренней стенок должны выполняться из одного центра. Для наружных углов литейный радиус обозначают R , для внутренних углов – r , причем при сопряжении стенок одинаковой толщины $r=A$; $R=2A$. Для отливок из серого чугуна рекомендуются следующие радиусы скруглений сопрягаемых стенок: 1; 2; 3; 5; 8; 10; 16; 32; 40 мм, которые выбирают в пределах $1/3$ – $1/5$ толщины сопрягаемых стенок, если иного не требуется в соответствии с конструкцией детали.

Радиусы закруглений для отливок из цветных металлов и сплавов выбираются в зависимости от средней арифметической толщины сопрягаемых стенок по табл. 11.

Таблица 11

Радиусы закругления отливок из цветных металлов и их сплавов

$A+a/2$, мм	r , мм	$A+a/2$, мм	r , мм
До 12	6	Свыше 45 до 60	25
Свыше 12 до 16	8	Свыше 60 до 80	32
Свыше 16 до 20	10	Свыше 80 до 110	32
Свыше 20 до 27	12	Свыше 110 до 150	40
Свыше 27 до 35	16	Свыше 150 до 200	50
Свыше 35 до 45	20		

При большой разнице в толщине сопрягаемых стенок тонкая стенка затвердевает достаточно быстро, в то время как в толстой стенке сохраняется много тепла, в результате чего накапливаются внутренние напряжения, что приводит к короблению отливок или отрыву тонкой части от толстой, либо образуется усадочная раковина.

При наличии большего количества сопрягаемых стенок в образовавшихся узлах отливки концентрируется еще больше тепла из-за меньшего его отвода. Поэтому при конструировании сочленений стенок следует:

- не сопрягать друг с другом четыре и более стенки в одном узле, а развести их, получив Z-сопряжение;
- углубление, выполненное со стороны, обратной присоединению стенки в тавровом соединении, позволяет уменьшить размеры усадочной раковины или устранить ее полностью;
- сочленениями стенок под прямым углом следует придавать плавные закругления, причем радиусы закруглений должны составлять от $1/6$ до $1/3$ толщины сопрягаемых стенок.

На рис. 16 показаны сопряжения двух и трех стенок различной толщины. При сопряжении двух стенок (рис. 16, а) для случая, когда $A/a < 2$ радиусы сопряжения стенок $R=A$, а r изменяется в пределах от $A+a/6$ до $A+a/12$. Если $A/a > 2$ (рис. 16, б), $c \approx 3\sqrt{A-a}$; $a+c \leq A$; $h \geq 4c$.

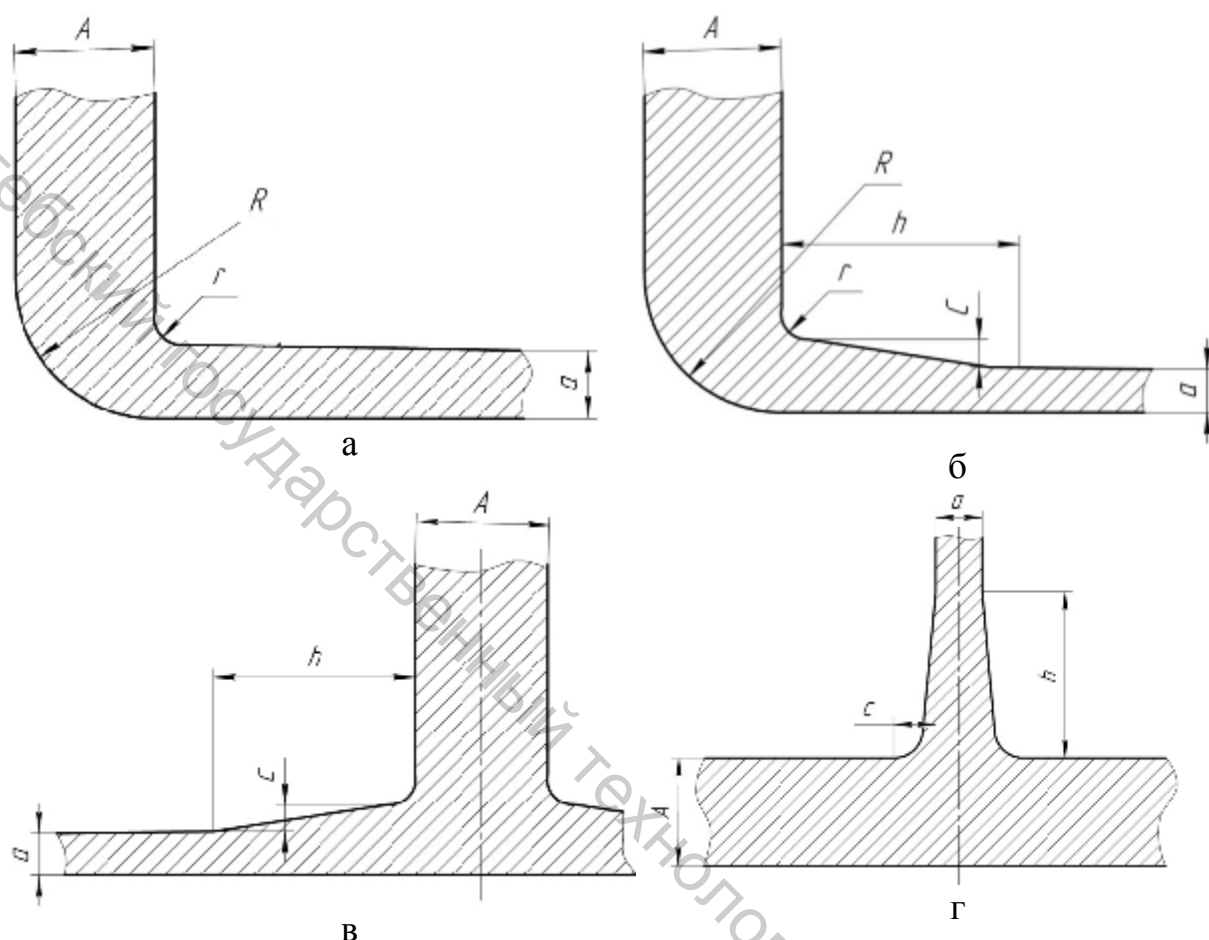


Рис. 16. Сопряжения двух и трех стенок различной толщины

При Т-образном сопряжении стенок возможны варианты, приведенные на рис. 16, а и б, для первого из которых $c \approx 3\sqrt{A-a}$; $a+c \leq A$; $h \geq 4c$; для второго $c \geq 1,5\sqrt{A-a}$; $a+2c \leq A$; $h \geq 8c$.

Невыполнение приведенных требований является причиной появления несплошностей в металле и усадочных раковин. Величина усадки отливок, изготовленных из различных сплавов, приведена в табл. 12 и определяется наличием в отливке стержней, болванов и выступающих частей, которые тормозят усадку. Максимальную усадку испытывают отливки простой формы, в которых отсутствуют части, тормозящие усадку. Раковины обычно образуются в верхних утолщенных частях отливки, затвердевающих в последнюю очередь. Кроме усадочных раковин может появиться усадочная пористость в виде мелких пор, сосредоточенная в теле отливки вблизи тепловых узлов и верхних частей отливки. Размер и форма усадочных раковин зависит от интервала затвердевания сплава, который определяется его

химическим составом. Так, например, в эвтектических сплавах, обладающих узким интервалом затвердевания и высокой жидкотекучестью, образуются усадочные раковины, сосредоточенные в определенной части отливки. При уменьшении интервала затвердевания увеличивается плотность отливок.

Таблица 12

Линейная усадка отливок из различных сплавов

Группа отливок	Усадка, %	
	затрудненная	свободная
Серый чугун: Мелкие и средние отливки	0,9	1,0
Крупные отливки	0,8	0,9
Уникальные отливки	0,7	0,8
Ковкий чугун	1,0	1,5
Сталь: Углеродистая и низколегированная	1,3–1,7	1,6–2,0
Высоколегированная хромистая	1,0–1,4	1,3–1,7
Ферритно-аустенитная	1,5–1,9	1,8–2,2
Аустенитная	1,7–2,0	2,0–2,3
Цветные сплавы: Бронзы оловянные	1,2	1,4
Алюминиевые бронзы	1,6–1,8	2,0–2,2
Латунь	1,5–1,7	1,8–2,0
Силумин	0,8–1,0	1,0–1,2

Сплавы с малой жидкотекучестью и широким интервалом затвердевания образуют в основном рассредоточенные по объему отливки усадочные раковины. На размер образующихся дефектов оказывают влияние также следующие факторы. Отдельные химические элементы влияют на величину усадки в зависимости от воздействия на процесс графитизации, протекающий в сплаве. Выделение графита способствует уменьшению усадки. Причем тонкостенные отливки из серого чугуна практически не склонны к образованию усадочных раковин и заливаются без прибылей.

Элементы сплава, уменьшающие теплопроводность, а также увеличивающие усадку в жидком состоянии и во время затвердевания, способствуют росту усадочных раковин. Наоборот, элементы, увеличивающие интервал затвердевания, способствуют рассредоточению усадочных раковин и появлению усадочной пористости.

Положение усадочных раковин и их размер определяется главным образом конфигурацией отливки. Для ее проектирования и получения отливок без концентрированных усадочных раковин следует руководствоваться принципом:

- направленного затвердевания;
- одновременного затвердевания.

Принцип одновременного затвердевания предполагает создание таких условий, при которых металл равномерно и одновременно кристаллизуется во всех частях отливки. Указанное условие может быть выполнено тогда, когда толщина стенок литой заготовки одинакова. Такой принцип должен находить применение при создании тонкостенных отливок из серого чугуна, оловянистых бронз и других цветных сплавов.

При проектировании отливок, имеющих разную толщину стенок, следует использовать принцип направленного затвердевания, сущность которого заключается в том, что в каждом питаемом тепловом узле скорость охлаждения отливки должна постоянно уменьшаться в направлении прилива, в которой и образуется после кристаллизации отливки сосредоточенная усадочная раковина. Причем конфигурация отливки должна обеспечить питание тонких частей отливки за счет более толстых элементов, которые в свою очередь должны подпитываться за счет прибыли или прибылей. Такой принцип целесообразно применять для стальных отливок, отливок из чугунов (ковкого, высокопрочного, серого с низким содержанием углерода и кремния), ответственных отливок из легких сплавов.

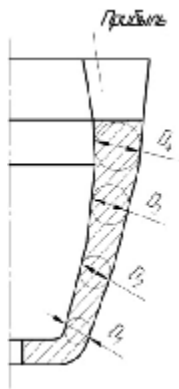


Рис. 17. Метод вписанных окружностей

Правильность конструкции литой заготовки оценивают методом вписанных окружностей, при котором окружность, вписанная в любое сечение детали, должна свободно проходить через вышележащие сечения в направлении кристаллизации (рис. 17). В тех случаях, когда невозможно реализовать принцип направленного затвердевания, следует применять технологические приливы, которые получают, объединяя близко расположенные термические узлы в один укрупненный. Располагать такой технологический прилив следует на наружной

поверхности отливки для того, чтобы его можно было легко удалить последующей механической обработкой.

Кроме указанных правил следует учитывать правильное расположение каналов, подводящих расплавленный металл в форму. Это обстоятельство связано с тем, что способ подвода металла в форму также как и скорость его заливки, оказывает большое влияние на распределение температур и образование усадочных раковин.

При одновременном затвердевании металл следует подводить к самым тонким частям отливки, что уменьшит скорость их охлаждения благодаря близкому расположению литниковой системы, в которой металл находится в расплавленном состоянии максимально долго.

При реализации способа направленного затвердевания металл следует подводить к утолщенным частям отливки, в которых он кристаллизуется в последнюю очередь.

При анализе конкретной конструкции отливки определяют целесообразность применения принципа направленного или одновременного затвердевания.

Подвод металла в форму может выполняться заливкой сверху (через прибыль или литник, находящийся у основания прибыли), сифоном (снизу), подводом металла в несколько уровней по высоте отливки. Первый из приведенных способов применим для отливок малой высоты, поскольку в иных случаях возможно разрушение формы струей падающего металла. Отливка сифоном наименее целесообразна из-за возможности увеличенного пригара. Третий способ применяют для высоких отливок.

Сокращение объема усадочной раковины можно добиться увеличением времени заливки, которое определяется сечением питающих отливку каналов литниковой системы. Причем при заливке крупных отливок сверху увеличение времени заливки позволяет питать нижние части за счет постоянной подпитки из верхних слоев, в основном из прибылей, что в конечном итоге снижает объемы усадочных раковин. Добавление металла в прибыли также уменьшает размеры усадочных раковин. В соответствии с принципом направленного затвердевания наиболее толстые части отливки устанавливаются в форме так, чтобы они питались расплавленным металлом из прибылей.

Анализируя конфигурацию отливки для установки прибылей необходимо:

- размещать их над самыми массивными частями отливки;
- прибыли не должны препятствовать свободной усадке отливки;
- нельзя устанавливать прибыли близко друг к другу;
- обеспечить их легкое отделение от отливки;
- обеспечить использование прибылей в качестве выпоров для отвода газов из полости отливки.

Для питания отливок используются верхние и боковые прибыли, действующие под атмосферным или повышенным (металлостатическим) давлением.

Однако наличие прибылей приводит к большому расходу металла, усложняет формовку из-за необходимости размещения прибылей, увеличивает время на отделку отливок, не исключено трещинообразование из-за разницы температур в разных частях отливки.

Анализ конструкции отливки выполняют с учетом припусков на обработку и технологических напусков, обеспечивающих получение годной отливки. Это обстоятельство связано с тем, что назначение припусков приводит к существенному изменению размеров отдельных сечений и сильно влияет на расположение тепловых узлов в теле отливки. Это в конечном итоге приводит к возникновению пористости и рыхлости в отливках.

Поскольку отливки практически во всех случаях подвергаются последующей механической обработке для придания поверхностям той формы и параметров размерной точности, которые определены рабочим чертежом,

при создании конфигурации следует предусматривать наличие удобных баз для обработки, измерения и сборки детали.

Для увеличения жесткости и прочности литых деталей, усиления нагруженных мест в конструкции отливок предусматривают ребра жесткости. Ребра жесткости позволяют снизить внутренние напряжения в местах сопряжения стенок различной толщины, предотвращая тем самым вероятность трещинообразования в таких сопряжениях и коробление отливок.

Ребра принято подразделять на следующие виды:

- ребра жесткости, которые усиливают жесткость отдельных элементов отливки;
- конструктивные ребра, являющиеся элементами конструкции и выполняющими определенное назначение (например, охлаждающие ребра);
- усиливающие ребра, уменьшающие напряжения и увеличивающие прочность отдельных частей отливки (бывают продольными, поперечными и боковыми);
- разводящие ребра, распределяющие сосредоточенные нагрузки на стенки литых заготовок;
- технологические ребра, предохраняющие отливку от деформации, образования раковин и т.д. (например, усадочные ребра).

При конструировании ребер необходимо руководствоваться следующими принципами:

- толщина наружных ребер должна быть не более 0,8 толщины сопрягаемой стенки, толщина внутренних ребер – 0,6–0,7 от толщины сопрягаемой стенки, при этом высота ребер не должна превышать пятикратной толщины сопрягаемой стенки;
- при конструировании плит следует избегать скопления металла в местах сопряжения стенок и ребер, обеспечивая при этом достаточную жесткость плиты;
- при сопряжении внутренних ребер с массивными частями отливки ребра выполнять Г-образными или Т-образными (рис. 18), при этом $B \geq 1,5A$;
- при конструировании крышек, подвергаемых в процессе эксплуатации нагреву, им следует придавать сферическую форму, а ребра необходимо располагать на внутренней стороне крышки (со стороны нагрева).

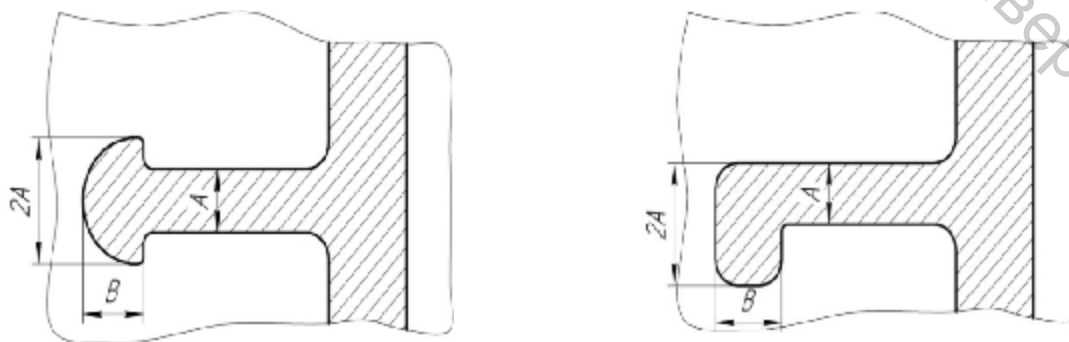
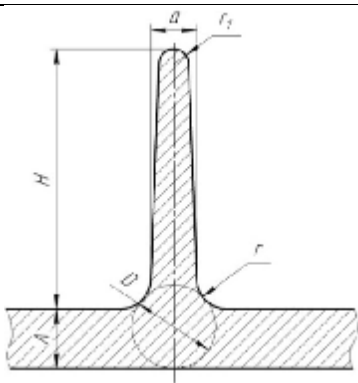
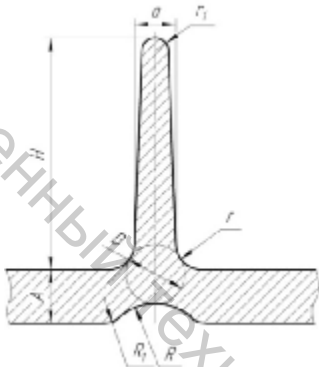
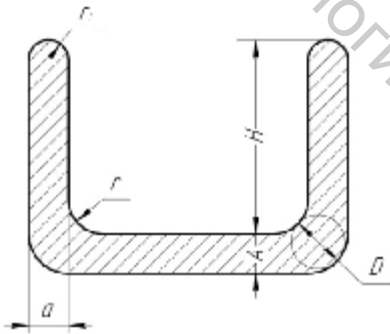
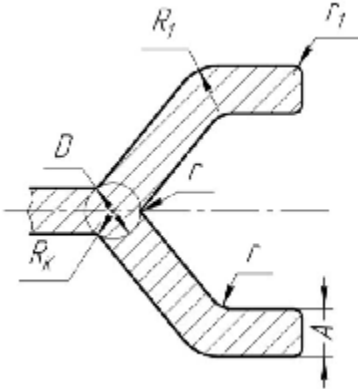


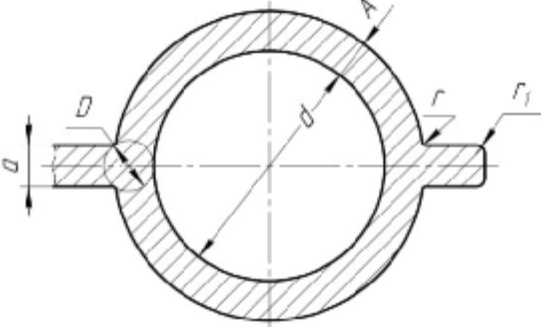
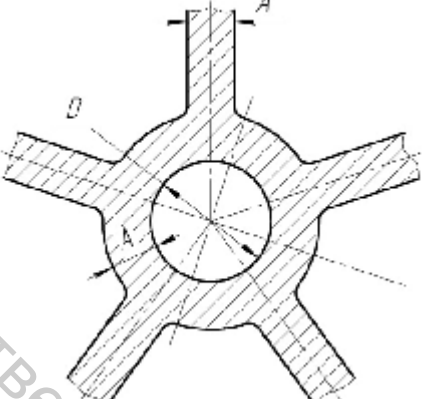
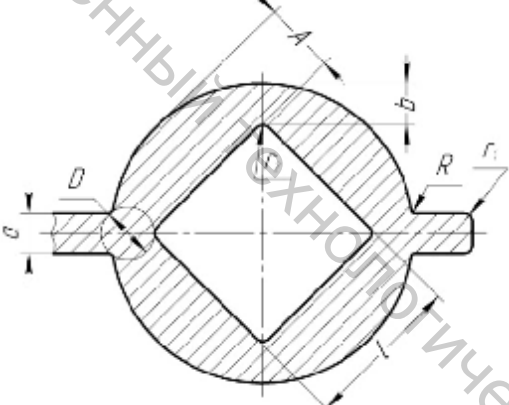
Рис. 18. Варианты конструкций внутренних ребер

При выполнении сопряжений элементов литых деталей с ребрами необходимо руководствоваться данными, приведенными в табл. 13.

Таблица 13

Варианты сопряжений элементов отливок с ребрами

Вариант сопряжения	Эскиз	Размеры элементов
Стенки с ребром посередине		$H \leq 5A$; $a = 0,8A$; $D = 1,5A$; $r = 0,5A$; $r_1 = 0,25A$
		$H \leq 5A$; $a = 0,8A$; $D = 1,25A$; $r = 0,5A$; $r_1 = R_1 = 0,25A$; $R = 1,5A$
Стенки с ребрами по краям		$H \leq 5A$; $A = a$; $D = 1,25A$; $r = 0,3A$; $r_1 = 0,25a$
Вилкообразное ребристое сечение		$R_1 = 1,5A$; $D = 1,25A$; $r = 0,5A$; $r_1 = 0,25A$

Кольцевое сечение с ребрами		$a=0,8A; r=1,25A;$ $r=0,5A; r_1=0,25A$
Кольцевое сечение с несколькими ребрами в узле		При $D \geq 4A$
Сечение с ребрами и квадратным отверстием		$b \leq 0,5A; R=0,8A;$ $r_1=0,25A; r_2=0,25A;$ $D=1,25A; A=a$

При конструировании ребер жесткости, обеспечивающих укрепление литых деталей типа муфт, втулок, фланцев и др., и требующих точного расположения, следует размещать такие ребра симметрично оси детали во избежание ее коробления.

При проектировании конструкций необходимо учитывать механические свойства литого материала. Например, чугуны лучше работают на сжатие и практически не воспринимают растягивающих нагрузок, поэтому ребра жесткости в чугунных деталях следует располагать так, чтобы они работали на сжатие (рис. 19).

При определении толщины ребер следует учитывать, что они должны затвердевать одновременно или несколько раньше сечений отливки, к которым примыкают, причем толщина ребер не должна превышать толщину стенки детали.

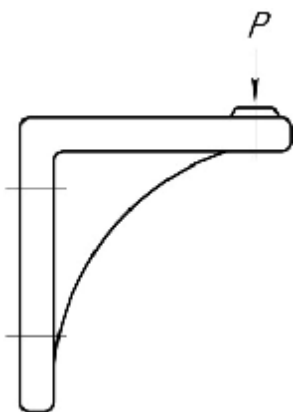


Рис.19. Кронштейн из чугуна с ребром жесткости

Форма ребер жесткости должна обеспечивать их свободную деформацию при усадке металла во время охлаждения. Кроме этого ребрам жесткости следует придавать криволинейную форму во избежание трещин в месте стыка их с основными стенками отливок. В некоторых случаях для повышения жесткости конструкции в направлении, перпендикулярном стенкам, в конструкциях применяют двойные стенки. Такие изделия находят применение в различных отраслях машиностроения. В большинстве случаев технологичная многостенная конструкция отливок позволяет устранить возникновение усадочных дефектов в сечениях

внутренних стенок блоков цилиндров и головок к ним, двигателей и др.

Конструкция литой детали должна выполняться с минимальным количеством бобышек, приливов, буртов и других элементов, образующих тепловые узлы, которые являются причиной возникновения усадочных раковин и рыхлости. Кроме этого при изготовлении оснастки для литья таких деталей приходится использовать съемные части модели и дополнительные стержни.

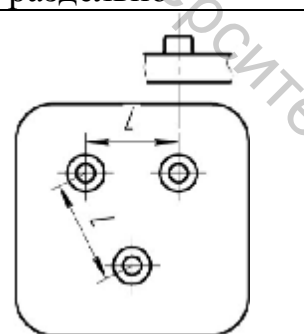
При конструировании наружных приливов необходимо:

- располагать их так, чтобы поверхность разъема формы проходила по приливам или поверхностям, к которым они подлиты, что позволит свободно извлекать модель из формы без применения съемных частей или стержней;
- при большом количестве разрозненных платиков, расположенных вне разъема формы, их следует объединять по крайним наружным точкам в один большой пластик, придав ему форму, удобную для извлечения модели из полуформы, причем механически обрабатываемые поверхности платиков, а также бобышек и приливов рекомендуется располагать на одном уровне, что обеспечивает возможность обработки детали напроход;
- при расстоянии между центрами бобышек под крепежные детали равном или меньшем расстояний, указанных в табл. 14, отдельные бобышки соединяют в одну;

Таблица 14

Расстояние между центрами бобышек, отливаемых раздельно

Диаметр резьбы крепежных деталей, мм	Размер L, мм для литья	
	В песчаные формы	В кокиль, литье под давлением
до 4	25	15
Св. 4 до 6	30	18
Св. 6 до 10	30	22
Св. 10 до 14	40	30
Св. 14 до 18	50	38



– наименьшую высоту бобышек и платиков, обеспечивающую свободную механическую обработку их поверхностей и определяемую наибольшим габаритным размером детали, принимать по данным табл. 15.

Таблица 15

Минимальная высота отливаемых бобышек

Максимальный габаритный размер детали, мм	Минимальная высота бобышки, мм	Максимальный габаритный размер детали, мм	Минимальная высота бобышки, мм
До 50	2	Св. 1000 до 1250	10
Св. 50 до 250	3	Св. 1250 до 1500	12
Св. 250 до 500	4	Св. 1500 до 1750	14
Св. 500 до 750	6	Св. 1750 до 2000	16
Св. 750 до 1000	8	Св. 2000	20

– высоту бобышек, платиков и других приливов выбирать так, чтобы она не превышала толщины стенки, на которой они находятся;

– сопряжения бобышек и приливов со стенкой детали выполнять плавными.

При конструировании литых деталей необходимо предусматривать беспрепятственное извлечение модельной оснастки после выполнения операций формовки как модели, так и стержня.

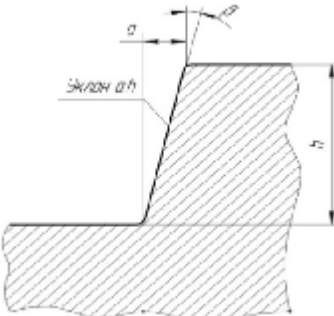
Для этого обрабатываемые и необрабатываемые поверхности деталей (а также моделей), перпендикулярные к плоскости разъема модели, выполняют с так называемым конструктивным уклоном (см. рис. в табл. 16). Конструктивные уклоны создают также благоприятные условия для направленного затвердевания отливки, способствующего получению качественного изделия.

Конструктивные уклоны на чертежах указывают величиной a в мм или отношением $\frac{a}{h}$ (табл. 16).

Угол наклона местных невысоких утолщений стенок (бобышек, приливов, платиков, планок) β рекомендуется увеличивать до 30-50°.

Таблица 16

Величина уклона в зависимости от высоты поверхности детали

Эскиз	h в мм	$\frac{a}{h}$	β
	До 25	1:5	11°30'
	Св. 25 до 500	1:10 1:20	5°30' 3°
	Св. 500	1:50	1°

Правильный выбор величины и направления конструктивных уклонов позволяет установить рациональную толщину стенок отливки, обеспечивающую минимальный расход материала.

Если конструктивные уклоны на чертеже детали не указаны, то уклоны назначают на чертеже модели. Подобные уклоны называются формовочными и выполняются в соответствии с ГОСТ 3212–92.

Величины и направления конструктивных уклонов сопрягаемых деталей должны быть увязаны между собой. Это необходимо учитывать при соединении нескольких деталей, образующих общую поверхность.

При конструировании узких полостей между отдельными частями отливки, различного рода пазов и выемок необходимо выделять их при необходимости в самостоятельные отливки.

2.2 Технологичность отливок, полученных литьем под давлением

Отливки, предназначенные для изготовления литьем под давлением, можно условно разделяют на четыре группы сложности (табл. 17).

Таблица 17

Группы сложности отливок

Группы сложности отливок	Характеристика поверхностей		Примеры отливок
	наружных	внутренних	
I. Простые	Прямолинейные и гладкие, с невысокими усиливающими ребрами, с буртиками, бобышками, отверстиями, фланцами, невысокими выступами и углублениями	Отсутствуют	Крышки, фланцы, ручки, диски, втулки, маховики, барашки, корпуса подфарников, решетки радиаторов и т.д.
II. Несложные	Прямолинейные и криволинейные, с наличием усиливающих ребер, буртиков, кронштейнов, бобышек, фланцев с отверстием и углублениями, открытой коробчатой или открытой конфигурации	Простые, с гладкими ровными участками в виде простейших геометрических фигур, без выступов и углублений	Корпусы простой коробчатой или цилиндрической конфигурации, кронштейны, колпаки, тубусы объективов, фигурные фланцы
III. Сложные	Криволинейные и прямолинейные, с незначительным числом пересекающихся плоскостей, имеющей выступающие части и углубления сложной конфигурации	Сложные, с двумя пересекающимися плоскостями или цилиндрическими поверхностями, с углублениями и выступами, ребрами, перемычками, бобышками	Сложные корпуса приборов, корпуса двигателей мотоциклов, велосипедов, мотороллеров, насосов, редукторов, картеров и коробок передач
IV. Особо-сложные и уникальные	Криволинейные и прямолинейные, пересекающиеся под углом, имеющие выступающие части и углубления очень сложной конфигурации	Сложные, с криволинейными и прямолинейными пересекающимися поверхностями, с наличием глубоких пересекающихся каналов, выступов, углубленных мест, ребер и перемычек	Блоки и головки блоков цилиндров автомобильных двигателей, сложные корпуса насосов, крыльчатки, сложные корпуса приборов и пр.

По назначению отливки классифицируют на три группы: особого назначения (с высокими требованиями по прочности), герметичные и декоративные.

При разработке чертежа отливки определяют оптимальную плоскость разъема литформы и указывают:

- все внешние и внутренние уклоны;
- поверхности, требующие дальнейшей механической обработки;
- отклонения размеров;
- участки поверхности, которые не должны иметь следов от выталкивателей, а также следов течения металла;
- требования по герметичности;
- виды защитных или декоративных покрытий;
- участки, на которых не допускается пористость.

При конструировании отливки следует стремиться к одной плоскости разъема. Для этого отливка не должна иметь внешних и внутренних поднутрений, препятствующих свободному удалению ее из литейной формы. Возможность создания одной плоскости разъема определяют по правилу световых теней.

Необходимо создавать прямые углы и достаточно округлые кромки в тех местах, где это практически осуществимо. Выемки и отверстия следует по возможности располагать перпендикулярно плоскости разъема. Если отливка располагается в полуформах, то для уменьшения усадочных внутренних напряжений внутренние стенки выполняют наклонными (рис. 20, а). Отливка расположенная в неподвижной **а** и подвижной **б** полуформах, должна иметь наибольшую поверхность стержня в подвижной полуформе (рис. 20, б). Боковое поднутрение препятствует свободному удалению с отливки из литформы и должны формироваться боковым стержнем или подвижной щекой (рис. 20, в). Устранение этого поднутрения позволяет удалять отливку в направлении перпендикулярном плоскости разъема. Внутренние крепежные фланцы (рис. 20, г) с поднутрениями, а можно вынести наружу в плоскость разъема, обеспечив этим свободный выход центрального стержня из плоскости отливки. Если конфигурация внутренней полости с поднутрениями (рис. 20, д) не может быть изменена, то технологическая конструкция отливки предусматривает выемку **е** под фланец, заменяющий дно. Поднутрение **ф**, образованное утолщением под крепежное отверстие (рис. 20, е), можно заменить равномерным утолщением **г** или размещение утолщения утолщением **h** на внешней стороне отливки.

В нетехнологичной конструкции отливки колеса турбины стержень **и** должен удаляться в сторону (рис. 20, ж); технологичная конструкция предусматривает формирование выемок выступами **к** подвижной и неподвижной полуформ. Боковые отверстия или окна в стенках отливки (рис. 20, з), требующие удаление стержня перед раскрытием литформы, могут быть образованы выступами **м** или **п**. Отливку водопроводного крана (рис. 20, и) можно изготавливать литьем под давлением, если предусмотреть удаление

стержня **р** вверх вместе с полуформой, стержня **q** – в сторону и криволинейного стержня **г** – по дуге.

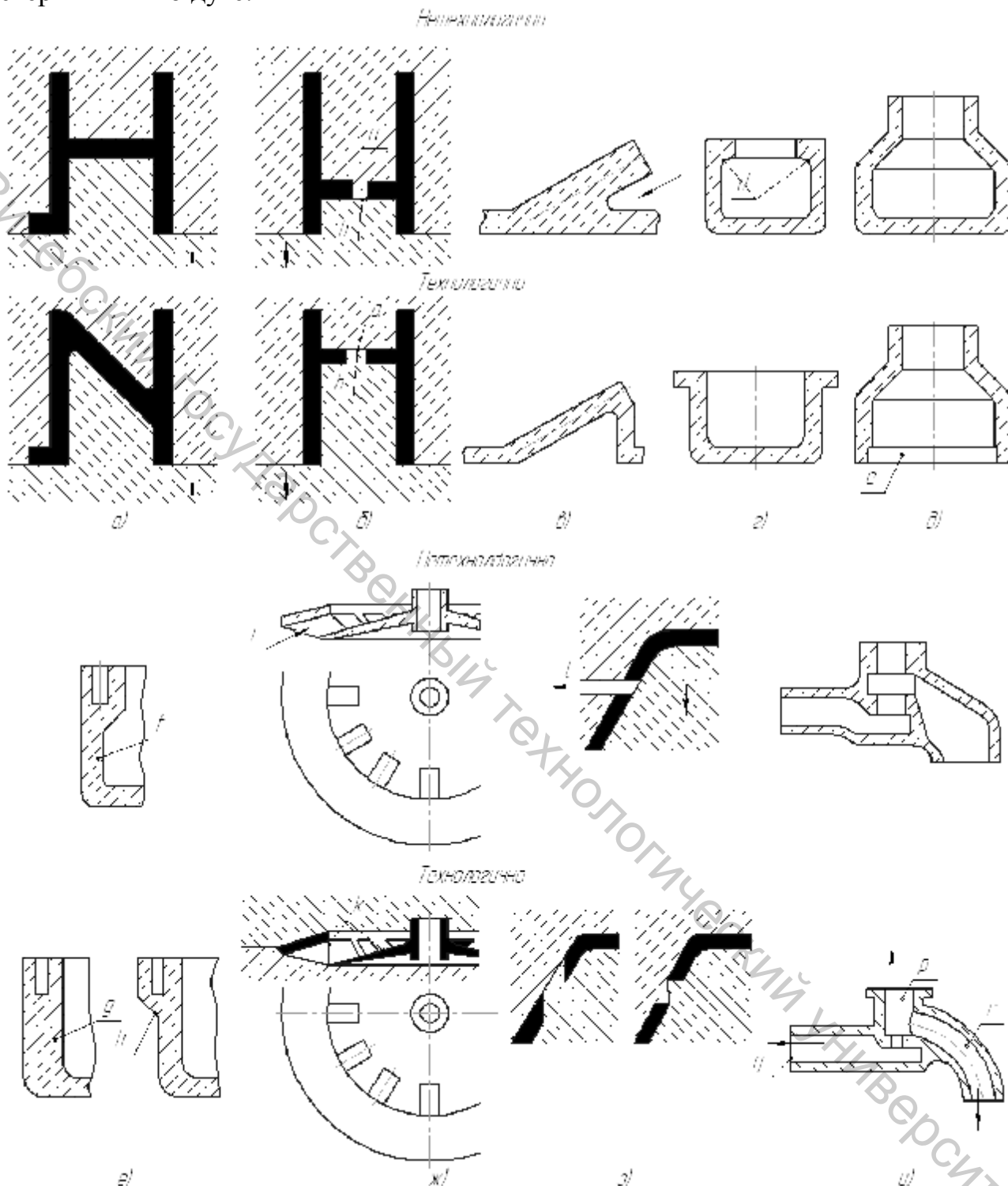


Рис. 20. Примеры выбора технологического варианта конструкции отливки

Толщина стенки определяется набором конструктивных и технологических факторов, главными из которых являются: масса отливки, жесткость конструкции, требование по прочности и герметичности, возможность заполнения, подпрессовки и выталкивания отливки.

В процессах литья под давлением направленность затвердевания отливки затрудняется высокими скоростями кристаллизации. Поэтому необходимо разрабатывать такие конструкции отливок, в которых металл затвердевал бы во всех сечениях одновременно. Этим условиям удовлетворяют только равносильные конструкции отливок.

В конструкции должны отсутствовать массивные скопления металла, отделенные друг от друга тонкими перегородками. На рис. 21 приведены примеры ликвидации утолщенных мест, образующихся при сочленении или пересечении стенок литых конструкций.

Конструкция отливки зависит от соотношения пределов прочности при сжатии и растяжении. Например, предел прочности при сжатии для магниевых сплавов в 1,5 – 2 раза превышает предел прочности при растяжении. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе конструкции отливки. На рис. 22 показаны примеры изменения конструкции отливки, обеспечивающие замену растягивающих напряжений на сжимающие.

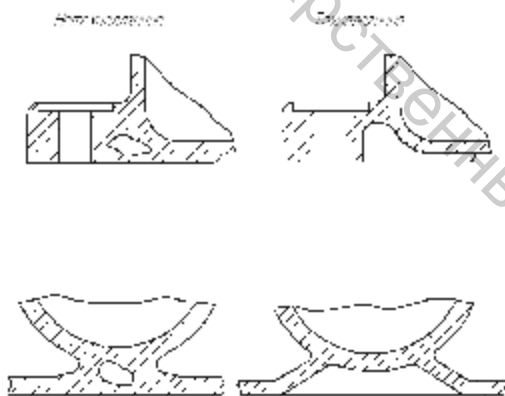


Рис. 21. Примеры устранения усадочных раковин

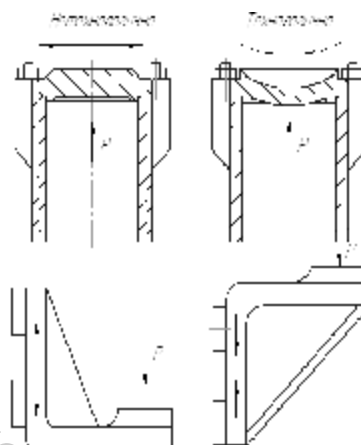


Рис. 22. Изменение конструкции отливки

Толщина сечения отливок зависит от прочности и технологических свойств сплавов. Значения минимально допустимой толщины стенки для различных сплавов в зависимости от площади внешней поверхности отливки приведены в табл. 18.

Таблица 18

Минимально допустимая толщина стенки отливок, мм

Площадь сплошной поверхности в см ²	Основа сплава					
	Олово, свинец	Цинк	Алюминий	Магний	Медь	Железо
До 25	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,7
25 – 100	0,7	1,0	1,5	1,8	2,0	2,2
100 – 125	1,1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,2
250 – 400	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	-
400 – 1000	2,0	2,5	4,0	4,0	-	-

Переходы и радиусы закруглений существенно влияют на величину внутренних напряжений, которые в местах сочленения разноименных отливок могут привести к появлению трещин. Поэтому необходимо предусматривать плавные переходы и радиусы закруглений.

Конфигурация перехода зависит от соотношения толщины сопрягаемых элементов и выбирается в соответствии с рекомендациями, приведенными выше.

Ребра жесткости применяют для усиления тонких отливок. Ребра должны иметь уклоны, по возможности равномерную толщину, закругленные внешние и внутренние края. В целях обеспечения равномерного уплотнения и охлаждения металла толщину ребер принимают близкой к толщине стенок. Рекомендуется следующее соотношение (рис. 23):

$$\delta_p = (0,8 \dots 0,9) \delta_{отл} \quad (3)$$

где δ_p – средняя толщина ребра, равная $0,5(\delta_1 + \delta_2)$.

Высота ребра S зависит от конфигурации отливки. Однако не рекомендуется:

$$S \geq 10 \delta_{отл} \quad (4)$$

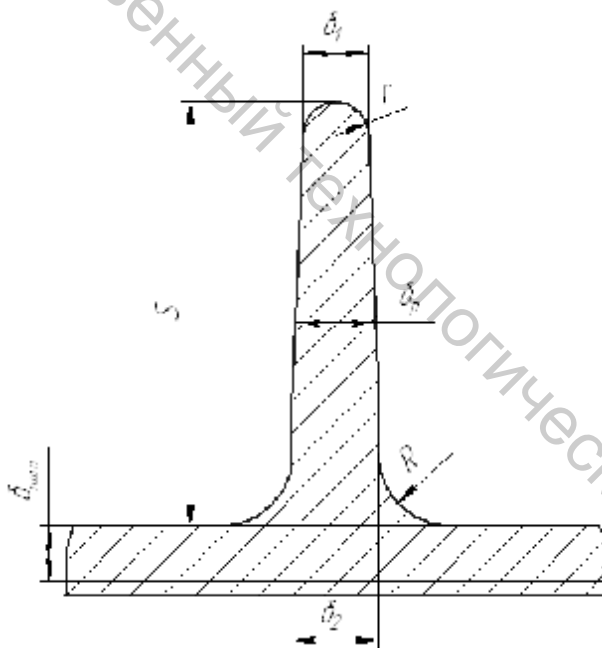


Рис. 23. Размеры ребра жесткости

Литейные уклоны и конусность предназначены для облегчения удаления отливки на поверхностях перпендикулярных плоскости разъема. Особенно важны литейные уклоны на внутренних поверхностях, оформляемых стержнями. Для внутренних поверхностей отливок, образуемых неподвижными стержнями, извлекаемых при помощи выталкивателей, необходим уклон бо́льший (рис. 24, а), чем при использовании подвижных стержней (рис. 24, б).

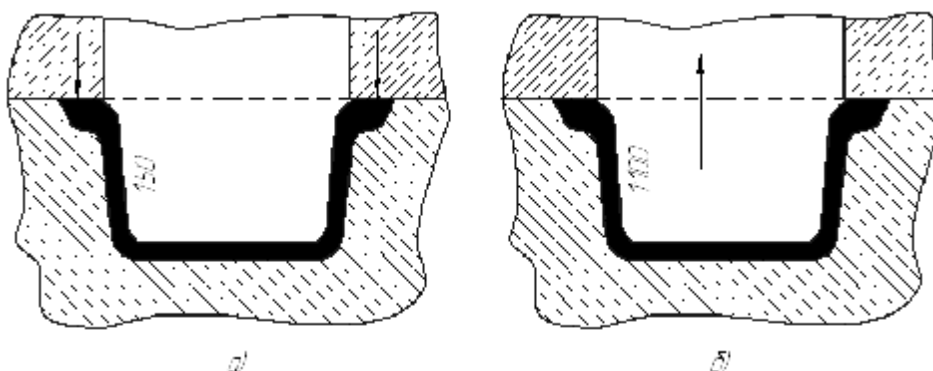


Рис. 24. Внутренние литейные уклоны отливок, формируемых неподвижным (а) и подвижным (б) стержнями

Величина литейных уклонов или конусности зависит от вида сплава, стенок отливки. Уклоны внешних и внутренних поверхностей отливки определяют по табл. 19, но они не должны быть меньше минимально допускаемых (табл. 20).

Таблица 19

Уклоны внешних и внутренних поверхностей

Основа сплава	Уклоны стенок			
	внешних	внутренних	внешних	внутренних
	в %			
Олово, свинец	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	До 0 ⁰ 20'	0 ⁰ 10' - 0 ⁰ 30'
Цинк	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	0 ⁰ 30' - 0 ⁰ 45'	0 ⁰ 30' - 1 ⁰
Алюминий	0,2 – 0,3	0,5 – 1,0	0 ⁰ 30' - 1 ⁰	0 ⁰ 30' - 1 ⁰
Магний	0,2 – 0,3	0,3 – 0,5	0 ⁰ 30' - 0 ⁰ 45'	0 ⁰ 30' - 1 ⁰
Медь	0,3 – 0,5	0,5 – 1,0	0 ⁰ 30' - 1 ⁰	1 ⁰ - 1 ⁰ 30'
Железо	0,5 – 0,7	0,7 – 1,2	0 ⁰ 45' - 1 ⁰	1 ⁰ - 1 ⁰ 45'

Таблица 20

Минимальные уклоны поверхностей отливок при литье под давлением

Сплавы	Поверхности				Сплавы	Поверхности			
	посадочные		прочие			посадочные		прочие	
	Наружные	Внутренние	Наружные	Внутрен- ние		Наружные	Внутрен- ние	Наружные	Внутрен- ние
Алюминиевые	15'	25'	30'	1 ⁰	Цинковые	15'	35'	15'	30'
Магниеые	15'	35'	30'	1 ⁰	Медные	30'	1 ⁰	45'	1 ⁰ 30'

Отверстия в отливках, получаемых литьем под давлением, выполняют тремя способами: полностью литьем, частично литьем, с последующей механической обработкой. В крупносерийном и массовом производстве выгодно получать литые отверстия. В толстостенных отливках из цинковых сплавов отверстия диаметром до 1 мм, из алюминиевых и магниевых сплавов отверстия диаметром до 1,5 мм и из медных сплавов до 3мм следует выполнять сверлением, ибо тонкие стержни быстро выходят из строя. Допустимые

параметры литых цилиндрических и резьбовых отверстий приведены в табл. 21 и 22.

Таблица 21

Допустимые параметры литых цилиндрических отверстий

Сплавы	Минимальный диаметр, мм		Максимальная глубина, выраженная в диаметрах для отверстий		Конусность отверстий, % от длины
	Практически рекомендуемый	Технологически возможный	глухих	сквозных	
Цинковые	1,5	1,0	6	12	0,2 – 0,5
Алюминиевые	2,5	1,5	3	6	0,5 – 1,0
Магниевого	2,0	1,5	5	10	0,3 – 0,5
Медные	3,0	2,5	3	4	0,8 – 1,5

Таблица 22

Минимальные размеры литых резьбовых отверстий, мм

Сплавы	Шаг	Диаметр	
		наружный	внутренний
Цинковые	0,75	6	10
Магниевого	1,00	6	15
Алюминиевые	1,00	10	20
Медные	1,50	12	-

При конструировании отверстий следует учитывать нецелесообразность применения длинных тонких стержней (рис. 25, а). Отверстий в боковой стенке (рис. 25, б), для оформления которых необходимы подвижные стержни, часто могут быть выполнены без стержней. Отверстия в боковых стенках лучше располагать параллельно друг другу (рис. 25, в), чтобы использовать для движения стержней один механизм. Боковая стенка с отверстием должна отстоять от другой стенки минимум на 3 – 4 мм. Следует избегать расположения отверстий в подвижной и неподвижной полуформах (рис. 25, д); в этом случае целесообразно использовать последующую механическую обработку. Если литые отверстия трудновыполнимо, то оно может быть обозначено центром под сверло (рис. 25, е). Нельзя допускать пересечения отверстий, требующих пересечения отверстий в литформе (рис. 25, з).

Толщина дна глухих отверстий должна быть минимальной, чтобы исключить действие чрезмерной усадки металла на стержень (рис. 25, и), иногда с целью устранения локальных утолщений рекомендуется выполнять отверстия или окна (рис. 25, к).

Разработка чертежа отливки включает: выбор положения отливки в литейной форме, места подвода расплава, конструкции литниковой и вентиляционной системы, назначение припусков на механическую обработку, уклонов и допусков на размер.

Положение отливки в форме и плоскость ее разъема должны обеспечить:

- извлечение отливки из неподвижной части формы;
- минимальное количество разъемов и удобство извлечения стержней;

- рациональное расположение литниковой и вентиляционной системы;
- извлечение отливки из формы манипулятором или роботом.

2.3 Литье в металлические формы (в кокили)

При конструировании деталей, изготавливаемых литьем в кокиль, учитывают особенности процесса получения отливок. К таким особенностям относятся ускоренное охлаждение отливок в металлической форме по сравнению с песчаной, металлическая форма не поддается усадке, из полости формы и стержней затруднен вывод газов, высокая теплопроводность стенок металлической формы усложняет получение тонкостенных отливок.

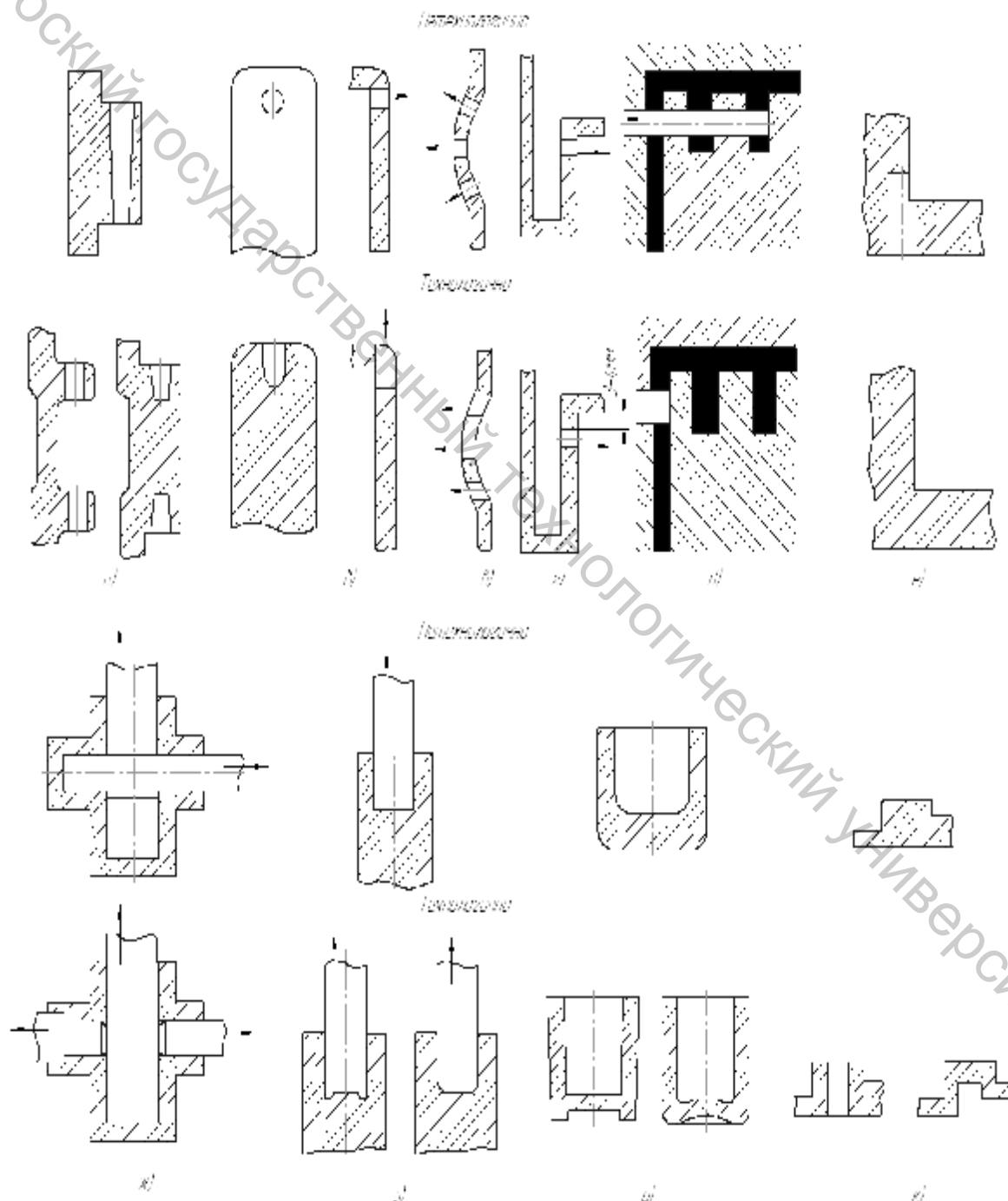


Рис. 25. Конструктивные варианты литых отверстий

При литье в кокиль увеличивается возможность появления в отливках различных дефектов (трещин, газовых раковин, недоливов и др.).

Рекомендации по конструированию литых деталей, получаемых в кокиле, аналогичны рекомендациям по конструированию деталей, отливаемых в песчаные формы.

Однако, учитывая особенности литья в кокиль, при конструировании деталей придерживаются дополнительно следующих рекомендаций:

- Минимальную толщину стенок в зависимости от вида сплава принимают по табл. 23.

- Толщину внутренних стенок и ребер жесткости, ввиду их худшего охлаждения, принимают 0,6—0,7 толщины наружных стенок.

- Конструктивные уклоны стенок деталей берут по табл. 16. Конусность ребер жесткости назначают 8–10%.

- Внутренние полости, образуемые металлическим стержнем, должны иметь уклон не менее 6° к плоскости разъема кокиля.

- Протяженные плоскости для лучшего отвода газа следует делать наклонными, края тонких стенок и отверстий усиливать отбортовкой, направленной в сторону стержня.

- Бобышки и приливы целесообразно располагать на внутренних поверхностях, формируемых песчаными стержнями.

- Радиусы закруглений назначают по ГОСТ 10948–64. Для мелкого цветного литья радиусы закруглений не должны быть менее 3–4 мм.

- Количество стержней должно быть минимальным, так как стержни ухудшают условия охлаждения отливок в форме и усложняют сборку кокилей.

- Минимальные диаметры и соответствующие им максимальные глубины для отверстий, которые могут быть получены литьем в металлические формы, приведены в табл. 24.

- Диаметры сквозных отверстий под крепежные детали (болты, винты, шпильки, заклепки) со стержнями диаметром до 48,0 мм, устанавливаемые с зазорами в сопрягаемые детали, определяют по ГОСТ 11284–75. Примеры конструктивного оформления деталей, получаемых литьем в кокиль, показаны на рис 25.

Таблица 23

Минимальная толщина стенки отливки

Сплавы	Площадь стенки, см ²	Минимальная толщина стенки, мм
Магниевые	< 30	3
Алюминиевые		3–4
Бронза		4–6
Чугун	< 25	4
Чугун без отбела	25-150	15
Сталь кислая	–	8
Сталь основная	–	10

Таблица 24

Конструктивные уклоны стенок отливок

Сплавы	Уклон, в % от высоты стенки отливки		
	Наружная поверхность отливки (стенки кокиля)	Внутренние поверхности (со стороны металлического стержня) при высоте стенки, мм	
		До 50	Св. 50
Цинковые	0,5	2	1
Магниевые	2,5	3	2–3
Медные	1,5	7	3–3,5
Алюминиевые	1–1,5	5	2–2,5
Чугун при длине стенки			
До 50	7		
51–100	5		
Св. 100	3		
Сталь	5		

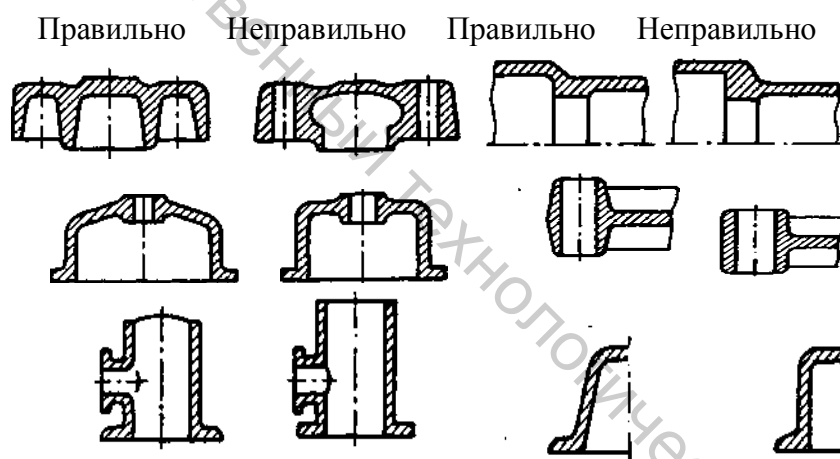


Рис. 26. Технологичность отливок в кокилях

При конструировании деталей из чугуна следует учитывать следующие положения:

- недопустимы резкие переходы от толстых стенок к тонким;
- следует избегать поднутрений в направлении извлечения отливки из формы;
- минимальная толщина отливки должна быть не менее 4 мм (при получении отливок с отбеленным слоем) и не менее 1,5 мм (при литье без отбела);
- минимальная толщина наружных стенок, сопрягаемых с внутренними, должна быть на 20–30 % больше толщины внутренних стенок;
- наружные и внутренние необрабатываемые углы детали должны иметь радиус скругления не менее 3 мм.

Кокили целесообразно использовать при изготовлении отливок следующих деталей: картеров коробок передач; колес гидротрансформаторов; корпусов масляных фильтров, водяных и масляных насосов, крышек насосов; корпусов тормозных цилиндров; поршней двигателей; головок блоков цилиндров двигателей; корпусов гидрооборудования, цилиндров, втулок, планок, корпусов редукторов, заготовок зубчатых колес.

2.4 Литье по выплавляемым моделям

Литье по выплавляемым моделям применяют для изготовления ответственных деталей, имеющих сложные по конфигурации поверхности, которые требуют повышенной точности размеров и малую шероховатость поверхностей, в станкостроении, тракторостроении и других отраслях машиностроения.

Высокую точность и качество поверхностей отливок обеспечивают с помощью пресс-форм, в которых изготавливают модель отливки, отсутствию раскачивания модели при извлечении модели из формы и отсутствию разъема опок и моделей, применению огнеупорных материалов тонкого помола.

Основное преимущество способа состоит в том, что отливка по своим размерам приближается к готовой детали, поэтому механическая обработка минимальна или полностью исключена, причем при изготовлении сложных и трудоемких деталей можно заменять цветные металлы черными.

Литье по выплавляемым моделям применяют для изготовления деталей из высоколегированных, жаростойких и сверхпрочных сплавов, плохо поддающихся обработке резанием, получение которых другими методами (литьем в песчаные формы, штамповкой, ковкой и т.д.) нецелесообразно из-за большого веса заготовок и значительного объема механической обработки; сложных по конфигурации деталей, которые при других способах изготовления невозможно изготовить целиком.

Литье по выплавляемым моделям из цветных сплавов, кроме приведенных выше случаев, применяют также для получения опытных отливок при отработке конструкций новых машин и приборов, когда возможно использовать более дешевые способы литья; взамен литья под давлением, когда необходимо изготовить небольшие партии отливок (50—100 шт.) или ответственные отливки из бронз и других медных сплавов.

По выплавляемым моделям практически можно отливать детали почти из любых литейных сплавов. Вес отливок колеблется от 10 г до 135 кг при размерах от 0,5 мм до 1250 мм. Обычно по выплавляемым моделям изготавливают мелкие и средние детали весом 3—12 кг.

При конструировании деталей необходимо учитывать следующие особенности.

По сложности изготовления отливки делят на четыре группы (табл. 26).

Общемашиностроительные нормативы времени на выполнение различных работ при литье по выплавляемым моделям предусматривают пять категорий сложности моделей, которые определяются сложностью конструкций отливки,

количеством частей пресс-формы и сложностью извлечения модели из нее (табл. 27).

Таблица 26

Сложность отливок и трудоемкость их изготовления

Группа сложности	Средняя трудоемкость изготовления пресс-форм в нормочасах	Среднее снижение трудоемкости механической обработки деталей в нормочасах	Минимальный размер серии отливок в шт. при годовом выпуске литья в <i>m</i>		
			100	250	500
I	81,4	0,23	500	300	200
II	96,6	0,50	200	150	100
III	111,8	1,0	100	80	50
IV	150,7	8,0	50	40	25

Примечание: I группа – детали простой конфигурации, механическая обработка которых требует применения несложных токарных операций; II группа – детали средней и повышенной сложности, механическая обработка которых состоит из ряда более трудоемких операций, включая фрезерование внутренних полостей; III группа – детали сложной конфигурации с развитыми внутренними и наружными поверхностями, требующие механической обработки с применением приспособлений; IV группа – детали особо сложной конфигурации, при обработке которых требуется специальный инструмент и приспособления.

Таблица 27

Категории сложности выплавляемых моделей

Категория	Конфигурация модели	Число частей пресс-форм	Число отъемных частей пресс-формы	Выем модели
I	Простая с незначительными выступами и углублениями	2	Нет	Легкий
II	Несложная с незначительными выступами и углублениями, с отверстиями большого диаметра; толстостенные модели		1	Затрудненный
III	Несложная, состоящая из криволинейных и прямолинейных плоскостей, с отверстиями и ребрами; простые по геометрии тонкостенные модели	2-3	2-3	Трудный
IV	Сложная, состоящая из криволинейных и прямолинейных плоскостей с ребрами и отверстиями		<5	Очень трудный
V	Особо сложная с большим количеством выступов и углублений с отверстиями, с большим количеством тонких стенок, ребер	>3	>5	Особо трудный

Примечания: В условиях крупносерийного и массового производства трудоемкость изготовления пресс-форм может быть значительно сокращена при нормализации конструкций. В мелко- и среднесерийном производстве применение пресс-форм с нормализованными деталями и сменными матрицами также весьма перспективно, так как позволяет на 30 – 40% и более снизить стоимость их изготовления и расширить область применения литья по выплавляемым моделям.

Точность изготовления отливок зависит от степени налаженности производства и точности выполнения всех технологических операций. Если суммарные отклонения от заданных размеров на всех операциях составляют не более 0,4%, то возможно получение отливки размером до 30 мм по 4-му классу точности; размером до 60 мм по 5-му классу точности. При увеличении суммарных отклонений на всех операциях до 1%, отливки тех же размеров получают в пределах 5-го и 7-го классов точности. Допускаемые отклонения размеров отливок, получаемых литьем по выплавляемым моделям, регламентированы ГОСТ 2689–54 (табл. 28).

Таблица 28

Классы точности отливок и допуски на размеры (в мм)

Номинальный размер отливки	Повышенная точность		Нормальная точность		Пониженная точность	
	Класс	Допуск	Класс	Допуск	Класс	Допуск
Св. 1 до 3	-	0,1	5	0.12	7	0,25
» 3 » 6	-	0.1		0,16		0,30
	4	0,1		0,20		0,36
0,12		0,24		0,43		
0.14		0.28		8	0.52	
5		0,34			0.62	1.00
	0,40	0.74	1.20			
	0.46	0.87	1.40			
	0.53	1.00	1.60			
	0.60	1.15	1.90			
» 18 » 30	7	1.35	8	2.20	9	3.30
» 30 » 50		1.55		2.50		3.80
» 50 » 80		8	9	10	12	
» 80 » 120						
» 120 » 180						
» 180 » 260	9	10	12	15		
» 260 » 360						
» 360 » 500	10	12	15	20		
» 500 » 630						

Величину припусков на механическую обработку поверхностей отливок, полученных из цветных металлов и сплавов, определяют для интервалов номинальных размеров в зависимости от положения отливки в форме по табл. 29. Экономичность литья по выплавляемым моделям в значительной степени определяется конструкцией отливаемых деталей. При этом конструирование деталей имеет некоторые особенности.

Толщина стенок. Отношение толщин сопряженных стенок деталей не должно превышать 4 : 1. Толщину стенок отливок из различных сплавов выбирают по табл. 30.

При переводе тонкостенных деталей, ранее изготавливавшихся из поковок или проката, на литье по выплавляемым моделям, толщину стенок в отливках следует назначать по 20–30% больше, причем следует также подбирать другой более прочный сплав.

Таблица 29

Припуски на механическую обработку наружных поверхностей отливок, изготавливаемых из безоловянных бронз, латуней и алюминиевых сплавов, в мм

Наибольший габаритный размер отливки	Положение поверхности при заливке	Припуск при номинальном размере				
		до 30	Св. 30 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500
До 30	Верх	0,8	—	—	—	—
	Низ, бок	0,4	—	—	—	—
Св. 30 до 80	Верх	1,0	1,2	—	—	—
	Низ, бок	0,6	0,8	—	—	—
» 80 » 120	Верх	1,2	1,4	1,6	—	—
	Низ, бок	0,8	1,0	1,2	—	—
» 120 » 260	Верх	1,4	1,6	1,8	2,0	—
	Низ, бок	1,0	1,2	1,5	1,5	—
» 260 » 500	Верх	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0
	Низ, бок	1,2	1,5	1,5	2,0	2,5

Примечания: 1. Допускается увеличивать припуски на внутренние поверхности: для припусков до 1,5 мм на 0,3 мм; для припусков 1,5 мм и более на 0,5 мм.

2. Припуски на отливки из оловянных бронз уменьшаются; для припусков до 1,5 мм на 0,3 мм, для припусков 1,5 мм и более на 0,5 мм.

Таблица 30

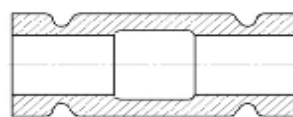
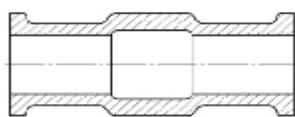
Толщина стенок, получаемых литьем по выплавляемым моделям

Сплавы	Габаритные размеры детали в мм									
	Св. 10 до 50		Св. 50 до 100		Св. 100 до 200		Св. 200 до 350		Св. 350	
	Номи- нальная	Мини- мальная	Номи- нальная	Мини- мальная	Номи- нальная	Минимал ьная	Номин альная	Минимал ьная	Номи- нальная	Минимал ьная
Оловянно-цинковые	1,0–1,5	0,7	1,5–2,0	1,0	2,0–3,0	1, 5	2,5–3,5	2,0	3,0–4,0	2,5
Цинковые Чугун	1,5–2,0	1,0	2,0–3,0 2,0–3,5	1,5	2,5–3,5 2,5–4,0	2,0	3,0–4,0 3,0–4,5	2,5 2,5	3,5–5,0 4,0–5,0	3,0
Медные Магниевого	2,0–2,5	1,5	2,5–4,0	2,0	3,0–4,0	2,5	3,5-5,0	3,0	4,0–6,0 4,0–6,0	3,5
Алюминиевые Сталь углеро- дистая					3,0–5,0		3,5-6,0		4,0–7,0 5,0–7,0	

Примечание. Стенки толщиной меньше 0,75 мм можно допускать только в том случае, если они имеют небольшую поверхность (на длине не более 8–10 мм).

Необходимо избегать отдельных, разобщенных скоплений металла, которые приводят к образованию усадочных рыхлот, раковин и утяжин (рис. 27). Кроме того, подобные детали, имеющие несколько узлов скопления металла, трудно получать литьем по выплавляемым моделям из-за крайней сложности прессформ и большого расхода материала на их изготовление.

При конструировании следует использовать принцип направленного затвердевания отливок; толщина стенок должна увеличиваться в направлении узла питания или снизу вверх по положению отливок при заливке.



Правильно

Неправильно

Рис. 27. Пример устранения рыхлоты, утяжин, раковин

При конструировании нагруженных отливок с большой разницей в толщине стенок следует предусматривать плавных переход от одной толщины к другой толщине стенки (рис. 28).

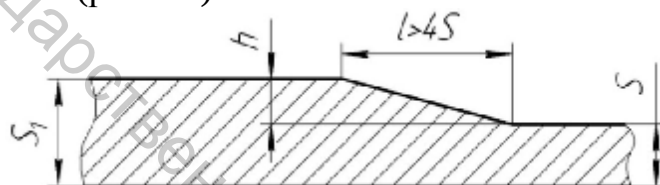
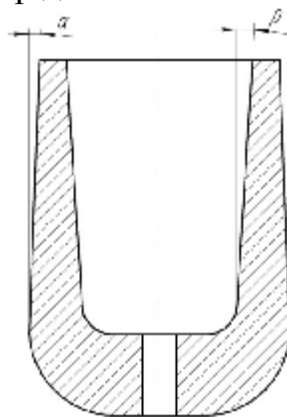


Рис. 28. Оформление перехода от толстой стенки к тонкой

Плоскости большого размера (100×100 мм и больше) выполнять с отверстиями (окнами). Промежутки между отверстиями и краем формы для обеспечения необходимой жесткости не должны превышать 50 мм.

Конструктивные (литейные) уклоны по наружным поверхностям деталей выполняют в направлении извлечения легкоплавких моделей из прессформ, по внутренним – в направлении удаления стержней и вкладышей из моделей (рис. 29).

Для деталей типа кольца или цилиндра при назначении толщины стенки необходимо учитывать возможность появления эллипсности, величина которой тем больше, чем больше диаметр детали.



$$\alpha = 0,5 \div 3^\circ; \beta = 1 \div 5^\circ$$

Рис. 29. Конструктивные уклоны наружных и внутренних поверхностей отливок

Толщина кромок. При конструировании деталей с постепенно суживающимся профилем (например, гребных винтов, турбинных и компрессорных лопаток) необходимо предусматривать для получения кромки минимальной толщины плавное уменьшение толщины сечения, чтобы избежать образования трещин при охлаждении. Угол скоса поверхности не должен превышать 15° . Вдоль тонкой кромки (рис. 30, а) делают технологическое утолщение (рис. 30, б), которое удаляют при механической обработке; практически минимальную толщину кромки можно принимать 0,3–0,4 мм.

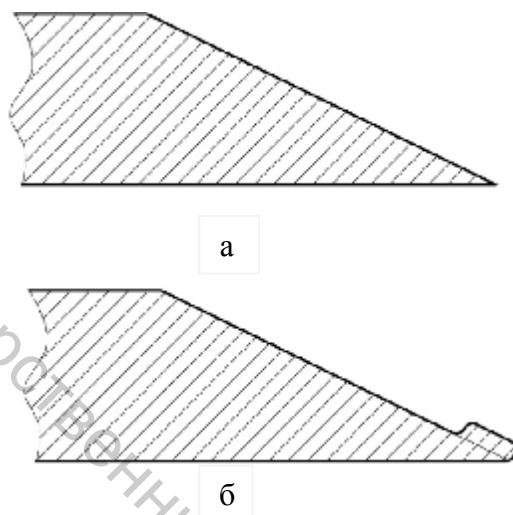


Рис. 30. Скосы на поверхностях отливок

Ребра жесткости. Прочность детали повышают не увеличением толщины ее стенки, а применением ребер жесткости. При литье по выплавляемым моделям, в отличие от других методов литья, ребра жесткости располагают на наружных поверхностях детали. Толщину ребер жесткости принимают 0,7–0,8 толщины стенки, чтобы ребра затвердевали раньше стенки. Слишком большое количество ребер жесткости усложняет технологический процесс получения отливок.

Радиусы закруглений. Величина радиусов закруглений может колебаться в широких пределах. Минимальный радиус при одинаковой или малой толщине стенок обычно принимают 1–2 мм. Уменьшение радиуса в этом случае снижает прочность отливки. При значительной разнице в толщине стенок радиусы закруглений увеличивают до 5–10 мм и более. При выборе радиусов закруглений руководствуются ГОСТ 10948–64. Во всех случаях необходимо избегать Y-образных сопряжений трех стенок под острыми углами, которые заменяют вильчатыми сопряжениями.

Отверстия. Литьем по выплавляемым моделям можно получить сквозные, глухие или заглушенные с одной стороны литые отверстия. Сквозные литые отверстия диаметром $d = 5$ мм и длиной $l = (4 \div 6)d$ получают без затруднений; отверстия диаметром менее 3 мм, а также сквозные отверстия

$\frac{d}{l} \leq 0,5$ получать трудно, так как значительно сложнее изготовить керамическую форму удовлетворительного качества.

Минимальный диаметр отверстия принимают 0,5 мм в стенках из цветных сплавов толщиной 1 мм и из других сплавов толщиной 1,5 мм.

Расстояние h от отверстия до края детали назначают: для деталей толщиной более 3 мм, ограниченных прямыми кромками (рис. 24, а), $h \geq d$; для цилиндрических (рис. 24, б) $h > d$; при толщине стенки менее 3 мм расстояние до края увеличивают.

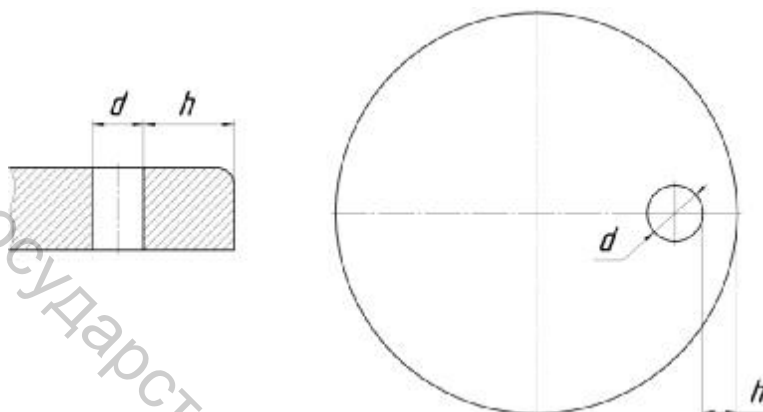


Рис. 31. Правила выполнения нецентральных отверстий

Диаметры сквозных отверстий под крепежные детали со стержнями диаметром 1–48 мм, устанавливаемые с зазорами в соединяемые детали, должны соответствовать ГОСТ 11284–75.

Глухие литые отверстия применяют лишь в крайних случаях, диаметры глухих отверстий должны быть не менее 3 мм; при $\frac{d}{l} < 1$ отверстия получить трудно. Дно глухих отверстий выполняют закругленным, а не плоским. Отверстия диаметром менее 5 мм, которые не отливают, а получают после механической обработки, целесообразно намечать сферическими углублениями на отливке.

Допускаемая глубина сквозных и глухих отверстий приведена в табл. 31.

Таблица 31

Допускаемая глубина отверстий при литье по выплавляемым моделям, в мм

Диаметр отверстия	Глубина отверстия		Диаметр отверстия	Глубина отверстия	
	сквозного	глухого		сквозного	глухого
3–5	5–10	До 5	40–60	120–200	50–80
5–10	10–30	5–15	60–100	200–300	80–100
10–20	30–60	15–25	>100	300–350	100–200 и более
20–40	60–120	25–50			

Пазы. Следует избегать применения глубоких пазов и узких полостей, для оформления которых могут потребоваться специальные стержни.

Минимальное расстояние между ребрами, образующими паз (рис. 32), принимают: для цветных сплавов $b \geq 1 \text{ мм}$, для стали $b \geq 2,3 \text{ мм}$, при условии $H \leq 2b$.

Резьбы и зубья. Резьба в отливках обычно получается неровной, не отвечает требованиям действующих стандартов, требует калибровки метчиками или плашками. Точность ее не превышает 8-го качества точности, поэтому она применима только для неответственных деталей или при использовании сплавов, трудно обрабатываемых резанием, а также для получения специальных резьб с крупным шагом, причем наружную резьбу отливать легче, чем внутреннюю.

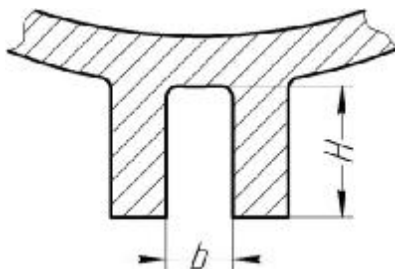


Рис. 32. Пример выполнения пазов на отливке

Отливать зубья легче, чем резьбу. Получать зубья литьем экономически более целесообразно, чем механической обработкой. Шаг и радиальные размеры в местах зацепления получают достаточно точными и не требующими механической обработки. При особо жестких требованиях по точности размеров литые зубья шлифуют.

Параллельные плоскости в деталях. Не следует конструировать отливки с большими параллельными плоскостями, так как выполнение их в литье сложно; поверхности вследствие усадки и коробления моделей получаются неровными; для выравнивания их требуется дополнительная механическая обработка. Поэтому при конструировании отливок с параллельными плоскостями следует предусматривать устройство наружных опорных или контурных буртиков, каемок или ребер, выступающих над основной поверхностью (рис. 33), или технологических сквозных отверстий для скрепления параллельных стенок керамической формы дополнительными перемычками.

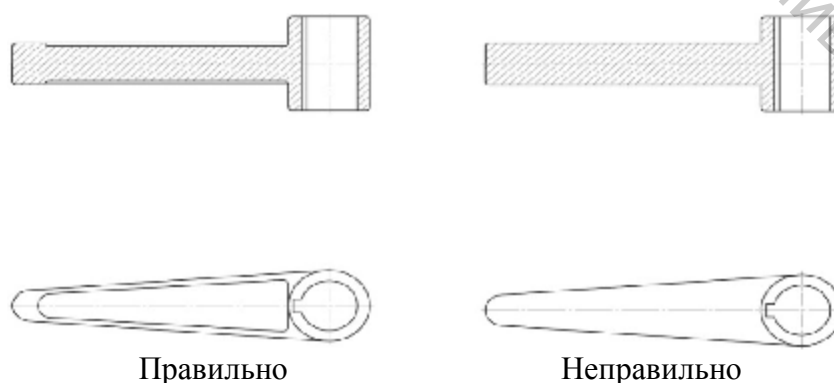
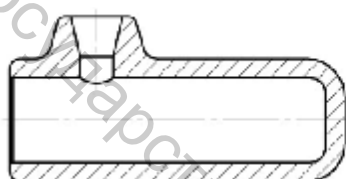


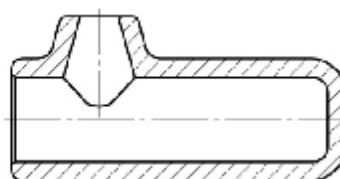
Рис. 33. Пример конструирования отливки с параллельными плоскостями

Приливы и бобышки. Эти элементы не должны препятствовать свободному извлечению моделей из прессформ, поэтому такие элементы следует располагать на внешних поверхностях детали. Бобышки и приливы должны плавно переходить в тело детали по большим радиусам и конусным поверхностям (в пределах 30–50°). Двусторонние бобышки конструировать не рекомендуется, так как количество приливов и бобышек должно быть минимальным.

Внутренние полости. В конструкции литых деталей, получаемых литьем по выплавляемым моделям, рекомендуется избегать внутренних полостей, карманов, поднутрений, усложняющих изготовление модели, требующих применение керамических и карбамидных стержней. Если внутренние полости необходимы, то их следует выполнять без уширений внутри детали (рис. 34), но с увеличением размеров в направлении контура.



Правильно



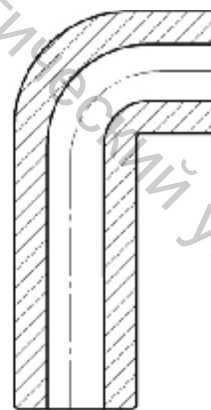
Неправильно

Рис. 34 Выполнение внутренних полостей в отливках

При криволинейных полостях следует избегать внутреннего радиуса, чтобы полость можно было образовать двумя стержнями (рис. 28). Технология литья по выплавляемым моделям допускает использование растворимых материалов для стержней, но это связано с удорожанием формообразования.



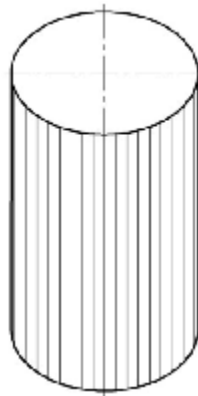
Правильно



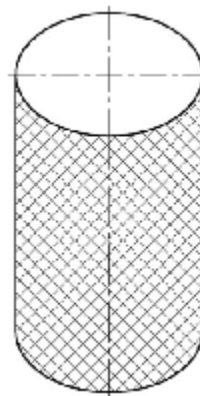
Неправильно

Рис. 35 Выполнение криволинейных полостей

Рифленые поверхности. При проектировании таких поверхностей следует избегать косога сеччатого рифления (рис. 36, б). Прямое рифление (рис. 36, а) позволяет проще удалить модель из формы. Элементы рифленой поверхности лучше выполнять прямоугольного профиля (рис. 37, а), избегая сложных профилей (рис. 37, б).

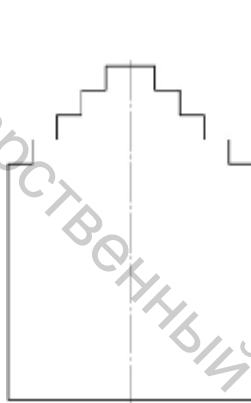


Правильно

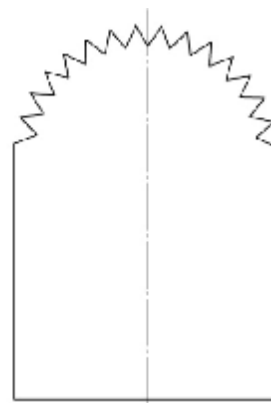


Неправильно

Рис. 36. Изготовление рифленых поверхностей



Правильно



Неправильно

Рис. 37. Пример изготовления элементов рифлений

2.5 Литье в оболочковые формы

Основными преимуществами литья в оболочковые формы по сравнению с литьем в песчаные формы являются:

- меньшая шероховатость поверхности и более высокая размерная точность отливок;
- уменьшение объема обрубных и очистных работ до 50%;
- возможность получения тонкостенных отливок из стали, чугуна и цветных сплавов практически любого химического состава;
- сокращение на 40–50% или полное устранение механической обработки;
- экономия металла до 30–50%;
- снижение брака отливок;
- снижение расхода формовочных материалов в 10–20 раз;
- сокращение количества технологического оборудования и транспортных средств, отпадает потребность в сушильных печах;
- простота механизации и автоматизации технологического процесса изготовления отливок.

Этот способ используют преимущественно для изготовления мелких и средних по весу отливок (до 80 кг).

В отдельных случаях получают отливки весом до 150 кг, наибольшим размером 800 мм.

Литье в оболочковые формы применяют вместо литья по выплавляемым моделям, если получаемые отливки удовлетворяют требованиям по шероховатости поверхностей и точности размеров. Этим способом труднее получать отливки с развитой горизонтальной поверхностью, однако легче отливать контурные тонкостенные отливки из серого и магниевого чугуна, стали и цветных сплавов.

Точность отливок. Допускаемые отклонения размеров для отливок из стали можно брать по I классу точности ГОСТ 26645–85, для чугуна по классу I точности ГОСТ 26645–85. Допуски на размеры из цветных сплавов принимают по ГОСТ 2689–54*. Отклонение размеров отливок из любых сплавов могут быть доведены до 0,2–0,5 мм на 100 мм, если направление размера не пересекает разъем формы. При наличии разъема отклонения находятся в пределах до 0,5 мм.

Для снижения стоимости оснастки необходимо уменьшать количество размеров, имеющих допуски.

Шероховатость поверхностей. Экспериментальные данные о шероховатости поверхностей приведены в табл. 32.

Таблица 32

Шероховатость поверхностей отливок при литье в оболочковые формы

Сплавы	Высота микронеровностей, в мкм
Силумин	6–17
Латунь кремнистая	12–20
Чугун серый	12–20
Сталь углеродистая	18–40

Основные рекомендации по конструированию деталей

Конструирование деталей, отливаемых в оболочковые формы, имеет следующие особенности:

– Этим способом выполняют отливки с острыми углами, тонкими стенками и ребрами, а также с художественными рельефами. В зависимости от жидкотекучести сплава и сложности отливки припуски назначают в мм не менее:

- Мелкие отливки (кроме стальных) 2,0–2,5;
- Средние (и мелкие стальные) отливки 3,0–4,0

По сравнению с литьем в песчаные формы достигается значительная экономия металла.

Припуск на механическую обработку при литье в оболочковые формы (рис. 32, б) берут меньший, чем при литье в песчаные формы (рис. 32, а).

– Сокращение или лучше полное устранение в конструкциях деталей сочетаний массивных сечений с тонкими, так как при литье в оболочковые формы применение холодильников и прибылей усложняет процесс изготовления оболочек и снижает производительность установок.

– Возможность назначать уклоны значительно меньшие, чем рекомендует ГОСТ 3212–92 (5° , 3° , 1° , $30'$). Конструктивные уклоны на внутренних стенках позволяют оформлять внутренние полости не стержнем, а по модели.

При толщине стенок 10–12 мм можно выполнять отверстия диаметром 6 мм и более по модели (без стержней). При большей толщине стенок отверстия малого диаметра выполнять нецелесообразно.

Разъем формы должен быть по возможности прямолинейным. Излишние разъемы усложняют изготовление модельной оснастки.

Конфигурация детали в целом должна обеспечить возможность извлечения модели из формы с минимальным числом разъемов, без отъемных частей и с минимальным количеством стержней.

Установочные базы не следует располагать на верхней поверхности отливки, поверхности, образуемой стержнем, и в местах подвода металла к отливке.

В зависимости от толщины сопрягаемых стенок радиусы закруглений принимают 1, 2, 3, 5, 8, и 10 мм. Для стальных отливок радиусы закруглений должны быть не менее 3 мм. Переходный угол для оформления различных утолщений на отливке следует брать 30 – 45° .

При конструировании деталей необходимо учитывать технические характеристики машин для изготовления полуформ и стержней.

3 ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ЗАГОТОВОК ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Порошковая металлургия позволяет с помощью различных способов получить из дисперсных материалов сложные изделия с комплексом уникальных свойств, обеспечивая при этом их высокую размерную точность деталей различного назначения и коэффициент использования материалов до 95–98%.

В настоящее время находят промышленное применение различные методы порошковой металлургии. Рассмотрим методы, которые находят наибольшее применение в условиях массового изготовления деталей из порошков.

Холодное прессование в закрытых пресс-формах относится к наиболее распространённому способу получения порошковых изделий. В процессе прессования шихта, засыпанная в полость пресс-формы, под действием приложенного к пуансону давления уплотняется. При этом плотность порошка возрастает и распределяется по объёму заготовки неравномерно. Часть нагрузки расходуется на преодоления трения частиц порошка о стенки пресс-формы и трения между частицами, что препятствует выравниванию действующих напряжений.

Объём изделий при прессовании изменяется в результате смещения отдельных частиц относительно друг друга и деформации материала частиц. Уплотнение происходит на первой стадии процесса, что связано с перераспределением частиц и более плотной упаковкой за счет поворота и перемещения частиц. Затем начинается пластическое деформирование приконтактных участков. В ходе деформации частиц порошка контактная поверхность увеличивается и сглаживается; разрушается оксидная плёнка в зоне контакта; протекает механическое сцепление и холодная сварка.

В зависимости от способа приложения давления используют одностороннее и двухстороннее прессование. Одностороннее прессование применяется при изготовлении изделий простой конфигурации типа пластин и дисков с небольшим отношением высоты к поперечному диаметру $h/d \leq 1$, а так же изделий типа гладких втулок с отношением высоты к минимальному значению толщины стенки $h/S_{min} \leq 3$. Двухстороннее прессование осуществляется приложением давления к порошковой шихте одновременно сверху и снизу. При этом более плотными оказываются верхняя и нижняя части прессовки; в середине прессовки сохраняется зона пониженной плотности.

Двухстороннее прессование обычно применяется для изделий с отношением высоты к диаметру в пределах $1 \leq h/d < 5$, а так же деталей типа втулок при $3 \leq h/S_{min} < 20$.

При одновременном приложении давления и нагреве порошковой шихты до температуры 1200–1450 °С применяют горячее прессование. Нагрев и прессование производится в графитовых пресс-формах, имеющих хорошую электропроводность и высокую теплопроводность. Нагрев осуществляется электрическим током. Ограниченная прочность графита не позволяет проводить процесс прессования при давлении более 30–40 МПа. Кроме того,

графит реагирует с оксидами (восстанавливает их), переходными металлами и их нитритами и силицидами. Для изготовления пресс-форм используются жаропрочные сплавы, позволяющие прилагать достаточно высокие давления при температурах 1100-1300 °С.

Горячее прессование по сравнению с холодным позволяет снизить давление почти на порядок. В большинстве случаев применение горячего прессования ограничивается прочностью материала пресс-форм.

Холодная штамповка пористых заготовок применяется для получения деталей сложной формы с низкой остаточной пористостью (до 35%). При холодной штамповке соблюдаются следующие условия: форма и размеры исходной заготовки должны быть такими, чтобы расширяющиеся поверхности достигали боковых стенок штампа в процессах штамповки до момента образования поверхностных трещин; течение материала должно осуществляться в непрерывно уменьшающееся сечение полости инструмента.

Исходная плотность заготовок должна быть не менее 88–92%, после штамповки 97–99%. Холодная штамповка применяется для изготовления изделий сложной формы небольшой массы. Наиболее распространённой операцией холодной штамповки является калибровка.

Горячая штамповка пористых заготовок осуществляется преимущественно по трём основным схемам – свободная осадка, осадка в открытых и закрытых штампах. Лучшие условия уплотнения обеспечивает осадка в закрытых штампах, худшие – свободная.

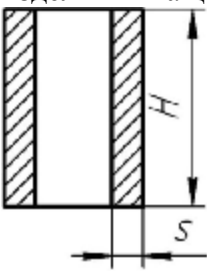
Нагрев заготовок перед штамповкой обеспечивает: уменьшение сопротивления металла деформированию; интенсификацию диффузионных процессов и гомогенизацию материала; технологическую прочность для предотвращения разрушений.

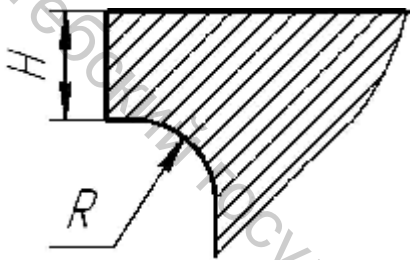
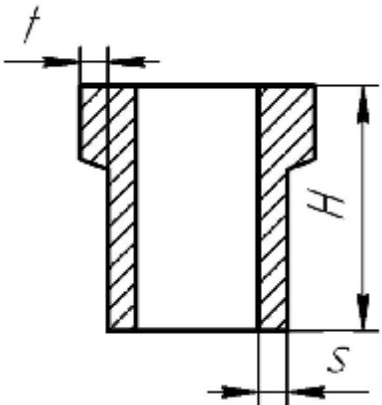
Особенности конструкций деталей из порошковых материалов

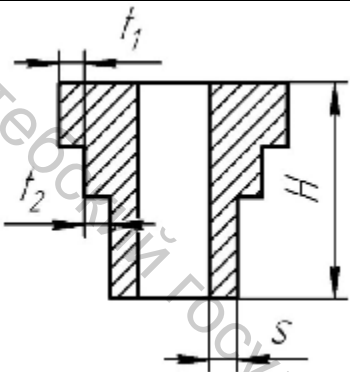
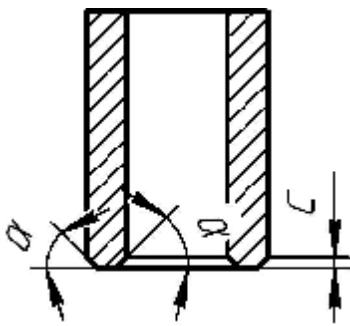
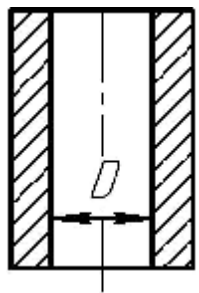
Специфика изготовления изделий из порошков накладывает ряд требований на оформление конструктивных элементов в части соотношения размеров, толщин стенок, размеров буртов и отверстий, конусности поверхностей и др. Некоторые конструктивные элементы и требования к ним приведены в таблице 33.

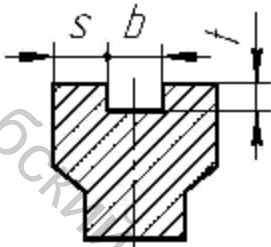
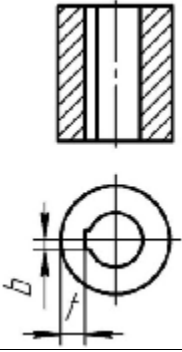
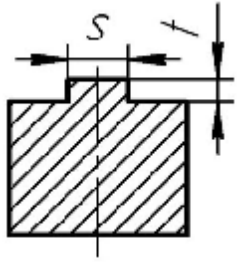
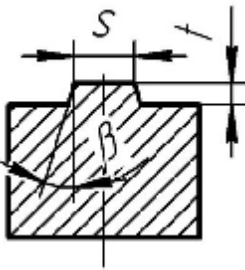
Таблица 33

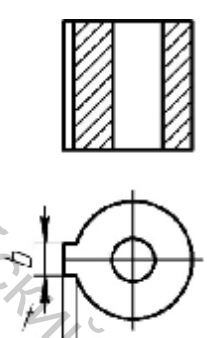
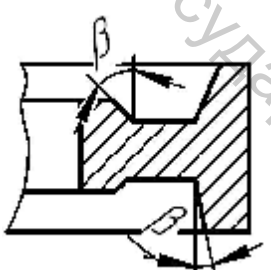
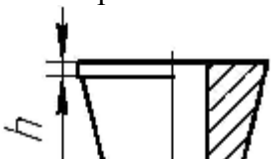
Требования к конструктивным элементам порошковых изделий

Элемент, тип изделия	Рекомендуемые параметры	Рекомендуемая технология формования
Стенка: изделия типа цилиндра 	$s \geq 0,8 \text{ мм}; \frac{H}{s} \leq 1$ $s \geq 0,8 \text{ мм}; \frac{H}{s} \leq 1$ $s \geq 2 \text{ мм}; \frac{H}{s} \leq 1 \text{ мм}$	Формование пористых изделий односторонним прессованием; двухсторонним прессованием; поперечным прессованием

	$s \geq 2\text{ мм}; \frac{H}{s} \leq 1$ $s \geq 2\text{ мм}; \frac{H}{s} \leq 1$ $s \geq 2\text{ мм}; \frac{H}{s} \leq 5; H \geq 40\text{ мм}$	Штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок: односторонней осадкой; двухсторонней осадкой: поперечным уплотнением
Скругление: изделия с переходами по высоте 	$R \geq 0,25\text{ мм};$ $R = (0,3 \div 0,5)H$	Прессование пористых изделий Штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок
Бурт: изделие с одним переходом по высоте на наружной поверхности 	$t \geq 0,8\text{ мм}$	Двухстороннее прессование пористых изделий
	$t \leq 3\text{ мм}; \frac{H}{s} \leq 2;$ $t > 3\text{ мм}; \frac{H}{s} \leq 2;$ $t > 3\text{ мм}; 2 < \frac{H}{s} \leq 15$	Штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок: двухсторонней осадкой заготовки без бурта с поперечным течением материала; двухсторонней осадкой заготовки с буртом; двухсторонней осадкой бурта с последующим поперечным уплотнением всей заготовки

Изделия с двумя и более переходами на наружной поверхности	$t_1, t_2 \geq 0,8 \text{ мм}$	Двухстороннее прессование пористых изделий
	$t_1 \leq 3 \text{ мм}; \frac{H}{s} \leq 2$ t_2 – не регламентируется $t > 3 \text{ мм}; \frac{H}{s} \leq 2$ t_2 – не регламентируется $t > 3 \text{ мм}; \frac{H}{s} \leq 2$ t_2 – не регламентируется	Штамповка высокоплотных изделий двухсторонней осадкой заготовки без бурта с поперечным течением материала; двухсторонней осадкой пористой заготовки с буртом; двухсторонней осадкой бурта с последующим поперечным уплотнением всей заготовки
Фаска: изделия любой формы	$0 < \alpha < 90^\circ$	Прессование пористых изделий
	$0,15 \leq c \leq 0,5 \text{ мм}$	Штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок
Отверстие: изделия любой формы	$D > 1 \text{ мм}$	Прессование пористых изделий
	$D > 10 \text{ мм}$	Штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок

Паз: изделия любой формы с пазами на торцах	$s, b \geq 2\text{мм};$ t – не регламентируется	Прессование пористых изделий
	$s \geq 2\text{мм}; b \geq 5\text{мм};$ t – не регламентируется $s, \geq 2\text{мм}; b \geq 5\text{мм};$ $t < 3\text{мм}.$	Штамповка высокоплотных изделий: осадкой пористой поковки с предварительно выполненным пазом; осадкой пористой заготовки без предварительно выполненного паза
Паз: изделия любой формы с пазами на внутренней и наружных поверхностях 	$s \geq 2\text{мм};$ b и t – не регламентируется	Прессование пористых изделий; штамповка высокоплотных изделий осадкой пористой заготовки с предварительно выполненным пазом
Выступ: изделие любой формы с выступами на торце  	$s \geq 2\text{мм}; t > 0,5\text{мм}$	Прессование пористых изделий составным пуансоном
	$s \geq 5\text{мм}; t \geq 3\text{мм}$	Штамповка высокоплотных изделий осадкой пористой заготовки с предварительно выполненным выступом
	$s \geq 2\text{мм}; t \leq 0,5\text{мм}; b \geq 3^\circ$	Прессование пористых изделий цельным пуансоном
	$s \geq 2\text{мм}; t \leq 3\text{мм}; b \geq 5^\circ$	Штамповка высокоплотных изделий осадкой (с выдавливанием) пористой заготовки без предварительно выполненного выступа

Изделия с выступами на внутренней или наружной боковой поверхности 	$b \geq 2\text{мм};$ t – не регламентируется	Прессование пористых изделий
	$b \geq 5\text{мм}; t \leq 3\text{мм}$	Штамповка высокоплотных изделий осадкой пористой заготовки с предварительно выполненным выступом
Уклон: изделия типа шестерен, шкивов и т.п. 	$b \geq 5^\circ$	Прессование пористых изделий, штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок
Зуб: изделия типа цилиндрической шестерни	$m \geq 0,5\text{мм}$	Прессование пористых изделий
	$0,5 \leq m \leq 2\text{мм}$	Штамповка осадкой с поперечным течением материала пористой заготовки без предварительно выполненных зубьев
	$m \geq 2\text{мм}$	Штамповка осадкой пористой заготовки с предварительно выполненными зубьями
Рифленая поверхность: изделия с рифленой поверхностью 	$g \geq 30^\circ$	Прессование пористого изделия, штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок с нерифленой поверхностью
Поясок: изделия с конической поверхностью 	$h \geq 1\text{мм}$	Прессование пористых изделий; штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок

Сложность изготовления прессующего инструмента, его стойкость и стоимость определяют целесообразность изготовления детали методами порошковой металлургии. Особенно важно определить оптимальную конфигурацию детали. В ряде случаев целесообразно, рассмотрев конструкцию узла машины, изменить конфигурацию изготавливаемой детали, чтобы сделать ее более технологичной при изготовлении методами порошковой металлургии. Это позволит изготовить более простой инструмент и создать предпосылки для ее массового изготовления.

Рассмотрим рекомендации по изменению конструкции изготавливаемой детали с целью облегчения процесса формирования и упрощения конструкции инструмента.

Одним из основных геометрических показателей, характеризующих возможность изготовления детали методами порошковой металлургии, является отношение ее длины к поперечным размерам изделия. Особо благоприятным для получения равномерной плотности прессовки является соотношение этих показателей 1:1. Однако практически это соотношение может изменяться в широких пределах. Например, при двустороннем прессовании на прессах-автоматах можно получить удовлетворительные результаты по равномерному распределению плотности прессовки при соотношении 3 : 1 или даже 4 : 1. При изостатическом и мундштучном формировании его можно значительно увеличить.

Если деталь имеет выступ на одном конце, что создает значительную разницу в прилегающих сечениях, то целесообразно прессовать с симметричным выступом на другом конце, удалив выступ механической обработкой после спекания. Тонкие стенки, острые углы, узкие шпоночные канавки ослабляют деталь и при выталкивании за счет сил упругого последствия она может разрушиться в этих местах, поэтому их следует избегать, а при необходимости после спекания получать механической обработкой.

Закругленные углы в прямоугольных отверстиях способствуют лучшему передвижению порошка при прессовании (рис. 38, а), а небольшие площадки при прессовании круглых поверхностей обеспечивают повышенную стойкость пуансонов, так как устраняют острые углы на торцевых поверхностях (рис. 38, б). Рекомендуется скосы на пуансонах заканчивать не острыми углами, а площадкой шириной 0,12—0,25 мм. Закругления в местах присоединения фланца к корпусу детали необходимо делать радиусом не менее 0,25 мм, причем слишком большой радиус также нежелателен.

Выполнение отверстий любой конфигурации в направлении прессования не представляет большой сложности, но если отверстия небольшого сечения, то необходимо применять тонкие стержни, которые изгибаются в процессе прессования и быстро изнашиваются под действием порошка. Следует также учитывать, что для выполнения цилиндрических отверстий используют круглые стержни, которые легко обрабатываются. Для прессования деталей с прямоугольными, эллипсными, квадратными и другими фигурными отверстиями

требуется более сложный инструмент и, соответственно, более сложное оборудование для его изготовления. Поэтому целесообразно детали прессовать с отверстиями круглой формы. При изготовлении заготовки с несколькими отверстиями рекомендуются для применения соотношения размеров, которые приведены на рис. 38, в. Круглые канавки, резьбу, обратную конусность лучше выполнять механической обработкой после спекания, а в прессуемой детали их надо убрать (рис. 38, г). Это относится и к отверстиям, находящимися под прямым углом к направлению прессования. Изготовление глухих отверстий в процессе прессования не представляет особых затруднений. Однако в данном случае необходимо предусмотреть скосы на дне полости и определенные соотношения между высотой детали и глубиной отверстия. При глубоких и узких шлицах и выступах в детали значительно усложняется изготовление матриц и уменьшается их прочность. Поэтому целесообразно изменить конфигурацию детали (рис. 39, б, в). Для повышения стойкости пуансонов выступы на переходах должны быть толщиной не менее 3 – 4 мм и не должно быть больших перепадов по высоте в направлении прессования (рис. 39, г).

Толщина стенок должна быть не менее 0,8 мм. Если деталь имеет большие различия в толщине стенок ($> 2,5$ мм), то необходимо изменить конструкцию. Если деталь имеет длинную выступающую часть, то для увеличения жесткости следует прессовать ее с дополнительным ребром. Иногда в подобных случаях более целесообразно изменить конструкцию детали, увеличив толщину выступающей части или приблизив ее к одному из торцов детали (рис. 40, а, б, в).

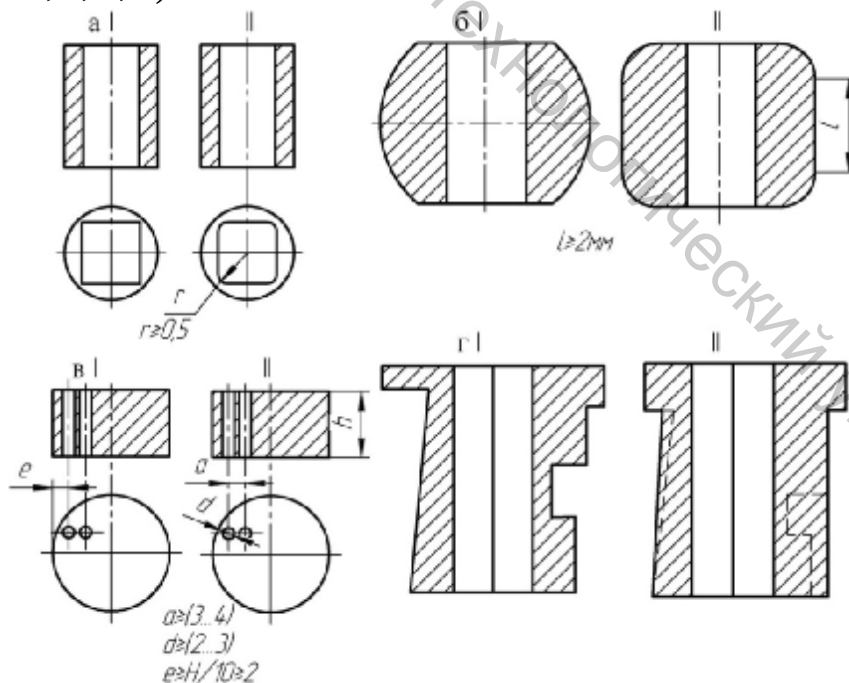


Рис. 38. Нерациональные (I) и рациональные (II) конструкции порошковых деталей: а – с прямоугольными отверстиями; б – с плоскими площадками; в – с эксцентричными отверстиями; г – с прямоугольными пазами

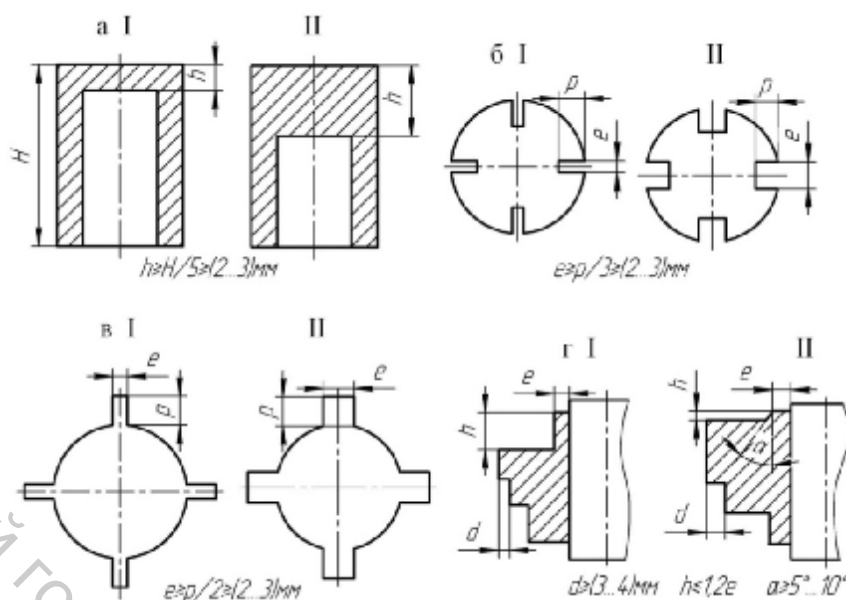


Рис. 39. Нерациональные (I) и рациональные (II) конструкции порошковых деталей: а – с глухими отверстиями; б – с продольными пазами; в – с продольными выступами; г – ступенчатых.

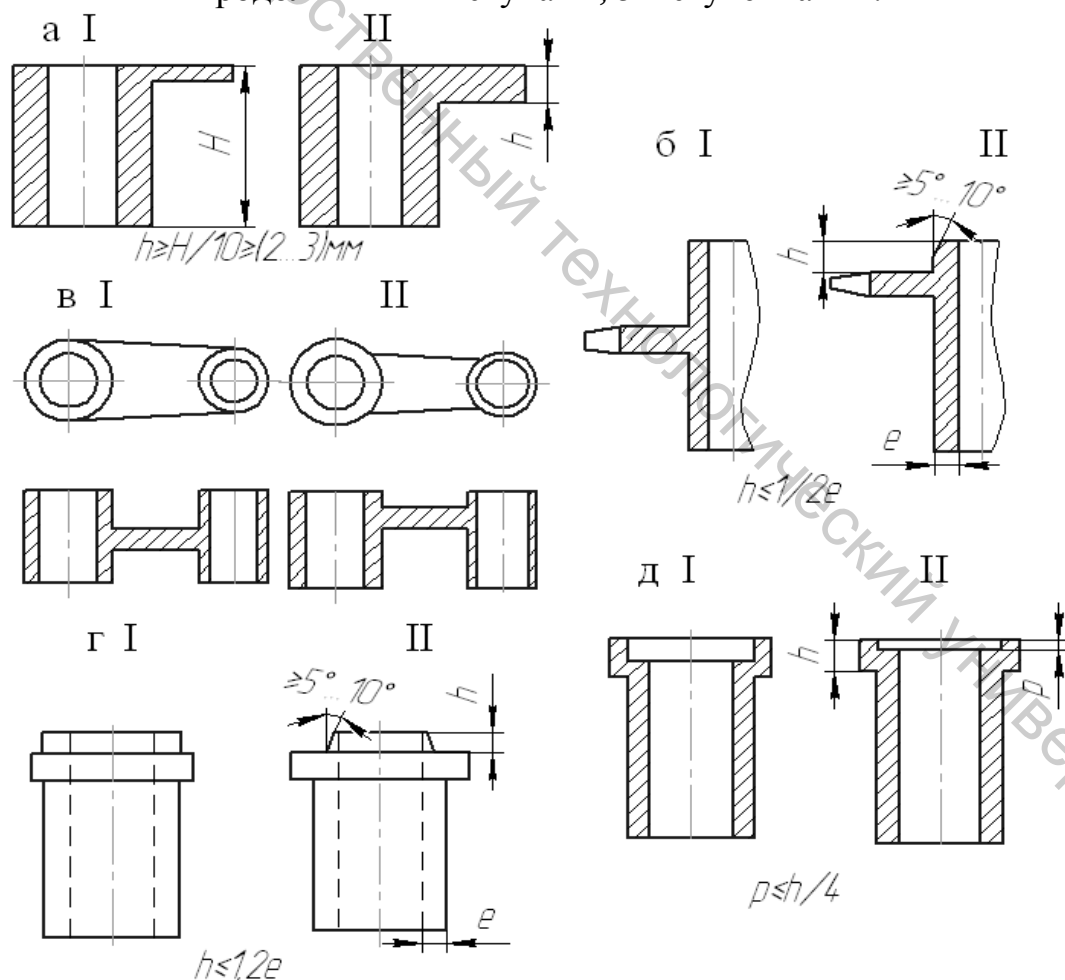
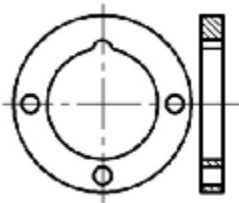
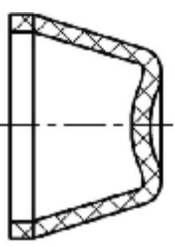
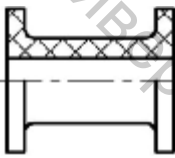


Рис. 40. Нерациональные (I) и рациональные (II) конструкции порошковых деталей с выступами (а, б, в, д) и выемками (г)

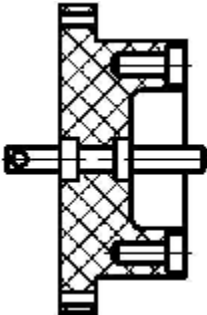
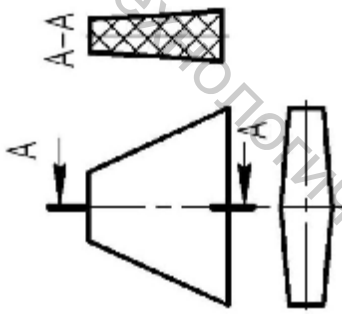
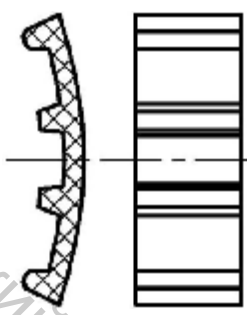
4 ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ЗАГОТОВОК ИЗ ПЛАСТМАСС

Конструкторско-технологические особенности изделий из пластмасс

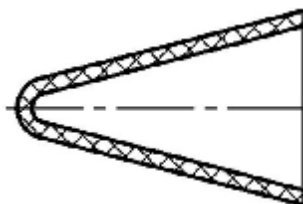
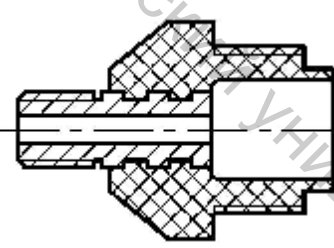
Для создания рациональной конструкции изделия из пластмассы необходимо выбрать и определить способ формования, обеспечивающий получение требуемых характеристик. Способ формования изделия зависит от материала, формы, размеров, точности и других показателей изделия (табл. 34)

Таблица 34					
Группы деталей	Эскиз	Характеристика деталей	Тип материала	Возможный метод формования	
Плоские детали с отверстиями и без отверстий (панели, колодки и др.)		Толщина детали более 5мм	Реактопласт	Прессование	
		Толщина детали менее 5 мм	Слойный пластик	Штамповка	
		Детали повышенной сложности с мелкими отверстиями глубиной более трех диаметров	Термопласт	Литье под давлением, литьевое прессование	
			Реактопласт	Литьевое прессование	
Коробчатые детали прямоугольной, цилиндрической или конической формы с плоским дном (корпуса, крышки и др.)		Детали малых и средних габаритов	Реактопласт	Литьевое прессование	
		Детали средних и больших размеров	Термопласт	Литье под давлением, литьевое прессование	
		Детали больших габаритов	Термопласт в листах	Вакуум-формование	
			Стеклопластик	Вакуум-автоклавное формование, контактное формование, напыление	
Детали типа катушек		Детали невысокой точности	Реактопласт	Прессование в пресс-форме с вертикальным разъемом матрицы	
		Детали повышенной точности	Реактопласт	Литьевое прессование	
			Термопласт	Литьевое прессование, литье под давлением	

Продолжение табл. 34

Группы деталей	Эскиз	Характеристика деталей	Тип материала	Возможный метод формования
Армированные детали с двухсторонней арматурой или с расположением арматуры перпендикулярно оси прессования детали, имеющие отверстия глубиной больше 4-6 диаметров		Детали различной сложности	Реактопласт Термопласт	Литьевое прессование Литьевое прессование
Детали двойной кривизны типа лопаток		Детали, работающие на изгиб	Стеклопластики на основе ткани или широкополосных однонаправленных лент Стекловолокнит	Прессование набора пропитанных связующим и подсушенных заготовок из тканей или ленты Прессование
Ребристые панели большого радиуса и кривизны		Детали повышенной прочности и жесткости	Стеклопластики на основе ткани или широкополосных однонаправленных лент Стекловолокнит	Прессование в заготовках Прессование

Продолжение табл. 34

Группы деталей	Эскиз	Характеристика деталей	Тип материала	Возможный метод формования
Конические и сквозные полые детали		Углы наклона внутренней и наружной образующей более 15°	Реактопласт	Прессование
		Углы наклона внутренней и наружной образующей менее 15°	Стеклопластик (наполнитель: стекловолокно; связующие: полиэфирная, эпоксидная, эпоксиэфенольная смола)	Вакуум-формование
		Детали малых габаритов	Термопласт	Литьевое прессование, литье под давлением
Детали различной сложности с сопрягаемыми и несопрягаемыми элементами, без арматуры или с односторонней арматурой жесткой конструкции; установочные и монтажные детали приборов и аппаратуры.			Реактопласт	Прессование
		Детали, небольшой точности и сложности	Реактопласт	Прессование, литьевое прессование
		Детали повышенной точности	Термопласт	Литьевое прессование, литье под давлением

Геометрическая форма изделий из пластмасс предопределяет не только способ формования, но и конструкцию инструмента. Для получения технологичной конструкции изделия необходимо соблюдать ряд требований.

На наружных и внутренних боковых поверхностях изделий, расположенных в направлении плоскости разъема, следует предусматривать технологические уклоны, необходимые для беспрепятственного извлечения изделия из пресс-формы (рис. 41). При назначении размера уклона в пределах допуска на размер изделия двухсторонний уклон (конусность) не должен превышать одной трети допуска.

Рекомендуемые значения угла конуса для различных поверхностей изделий:

- наружные поверхности 15'; 30'; 1°
- внутренние поверхности 30'; 1°; 2°
- отверстие глубиной до 1,5d 15'; 30'; 45'
- ребра жесткости, выступы 2°; 3°; 5°; 10°; 15°.

На наружных и внутренних боковых поверхностях изделий, расположенных в направлении формования, следует избегать поднутрений (рис. 42, а), которые значительно усложняют конструкцию пресс-форм и снижают производительность. Изменение конструкции изделий (рис. 42, б) позволяет избежать этих недостатков.

Сплошную опорную поверхность следует заменять отдельными опорными площадками или кольцевой опорной по периметру, которые образуются за счет дополнительной плоскости (рис. 43).

Торцы полых изделий (рис. 44, а) не должны иметь острых кромок, излишнее утолщение буртов. Кроме того, расположение буртов не должно прерываться по периметру, так как в местах разрыва возникают трещины за счет концентрации напряжений. Для повышения жесткости на торце рекомендуется выполнять по всему контуру буртик (рис. 44, б).

Стенки изделия должны быть равномерной толщины без местных уплотнений (рис. 45, а), в противном случае неравномерность толщины стенок приводит к короблению. На рис. 45, б показаны варианты конструкций изделий с равномерной толщиной.

Толщина стенок и дна изделий назначается в зависимости от габаритных размеров или с учетом механической прочности изделия. Рекомендуемая оптимальная толщина стенок в зависимости от габаритных размеров изделия приведена в табл. 35, 36.

Таблица 35

Рекомендуемая оптимальная толщина стенок деталей из термореактивных пластмасс, мм

Размеры детали	Толщина стенки детали из		
	Фенопласта порошкообразного	Фенопласта волокнистого	Аминопласта
До 50	0,7-1,5	1,5	0,9
Св. 50 до 80	2,0-2,5	2,5-3,5	1,3-1,5
Более 80	5,0-6,5	6,0-8,0	3,0-3,5

Таблица 36

Рекомендуемая оптимальная толщина стенок деталей из термопластов, мм

Максимальные размеры деталей		Толщина стенок	Максимальные размеры деталей		Толщина стенок
Призматической	Цилиндрической		Призматической	Цилиндрической	
20×20×20	20×20	0,5	180×180×180	180×180	2,5
50×50×50	50×50	1,0	250×250×250	250×250	3,0
80×80×80	80×80	1,5	300×300×300	300×300	3,5
150×150×150	150×150	2,0	400×400×400	400×400	4,0

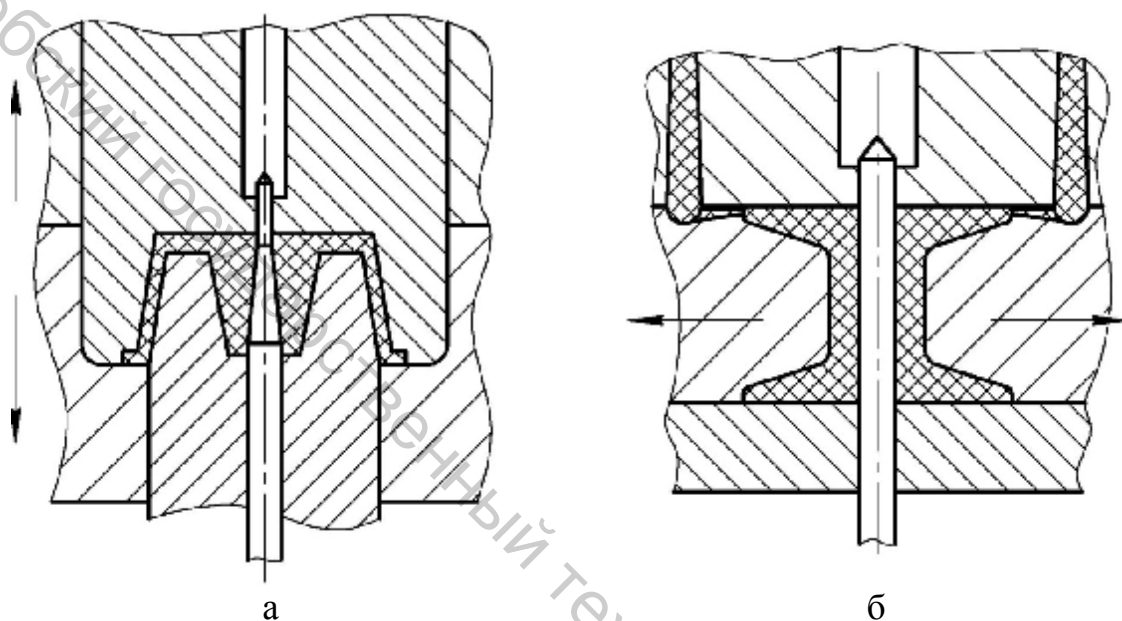


Рис. 41. Расположение технологических уклонов на изделиях:
а – горизонтальная плоскость разреза; б – вертикальная плоскость разреза

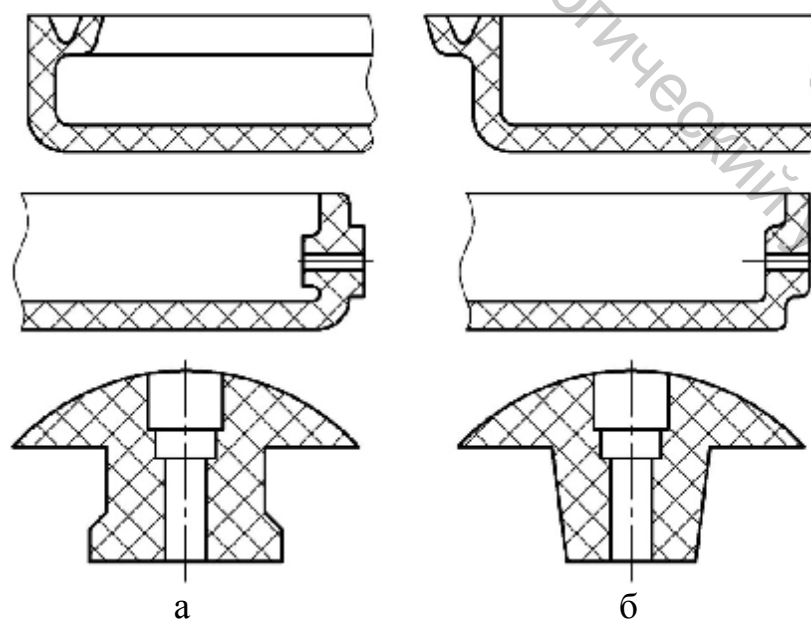


Рис. 42. Изделия с поднутрениями:
а – нетехнологичные (с закрытыми отверстиями и закрытыми выступами);
б – технологичные (без закрытых отверстий и выступов)

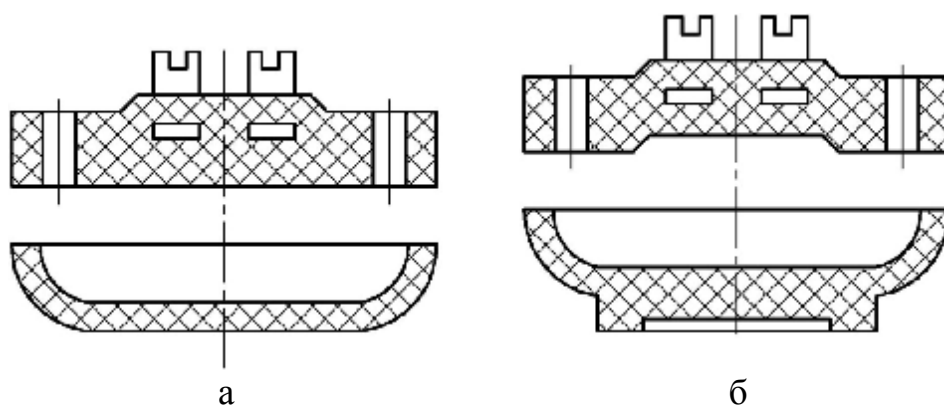


Рис. 43. Опорные поверхности конструкций изделий:
а – нетехнологичные; б – технологичные

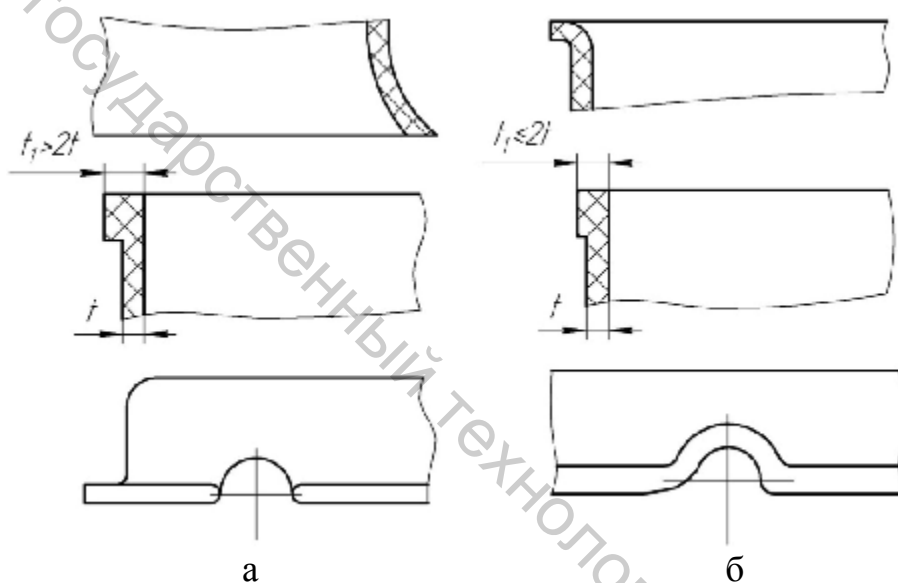


Рис. 44. Торцы и буртики изделий:
а – нетехнологичные; б – технологичные

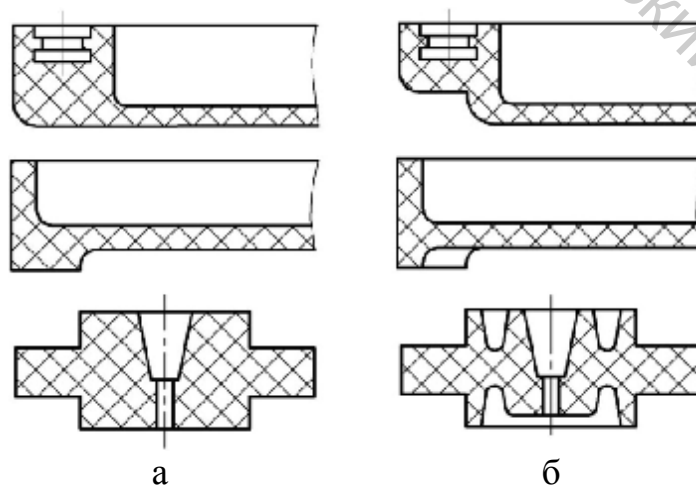


Рис. 45. Местные утолщения конструкций изделий:
а – нетехнологичные; б – технологичные

Ребра жесткости применяются для обеспечения жесткости, а в ряде случаев – необходимой прочности. Вместо нерационального утолщения изделия назначают ребра жесткости (рис. 46, а, б).

Ребра жесткости должны иметь толщину, равную или примерно равную толщине стенки изделия. Рекомендуемая форма сечения ребра – усеченный конус с углом наклона 10° и закругленной вершиной. Ребра жесткости не должны препятствовать свободной усадке материала, которая направлена к центру. Необходимо стремиться к тому, чтобы направление ребра совпадало с направлением усадки. Концентрические ребра препятствуют свободной усадке (рис. 47, а) и не обеспечивают надлежащей жесткости. При затвердевании пресс-материала внутренние поверхности концентрических ребер охватывают формообразующие части пресс-формы, затрудняют извлечение изделия и создают дополнительные возможности для деформации.

Диаметральные ребра (рис. 47, б), направленные к центру, создают жесткую конструкцию и не препятствуют извлечению изделия. Усадка наружной стенки происходит равномерно.

Для увеличения жесткости тонких стенок поверхности придают прогиб или излом (рис. 47).

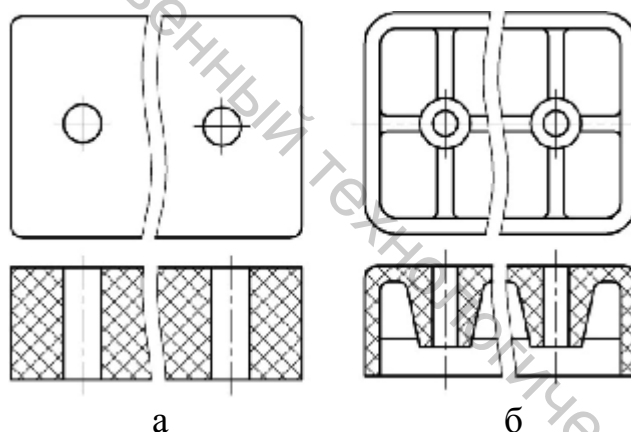


Рис. 46. примеры ребер жесткости:

а – нетехнологичная конструкция; б – технологичная конструкция

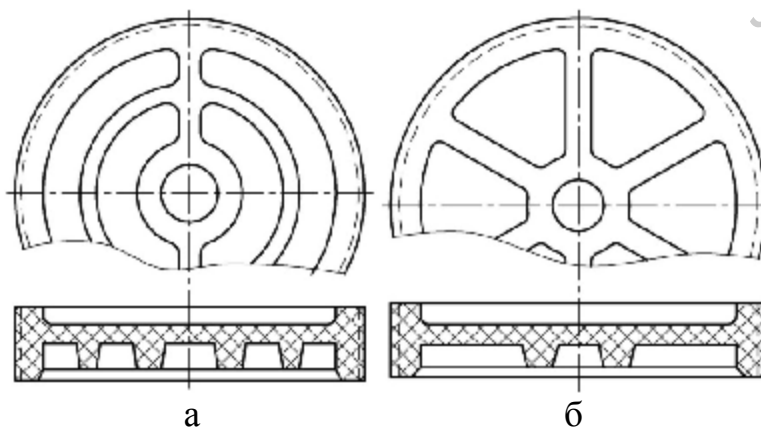


Рис. 47. Варианты ребер жесткости:

а – концентрические; б – радиальные

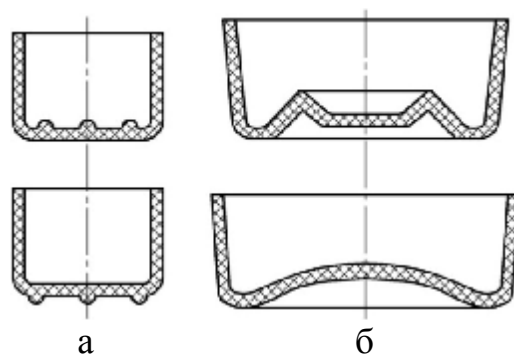


Рис. 48. Примеры увеличения ребер жесткости тонкостенных конструкций:
а – с помощью ребер жесткости; б – с помощью излома и прогиба поверхности (дна)

Радиусы закруглений внутренних поверхностей рекомендуется в зависимости от типа пластмассы и толщины стенок назначать в пределах 0,5-3,0 мм, для наружных поверхностей 5-10 мм.

Радиусы закругления внутренней и наружной сторон изделий коробообразной формы при равных толщинах стенок составляют

$$R_B = S; R_H = 2S,$$

где R_B и R_H - внутренний и наружный радиусы; S – толщина стенок;

при разных толщинах сопрягаемых стенок

$$R_B = 0,5(S + S_1); R_H = R_B + S.$$

Бобышки и выступы закругляют радиусами $R_B \leq 0,5S$ и $R_H \geq 0,25S$.

Отверстия в изделиях из пластмасс располагают таким образом, чтобы толщина материала вокруг отверстия была одинаковой. Это необходимо для выравнивания боковой нагрузки на элементы пресс-форм, воспроизводящие отверстия.

Расположения отверстий по центру изделия или близко к нему повышают стойкость оформляющих знаков. При расположении отверстия близко к краю изделия формообразующие знаки подвергаются срезающим усилиям.

Для предотвращения поломки оформляющих знаков или смещения осей отверстий рекомендуется придерживаться соотношения глубины (h) и диаметра (d) в соответствии с табл. 37.

Таблица 37

Предельные соотношения диаметров и глубин отверстий деталей из пластмасс в зависимости от метода оформления отверстий

Характер отверстия	Метод оформления отверстия	h/d не более
Сквозное	Прямое прессование	
	одностороннее оформление.....	1,5-3,0
	одностороннее оформление с протаскиванием формующей шпильки.....	5-8
	двустороннее оформление *.....	4-6
	Пресс-литье и литье под давлением.....	10
Глухое	Прямое прессование.....	2,5
	Пресс-литье или литье под давлением.....	4,0

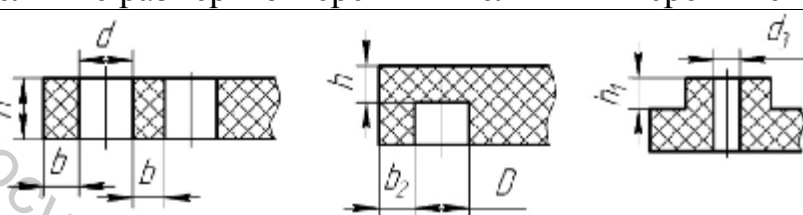
* Прямолинейность оси не гарантирована

Наклонные и боковые отверстия, оформляемые с помощью выдвижных знаков, усложняют конструкцию изготовления и обслуживание пресс-формы. Боковые оформляющие детали формы препятствуют свободному течению пластмассы, подвергаются значительным изгибающим нагрузкам и поэтому недостаточны. Обтекание боковых знаков пластмасс приводит к образованию спаев, а иногда и к трещинам.

Рекомендации по оформлению отверстий и углублений приведены в таблицах 38, 39, 40, 41.

Таблица 38

Относительные размеры отверстий и величины перемычек



Диаметр отверстия, мм	Отношение диаметра отверстия к его глубине		Величина перемычки		Минимальная толщина, мм
	для отверстий по краям (d/H)	для отверстий по центру детали (D/h)	между отверстиями (b), мм	от отверстия до края детали (b ₂ , b ₃), мм	
До 2,5	2,0	3,0	0,5-0,7	1,0	1,0
Св. 2,5 до 3	2,3	3,5	0,8-1,0	1,25	1,0
Св. 3 до 4	2,5	3,8	0,8-1,0	1,50	1,25
Св. 4 до 5	2,8	4,2	1,0-1,2	1,75	1,5
Св. 5 до 6	3,0	4,7	1,0-1,2	2,00	1,5
Св. 6 до 8	3,4	5,1	1,2-1,5	2,25	2,0
Св. 8 до 10	3,8	5,5	1,2-1,8	2,75	2,5
Св. 10 до 12	4,2	6,0	2,0-2,2	3,25	2,5
Св. 12 до 14	4,6	6,5	2,2-2,5	3,75	3,0
Св. 14 до 18	5,0	7,0	2,5-3,0	4,00	3,0
Св. 18 до 30	-	-	4,0	4,00	4,0
Св. 30 до 50	-	-	5,0	5,00	5,0

Примечание. При конструировании кольцевых выступов (эскиз в) рекомендуется выдерживать соотношение $h_1: b_3 \leq 3$ при $b_3 \geq 0,3$ мм.

Таблица 39

Соотношение диаметров и глубин боковых отверстий, оформляемых методами прямого и литьевого прессования из реактопластов, в мм

Диаметр отверстий	Прямое прессование		Пресс-литье	
	Консольное закрепление знаков	Двухстороннее закрепление знаков	Консольное закрепление знаков	Двухстороннее закрепление знаков
До 2	1,0-1,2	4	2,5	4
Св. 2 до 4	1,5	5	3	7
Св. 4 до 6	1,8	6	3,5-4	8
Св. 6 до 8	2	6,5	4,5	9
Св. 8 до 10	2,5	7	5,5	10

Примечание. Глубина отверстий, расположенных на боковых поверхностях деталей, не должна превышать 50% от глубины отверстий для одностороннего формообразования в направлении приложения усилия замыкания формы.

Таблица 40

Максимальные соотношения глубины и ширины прямоугольных углублений

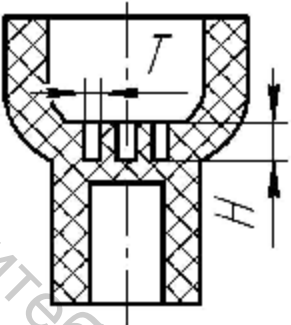
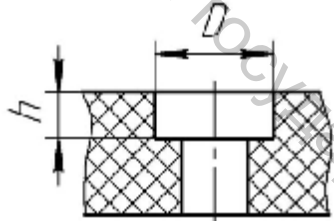
	Метод изготовления	Материал	Н/Т
	Прямое прессование	Порошкообразные	2,5
		Волокнистые материалы	2
	Пресс-литье	Порошкообразные	6
	Литье под давлением	Порошкообразные	6

Таблица 41

Размеры отверстий под головки нормальных болтов, мм

	Резьба	D	h	Резьба	D	h
	M2	4,5	2	M4	7	3,5
	M2,3	5	2,3	M5	8,5	4,3
	M2,6	5,5	2,5	M6	10,5	5,5
	M3	6	3	M8	13,5	7
	M3,5	6,5	3,1	M10	16,5	8,5

Примеры выполнения отверстий представлены на рис. 47.

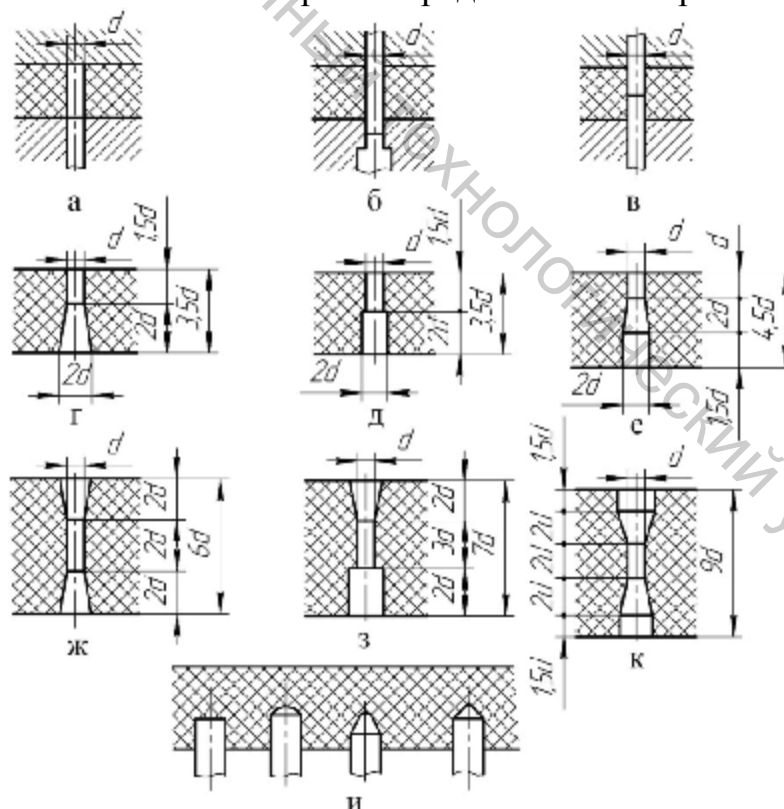


Рис. 49. Отверстия, формируемые в пресс-формах: а – одностороннее оформление; б – одностороннее оформление с протаскиванием оформляющей шпильки; в – двухстороннее оформление; г – и – примеры конструкций сквозных отверстий; к – примеры конструкций сквозных отверстий

Оформление резьбовых отверстий выполняется в соответствии со следующими рекомендациями. Предпочтительно использование резьбы с закругленным профилем, обеспечивающим лучшее заполнение формы. Диаметр резьб должен быть не менее 2 мм, а длина свинчивания не более двух наружных диаметров. На рис. 50 показана геометрическая форма резьбовых отверстий и резьбовых выступов в изделиях. Для упрочнения резьбы и оформляющих ее элементов необходимо предусматривать пояски у входа и выхода резьбы.

Шаг резьбы, мм	До 0,7	Св. 0,7 до 1,5	Св. 1,5 до 2	Св. 3
Высота пояска, мм	1	1,3	2	3

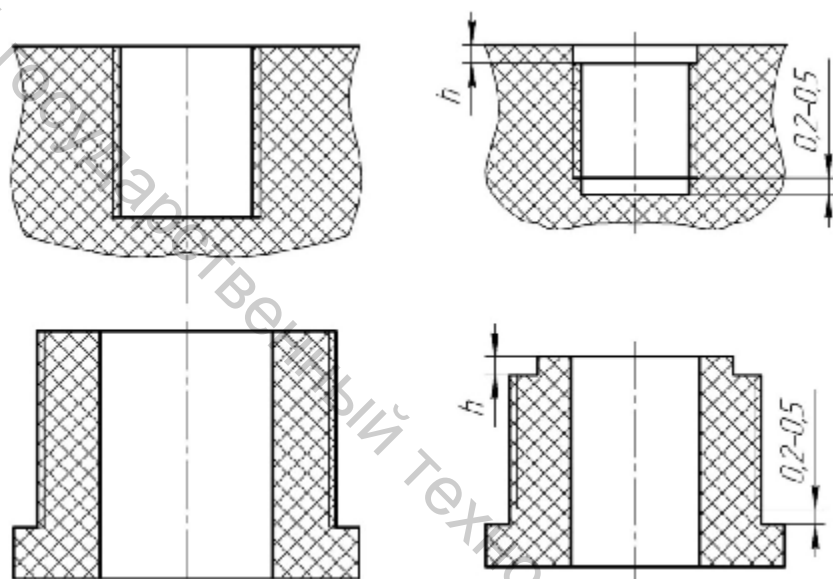


Рис. 50. Оформление входа и выхода резьбы: а – неправильное; б – правильное

Минимальные размеры перемычек между резьбовыми отверстиями приведены в табл. 42.

Таблица 42

Минимально допустимые размеры перемычек между резьбовыми отверстиями и толщина дна при глухом отверстии, в мм

	d	b ₁	b ₂	h ₁
3	1,3	2,0	2,0	
3-6	2,0	2,5	3,5	
6-10	2,5	3,0	3,8	
10	3,8	4,3	5,0	

Для увеличения прочностных характеристик выполняют армирование изделий из пластмасс. В зависимости от требований, предъявляемых к изделию,

оно может быть армировано металлической, керамической, стеклянной, пластмассовой (другого вида), резиновой и другой арматурой. Чаще всего используют металлическую арматуру, которая придает изделию прочность, износостойкость, размерную точность, улучшает магнитную и электромагнитную проводимость. В зависимости от назначения арматура может быть стержневая, втулочная, клеммная, концевая и др. (рис. 51).

В качестве арматуры можно использовать стандартные крепежные изделия (болты, винты, гайки) с доработкой или без нее, а так же специально изготовленная для конкретного изделия детали.

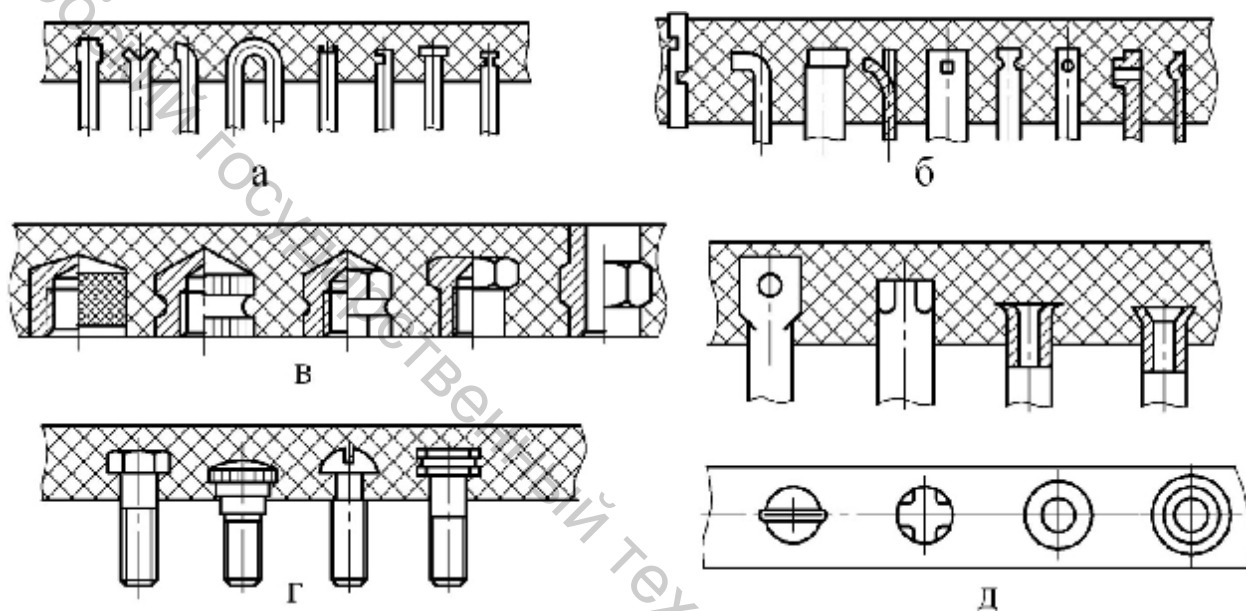


Рис. 51. Типы арматуры: а – проволоочная; б – плоская листовая; в – втулочная; г – стержневая; д – трубчатая

Для восприятия рабочих осевых нагрузок и крутящихся моментов на арматуре должны быть предусмотрены специальные удерживающие элементы. У простейшей проволоочной арматуры, изготовленной из тонкого пруткового материала или проволоки, это различные отгибы, разрезы, расплющенные элементы, петли и так далее (рис. 51, а).

Штампованная арматура из листового металла толщиной менее 1 мм должна иметь отгибы, язычки, выгибы, разрезы. Для арматуры толщиной более 1 мм рекомендуется использовать отверстия (рис. 51, б)

Втулочная и стержневая арматура (рис. 51, в, г) для восприятия крутящего момента должна иметь на запрессованной поверхности грани, лыски, накатку, а для восприятия осевого усилия – буртики, заплечики, проточки, пазы, и т.п.

Трубчатая арматура представлена на рис. 51, д. Сплюснутая трубка способна воспринимать осевые нагрузки и крутящие моменты, а обжатая в форме креста – крутящие моменты; развальцованная трубка – осевые нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1 ГОСТ 14.205-83*. Технологичность конструкции изделий. Термины и определения (с изм. и дополн.) / 09.02.1983 // УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 09.02.83 № 711. – 4 с.

2 Семенов, Е. И. Ковка и штамповка : в 4-х томах / Е. И. Семенов, О. А. Ганаго, Л. И. Живов. – Москва : Машиностроение , 1989.

Т.1 : Ковка и штамповка. Материалы и нагрев. Оборудование . – 567 с.

Т.2 : Ковка и штамповка. Горячая объемная штамповка . – 587 с.

Т.3 : Ковка и штамповка. Холодная объемная штамповка . – 383 с.

Т.4 : Ковка и штамповка. Листовая штамповка . – 543 с.

3 Ершов, В. Листовая штамповка. Расчет технологических параметров : справочник / В. Ершов, О. Попов, А. Чумадин. – Москва : Издательство МАИ , 1999. – 516 с.

4 Клименков, С. С. Проектирование и производство заготовок : учебник для вузов / С. С. Клименков. – Витебск : УО «ВГТУ» , 2005. – 385 с.

5 Аверкиев, Ю. А. Технология холодной штамповки / Ю. А. Аверкиев, А. Ю. Аверкиев. – Москва : Машиностроение, 1989.

6 Горюнов, И. И. Пресс-формы для литья под давлением : справочное пособие / И. И. Горюнов. – Ленинград : Машиностроение , 1988.

7 Руденко, А. Б. Литье в облицованный кокиль / А. Б. Руденко, В. С. Серебро. – Москва : Машиностроение, 1987.

8 Ефимов, В. А. Специальные способы литья : справочник / Под ред. В. А. Ефимова. – Москва : Машиностроение, 1991.

9 Галдин, Н. М. Цветное литье : справочник / Под ред. Н. М. Галдина : Москва : Машиностроение, 1989.

10 Роман, О. В. Актуальные проблемы порошковой металлургии / О. В. Роман, В. С. Аруначалам. – Москва : Металлургия, 1990.

Учебное издание

**Клименков Степан Степанович
Савицкий Василий Васильевич**

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ЗАГОТОВОК

Курс лекций

Редактор Н.Н. Матвеева

Технический редактор В.В. Пятов

Корректор Е.М. Богачёва

Компьютерная верстка Н.Н. Матвеева

Подписано в печать _____ Формат 60x84/16 Бумага офсетная №1

Усл. печ.л. 5 Уч.-изд.лист. _____ Тираж _____ экз. Заказ № _____

Уреждение образования "Витебский государственный технологический университет"; 210035, Витебск, Московский пр-т, 72.

Отпечатано на ризографе Учреждения образования "Витебский государственный технологический университет". Лицензия № 02330/0494384 от 16.03.2009 г.