



Приходько О.В.

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

к практическим и самостоятельным работам по дисциплине

«Конструирование литых изделий»

для студентов специальностей 7.090205, 7.090403

дневной и заочной форм обучения

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ

Приходько О.В.

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

к практическим и самостоятельным работам по дисциплине

«Конструирование литых изделий»

для студентов специальностей 7.090205, 7.090403

дневной и заочной форм обучения

Утверждено

на заседании ученого совета ДГМА

Протокол № 10 от 24.06.05

Краматорск 2005

ББК 34.61

УДК 621.74

П 77

Рецензенты:

Д. т. н., проф.

Зав. кафедрой МСИ, д. т. н. , проф.

Дорошенко С. П.

Ковалев В. Д.

Приходько О.В.

П 77 Методическое пособие к практическим и самостоятельным работам по дисциплине «Конструирование литых изделий» для студентов специальностей 7.090205, 7.090403 дневной и заочной форм обучения. – Краматорск: ДГМА, 2005. - .55 с.

ISBN 966-7851-96-6

Изложены общие рекомендации по конструированию литых деталей, получаемых в песчаных формах, с учетом требований литейной технологии изготовления литейных форм, исходя из условий получения отливки без усадочных дефектов, литейных напряжений и трещин, простоты и экономичности очистки литых деталей. Также приведены методики расчета и выбора конструктивных элементов литых деталей в зависимости от материала и условий эксплуатации.

ББК 34.61

© Приходько О.В., 2005

© ДГМА, 2005

ISBN 966-7851-96-6

СОДЕРЖАНИЕ

Общие сведения	5
1 Влияние конструкции отливки на простоту, экономичность и точность изготовления формы	7
1.1 Конфигурация и размеры отливки	7
1.2 Количество и конфигурация плоскостей разъема формы и модели	8
1.3 Литейные уклоны на моделях	10
1.4 Отъемные части модели	11
1.5 Применение стержней	14
1.6 Установка, вентиляция и сборка стержней	15
1.7 Узкие полости между отдельными частями отливки	16
1.8 Мелкие элементы в крупных отливках	17
1.9 Особенности конструирования отливок при автоматизированном и поточно-механизированном изготовлении форм	17
2 Влияние конструкции отливки на условия заполнения формы жидким металлом и возникновение усадочных дефектов	18
2.1 Толщина стенок отливки и их взаимное расположение	19
2.2 Тепловые узлы в отливках и возможность образования усадочных дефектов	25
2.3 Конструирование прибылей	28
2.4 Применение холодильников	30
3 Влияние конструкции отливки на возникновение напряжений, деформаций и трещин	34
3.1 Литейные напряжения и деформации в отливках	34
3.2 Трещины в отливках	38
3.3 Оценка склонности корпусных отливок к образованию трещин	41
4 Влияние конструкции отливки на сокращение операций обрубки и очистки	44
4.1 Удаление стержней и каркасов	44
4.2 Удаление заливов	46
4.3 Отделение литниковой системы и прибылей	49
5 Конструкция отливки и экономия металла	49
Список литературы	53

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Большинство машиностроительных заводов в своих изделиях применяют отливки. Масса отливок, входящих в состав машин, составляет от 30 до 90% их общей массы. Так, например, масса отливок в тяжелом станке достигает 85% его общей массы, в экскаваторе – 70% и т.д.

В настоящих экономических условиях требуется, прежде всего, значительное улучшение качества и повышение размерной точности выпускаемого литья, особенно получаемого в песчаных формах, при одновременном уменьшении трудоемкости всех технологических операций и затрат дорогостоящих и дефицитных материалов. Известно, что основные производственные потери и нарушение графика выпуска продукции происходят из-за дефектных, бракованных отливок. Трудности и сбои в работе литейного цеха или участка часто вызываются неправильной, нетехнологичной конструкцией отливок. Конструкторская разработка отливок является творческой и одной из наиболее сложных задач при проектировании новой машины. Этим подтверждается необходимость уделять особое внимание вопросам конструирования отливок.

Благодаря появлению в настоящее время новых прогрессивных технологий в литейном производстве возросли возможности получения отливок повышенной размерной и массовой точности, а также отливок, изготавливаемых из сплавов с высокими эксплуатационными характеристиками либо со специальными свойствами (чугун с шаровидным графитом, жаропрочная сталь, легкие сплавы). Одновременно значительно повысились требования, предъявляемые к качеству выпускаемого литья.

При конструировании отливок необходимо решить противоречия, возникающие между требованиями, предъявляемыми потребителем, и возможностями изготовления отливок, которые устанавливает технолог. Следует критически оценить эти противоречия и найти наилучшее решение. Эта задача становится тем сложнее, чем выше требования потребителей и чем ниже должна быть стоимость изготовления отливок.

Анализируя факторы, учитываемые при решении конструкторских задач, необходимо отметить, что форма отливки, зависящая в основном от условий работы машины, выбирается таким образом, чтобы отливка имела наиболее простые геометрические очертания. Кроме того, важнейшими факторами, оказывающими

влияние на форму отливки, являются свойства применяемого сплава, величина и масса отливки, способ ее изготовления.

На выбор материала влияют условия эксплуатации отливки, зависящие от условий работы машины, от конфигурации отливки, ее размера, массы и толщины стенок, от способа изготовления, а также от существующих норм расхода материалов и их стоимости.

Способ изготовления отливок определяется целым рядом факторов, основными из которых являются форма, размер и масса, серийность и требуемая точность отливок, имеющиеся модельная оснастка и оборудование, допускаемая длительность цикла изготовления, материал отливок, требуемое качество поверхности, а также допустимая стоимость отливок.

Конструкция отливки считается технологичной, если она отвечает требованиям технологии производства, простоты и экономичности изготовления и позволяет получить годную отливку с заданными свойствами, с точной геометрией и минимальной трудоемкостью всех операций литейного производства.

При анализе технологичности конструкции учитываются также специфические свойства материала, из которого изготавливается отливка. Часто эти свойства оказывают решающее влияние на конструкцию отливки и на способ ее изготовления.

В настоящем методическом пособии изложены общие рекомендации по конструированию литых деталей, получаемых в песчаных формах, с учетом требований технологии изготовления литейных форм, исходя из условий заполнения формы жидким металлом, получения здоровой отливки без усадочных раковин, пористости, литейных напряжений и трещин, простоты и экономичности очистки литья. Также приведены методики расчета и выбора конструктивных элементов литых деталей в зависимости от материала и условий эксплуатации.

1 ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОТЛИВКИ НА ПРОСТОТУ, ЭКОНОМИЧНОСТЬ И ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОРМЫ

Точность и простота изготовления и сборки литейных форм обусловлены целым рядом факторов, определяющими из которых являются: конфигурация и размеры отливки, количество и конфигурация плоскостей разъема формы и модели, величина литейных уклонов стенок модели. Также на точность изготовления литейных форм влияют наличие и количество отъемных частей модели, наличие и способ установки стержней, способ выполнения узких полостей между отдельными частями отливки и мелких элементов в отливках.

1.1 Конфигурация и размеры отливки

Для упрощения механической обработки моделей и стержневых ящиков необходимо, чтобы внутренние и внешние контуры отливки имели конфигурацию простых геометрических фигур или их сочетание. Это особенно важно при использовании металлических моделей и стержневых ящиков.

На рисунке 1.1 показано несколько возможных конструктивных решений отливки кронштейна.

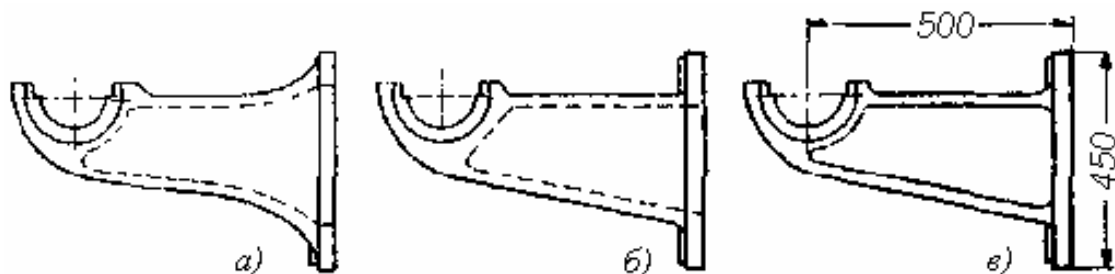
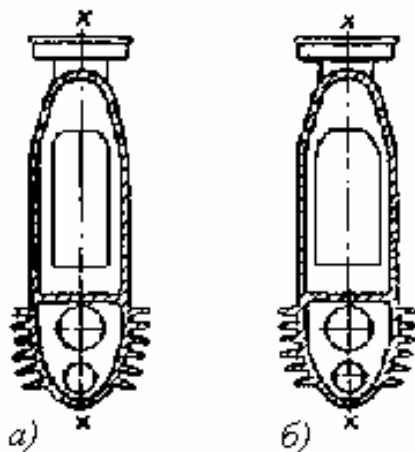


Рисунок 1.1 – Различные конструкции кронштейна

Изготовление деревянной модели и стержневого ящика криволинейного очертания (рис.1.1, а) примерно на 30% дороже, чем изготовление тех же элементов прямолинейного очертания (рис.1.1, б). Металлические модели и стержневые ящики стоили бы еще дороже. Наиболее рациональной можно считать конструкцию кронштейна с открытой полостью (рис.1.1, в).

На рисунке 1.2 показаны варианты конструкции масляного бака авиационного двигателя.



а – неправильная, б – правильная

Рисунок 1.2 – Конструкции кронштейна

Конструкция отливки является вполне технологичной. Она имеет только одну поверхность разъема, совпадающую с плоскостью симметрии отливки. Однако неправильное размещение боковых ребер под различными углами (рис.1.2, а) усложняет конструкцию, делает невозможным извлечение модели и вынуждает прибегать к стержням. Эта трудность может быть легко устранена без коренных изменений конструкции, путем установки ребер перпендикулярно к плоскости разъема (рис.1.2, б).

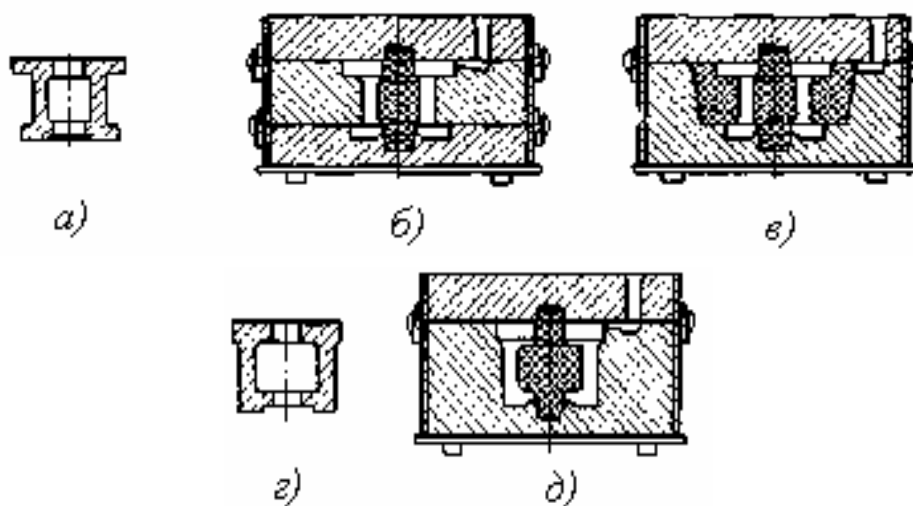
Чем больше размеры отливки, тем более крупные требуются опоки и тем больше времени займет формовка. Поэтому следует стремиться к тому, чтобы отливка имела компактную конфигурацию и небольшие размеры. В некоторых случаях для стальных отливок целесообразно разделение отливки на несколько частей, которые могут быть соединены с помощью сварки.

1.2 Количество и конфигурация плоскостей разъема формы и модели

Конфигурация отливки должна быть такой, чтобы при изготовлении отливки не требовалось больше одной поверхности разъема формы и модели. Каждый дополнительный разъем требует применения добавочной опоки или стержня, увеличивает время на формовку, отделку и сборку формы. При этом затрудняется очистка отливки из-за увеличения количества заливок, а неточности при сборке формы вызывают дополнительные трудности при механической обработке. При

массовом и крупносерийном производстве, особенно для отливок, подвергающихся механической обработке, увеличение количества разъемов формы недопустимо.

На рисунке 1.3, *а* показана втулка с двумя фланцами. Такая втулка формуется в трех опоках (рис.1.3, *б*), или требует применения кольцевого стержня (рис.1.3, *в*). Устранение нижнего фланца (рис.1.3, *г*) позволяет значительно упростить формовку (рис.1.3, *д*).



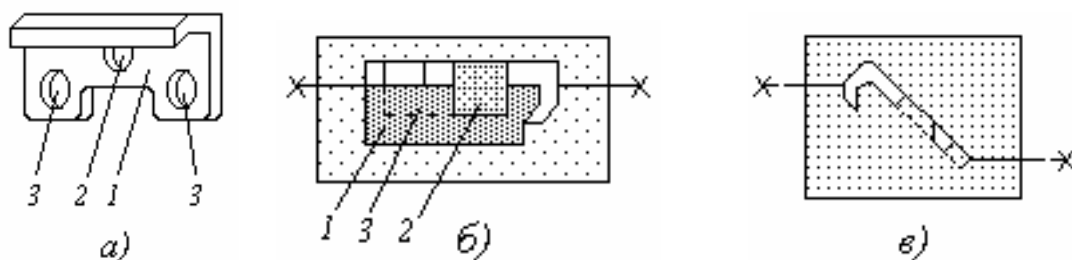
*а – старая конструкция, б – форма для втулки в трех опоках,
в - форма для втулки с кольцевым стержнем, г - измененная конструкция;
д - форма для втулки после изменения конструкции*

Рисунок 1.3 – Втулка

Конфигурация отливки не должна вызывать применения разъема формы со сложной поверхностью. При индивидуальном и мелкосерийном производстве это потребует большего времени на формовку (формовка с подрезкой, формовка с фальшивой опокой), при одновременном снижении точности отливки. При крупносерийном производстве значительно повысится стоимость изготовления модельной оснастки.

Иногда небольшое изменение конструкции влечет за собой значительное удешевление формовки. На рисунке 1.4, *а* показан угольник с отверстиями, одна полка его имеет загнутую форму. При этом возникает необходимость применения стержней (рис.1.4, *б*), что приведет к повышению трудоемкости формовки и удорожанию модельной оснастки. Если же при конструировании отливки одну стенку отверстия предусмотреть наклонной (рис.1.4, *в*), то применение стержней ста-

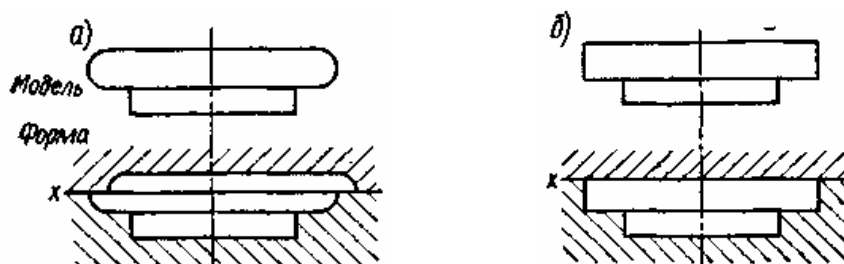
новится излишним. Это не только дает экономические преимущества, но и позволяет получать более точные по размерам отливки.



а – отливка; б, в – два способа формовки, зависящие от выполнения отверстий; 1, 2, 3 – стержни

Рисунок 1.4 – Угольник

При определении поверхности разъема формы необходимо стремиться применять формовку по цельной неразъемной модели для достижения точности размеров отливки и для предотвращения возможного смещения одной половины формы по отношению к другой. При этом модель, если возможно, целиком располагают в одной (лучше всего нижней) полуформе. Это показано на рисунке 1.5.

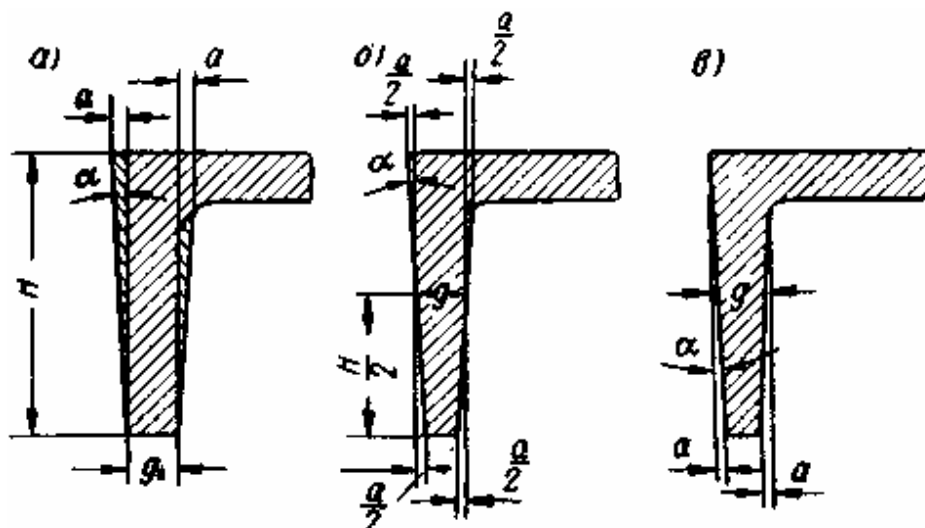


а – нетехнологичная конструкция; б – технологичная конструкция

Рисунок 1.5 – Разъем формы в зависимости от конструкции отливки

1.3 Литейные уклоны на моделях

Для облегчения удаления модели из формы ее боковые поверхности, перпендикулярные к плоскости разъема, изготавливают с уклоном, называемым *конструктивным*. Конструктивные уклоны указываются на чертежах детали. Если конструктивные уклоны на чертеже детали не указаны, то уклоны назначаются на чертеже модели. Подобные уклоны называются *формовочными* (литейными) и определяются углом α в градусах (рис.1.6).



*а - уклоны «с плюсом»; б - уклоны «с плюсом и минусом»;
в – уклоны «с минусом» (g - номинальная толщина стенки)*

Рисунок 1.6 – Формовочные уклоны

В зависимости от толщины стенок g отливки уклоны могут быть выполнены «с плюсом» (рис.1.6, а), «с минусом» (рис.1.6, в) или «с плюсом и минусом» (рис.1.6, б).

Поверхности, подвергающиеся механической обработке, кроме припусков на обработку, имеют уклоны «с плюсом».

Местные низкие приливы выполняют с уклоном $5...10^\circ$.

Величина литейных уклонов в зависимости от высоты модели регламентирована ГОСТ 3212-92.

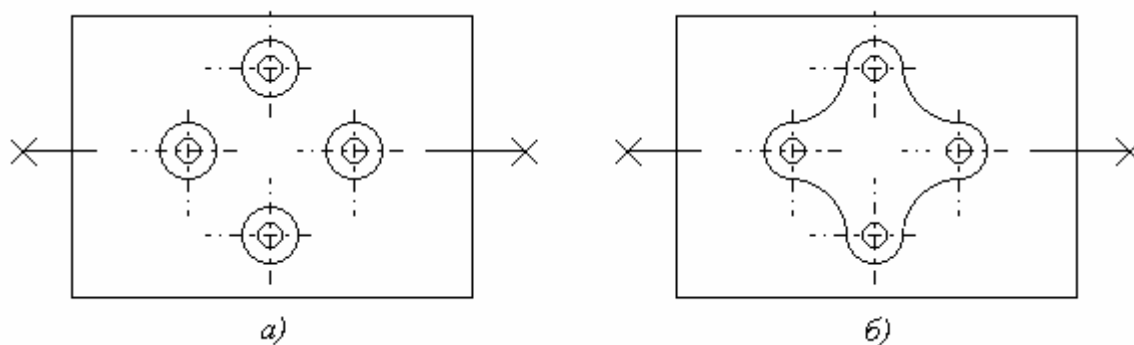
Указание на чертеже литейных уклонов особенно важно тогда, когда в полость отливки входит другая деталь. В этом случае внутренние размеры контура отливки выполняют с «минусовыми» уклонами.

1.4 Отъемные части модели

Применение отъемных частей модели отрицательно влияет на точность размеров отливки, понижает производительность формовки, увеличивает работу по очистке и часто вызывает необходимость дополнительной обработки отливок. До 80% брака в отливках вследствие неточностей размеров возникает из-за того, что отъемные части модели сдвигаются в форме. Поэтому отливку стремятся кон-

струировать так (особенно при массовом и крупносерийном производстве), чтобы отъемных частей не применять.

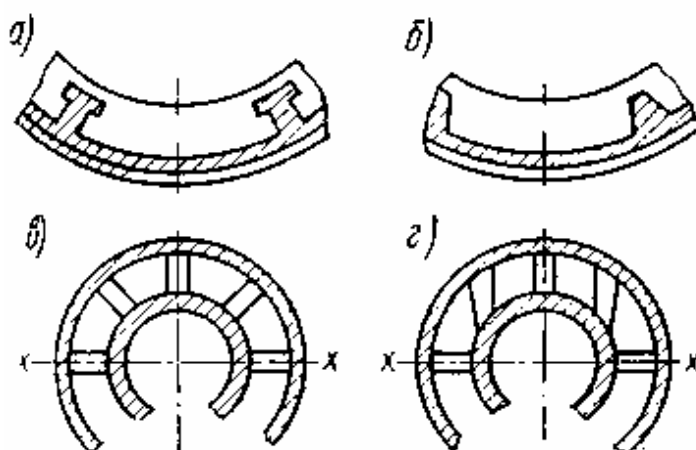
На рисунке 1.7 показано основание стойки с круглыми приливами для болтов. Они могут быть изготовлены с помощью отъемных частей модели. Если эти части сдвинутся при формовке, отливка получится негодной. Если же изменить форму приливов и соединить их в один общий прилив такой формы, которая обеспечит легкость извлечения модели из формы (рис.1.7, б), то отпадает необходимость применять отъемные части модели.



а – нетехнологичная конструкция; б – технологичная конструкция

Рисунок 1.7 – Выполнение приливов

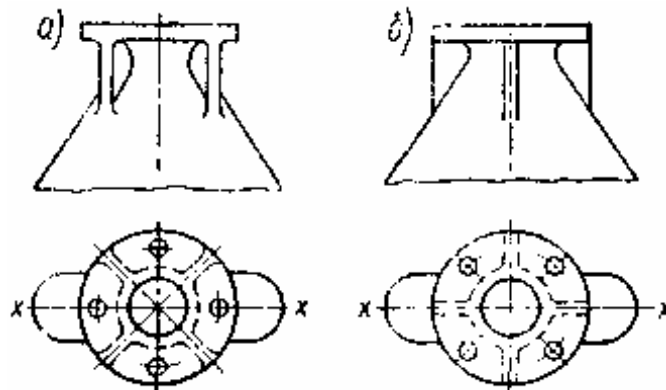
Следует также избегать применения отъемных частей и на внутренних поверхностях стержневых ящиков (рис.1.8).



а, в – конструкции, требующие применения отъемных частей в стержневом ящике; б, г – конструкции, не требующие применения отъемных частей

Рисунок 1.8 – Выполнение внутренних частей отливки

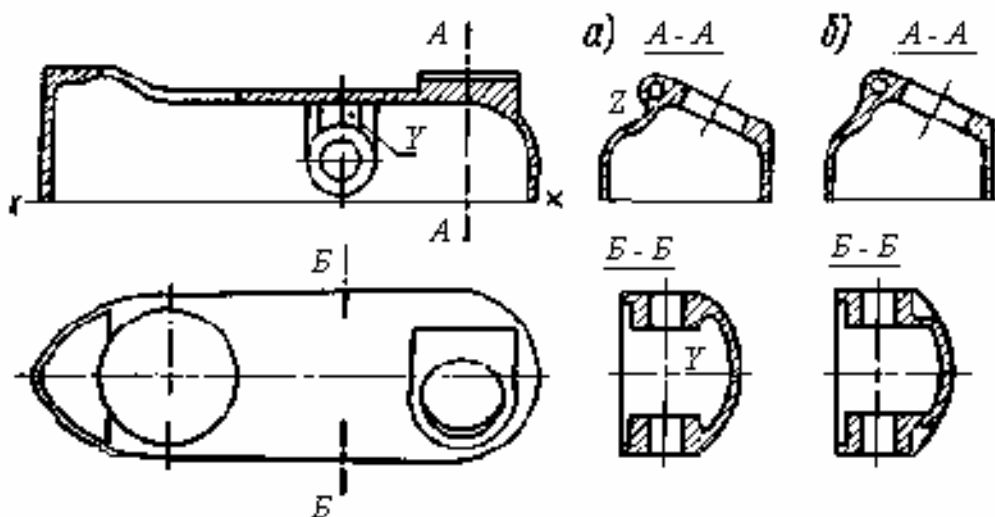
На рисунке 1.9 показан фланец корпуса, усиленный четырьмя ребрами. При разъеме модели, как показано на рис.1.9, *а*, ребра должны быть изготовлены как отъемные части. Если же ребра повернуть на 45° (рис.1.9, *б*), то этого можно избежать.



а – нетехнологичная конструкция; б – технологичная конструкция

Рисунок 1.9 – Конструкция фланца корпуса, усиленного ребрами

Примером конструирования отливки, отвечающей требованиям литейной технологии, может служить корпус, представленный на рисунке 1.10. Небольшие изменения чертежа (устранение впадины *Z*, улучшение формы прилива *У*, рис.1.10, *б*) могут значительно улучшить технологичность отливки.



а – нетехнологичная конструкция; б – технологичная конструкция

Рисунок 1.10 – Конструкция корпуса

1.5 Применение стержней

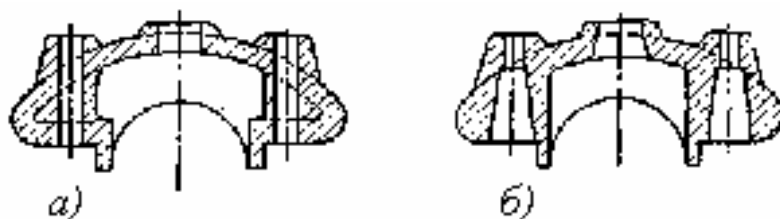
Стержни усложняют форму, увеличивают опасность возникновения брака, повышают стоимость изготовления формы и очистки отливок. Если конструкция отливки позволяет, следует избегать применения стержней.

В некоторых случаях отливки коробчатого сечения со стержнями могут быть заменены отливками двутаврового или швеллерного сечения без стержней. Однако такая замена может быть произведена лишь при определенных условиях:

- 1) когда рассматриваемое сечение отливки не подвергается кручению;
- 2) когда на отливку не действует переменная нагрузка или когда отливка изготовлена из материала с высокой усталостной прочностью.

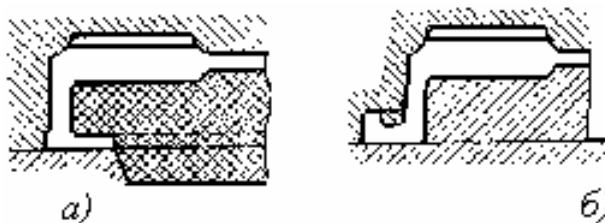
Использование двутаврового сечения также не рекомендуется для отливок, изготовленных из материалов, склонных к образованию горячих трещин (например, высоколегированной стали). В таких случаях возникает опасность появления трещин в отливках вблизи тепловых узлов на стыке стенок.

На рисунках 1.11 и 1.12 приведены примеры устранения стержней путем улучшения конструкции отливок.



а – формируется с применением стержней; б – формируется без стержней

Рисунок 1.11 – Крышка подшипника



а – нетехнологичная конструкция; б – технологичная конструкция

Рисунок 1.12 – Конструкция стойки основания станка

1.6 Установка, вентиляция и сборка стержней

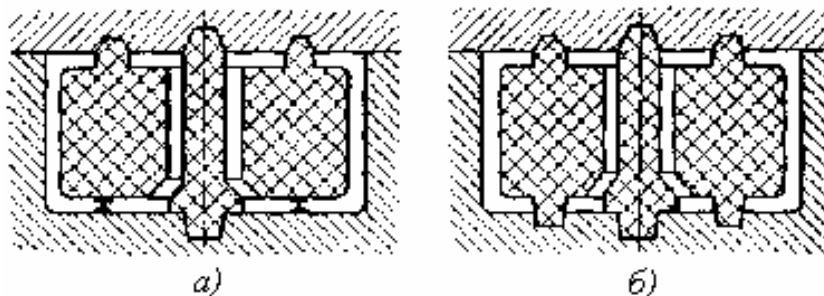
При конструировании отливок необходимо обеспечивать:

- 1) надежность установки стержней в форме, по возможности, без жеребеек и без подвешивания стержня в верхней части формы;
- 2) простоту и надежность отвода газов из стержня;
- 3) возможность легкого удаления из отливки стержней и их каркасов при выбивке.

Необходимо избегать таких конструкций, где требуется применение длинных горизонтальных стержней.

Нерационально применение стержней, закрепленных с одной стороны, так как под влиянием собственной массы или под действием жидкого металла они могут смещаться. В случае необходимости нужно предусмотреть в стенках отливки специальные технологические отверстия для размещения дополнительных знаков, которые потом, если это необходимо, закрываются пробками или заделываются другими способами.

Отливка, представленная на рис.1.13, б, изготовлена без жеребеек, с технологическими отверстиями, которые затем заделываются.

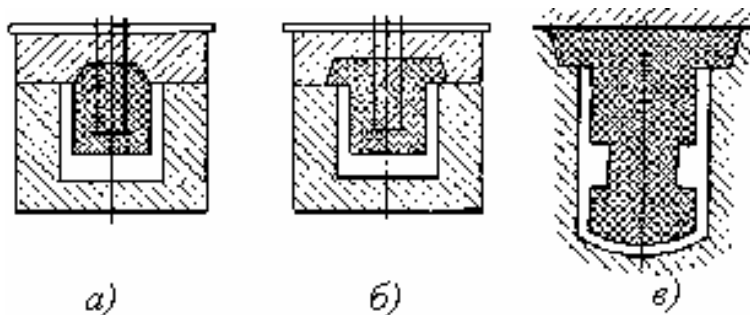


а – неправильная конструкция; б – правильная конструкция

Рисунок 1.13 – Конструкция поршня

В некоторых случаях, при серийном производстве небольших деталей, можно изготавливать в одной форме две отливки, применяя при этом общий стержень, надежно закрепленный на знаках.

Установка и закрепление висящего стержня (рис.1.14, а) занимает в 3...7 раз больше времени, чем установка стержня, лежащего на знаках, причем точность отливки понижается. Этого можно избежать, сделав знак стержня расширяющимся и входящим в гнездо нижней полуформы (рис.1.14, б).



а, б – стержни, укрепленные в верхней полуформе; в – стержень с расширенным знаком, установленный в нижней полуформе

Рисунок 1.14 – Способы крепления подвешенных стержней

Газы должны отводиться от самых верхних точек стержня. Суммарную площадь технологических и конструктивных отверстий, которые предназначены для отвода газов из внутренних стержней отливок, можно определить по формуле

$$F = \frac{P \cdot (K_1 - K_2)}{Q}, \quad (1.1)$$

где P – масса стержня, кг,

K_1 – наибольшая допустимая газотворность стержня, $\text{м}^3/\text{кг}$,

K_2 – остаточная газотворность отработанной смеси, $\text{м}^3/\text{кг}$,

Q – количество газа, проходящего через 1 м^2 площади отверстий, м^3 .

Тонкие стержни усиливаются с помощью каркасов. Сечение каркаса должно быть таким, чтобы он мог быть окружен слоем стержневой смеси достаточной толщины.

В местах стыков стержней, а также между ними и формой имеются зазоры, которые могут служить причиной образования заливов.

В некоторых случаях для устранения заливов стержни соединяют при помощи стержневых знаков в один стержень и только потом устанавливают его в форму.

1.7 Узкие полости между отдельными частями отливки

Узкие полости между отдельными частями отливки затрудняют формовку. Такие полости между стенками отливки образуются тонкими выступами из формочной или стержневой смеси. Формовка этих тонких частей и предохранение

их от разрушающего действия струи жидкого металла при заливке вызывает определенные трудности. Наличие таких частей всегда увеличивает вероятность возникновения брака, способствует образованию пригара, а также усложняет процесс очистки и обрубки литья.

Выполнение тонких и высоких охлаждающих ребер с узкими полостями между ними требует специального оборудования и специальной техники формовки.

Узкие или остrokонечные выступы формовочной или стержневой смеси легко смываются струей жидкого металла и образуют песчаные засоры в отливке, поэтому при конструировании отливок узких полостей пытаются избегать.

1.8 Мелкие элементы в крупных отливках

Очень часто небольшой прилив на крупной отливке служит причиной значительных затруднений при формовке, либо вызывает брак вследствие незаполнения этого прилива расплавом, засорения его или повреждения. Кроме того, затруднена механическая обработка таких элементов.

Чаще всего мелкие элементы предпочтительней отливать отдельно, а затем крепить в соответствующем месте крупной отливки. Но иногда при правильном выполнении и небольших размерах такие мелкие детали целесообразно получать литыми вместе с основной конструкцией.

1.9 Особенности конструирования отливок при автоматизированном и поточно-механизированном изготовлении форм

В настоящее время изготовление литейных форм на поточно-механизированных и автоматических линиях выгодно не только для серийного и крупносерийного производства, но и для мелких серий порядка нескольких десятков штук. В зависимости от степени механизации основных и вспомогательных операций, механизированная и автоматизированная формовка позволяет существенно сократить время изготовления форм и повысить точность отливок.

Ниже приведены требования, предъявляемые к конструкции отливки в отношении изготовления моделей и модельных плит.

1 Для облегчения механической обработки элементы металлической модели должны иметь конфигурацию правильных геометрических фигур.

2 Конструкция отливки должна быть компактной. Габаритные размеры отливки влияют на габариты модельной плиты и опок, которые, в свою очередь, определяют тип и размеры формовочного агрегата. Чем крупнее формовочная машина, тем выше ее стоимость и стоимость ее эксплуатации и тем ниже производительность.

3 Для простоты изготовления модельной плиты поверхность разъема модели по возможности следует делать плоской; форма должна состоять из двух полуформ.

4 Модели не должны иметь отъемных частей. Отъемные части влияют на точность отливок, увеличивают трудоемкость и продолжительность цикла изготовления формы.

5 Количество стержней должно быть по возможности небольшим. Сложные стержни целесообразно заменять несколькими простыми, легко устанавливаемыми в форму.

6 Отливка должна иметь плавную обтекаемую конфигурацию, без острых углов и изломов, глубоких и узких впадин.

7 При изготовлении форм на формовочных линиях извлечение модели из формы осуществляется протяжкой; это позволяет во многих случаях избежать применения стержней и заменить их болванами при наличии достаточно большого уклона стенок. Чтобы не произошло отрыва болвана во время удаления модели из формы, высота его не должна быть больше ширины его основания.

Требования, предъявляемые к конструкции отливки в отношении изготовления стержневых ящиков и стержней по ним, зависят от способа изготовления стержней, определяемого конфигурацией стержня и общими условиями производства.

2 ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОТЛИВКИ НА УСЛОВИЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ФОРМЫ ЖИДКИМ МЕТАЛЛОМ И ВОЗНИКНОВЕНИЕ УСАДОЧНЫХ ДЕФЕКТОВ

На технологичность конструкции отливки с точки зрения условий заполнения литейной формы жидким металлом и получения качественной отливки ока-

зывают влияние следующие факторы: толщина стенок отливки и их взаимное расположение, возможность возникновения усадочных раковин и пористости, возможность возникновения напряжений, деформаций и трещин.

2.1 Толщина стенок отливки и их взаимное расположение

Допустимая толщина стенок отливок с точки зрения заполнения литейной формы металлом зависит от применяемого сплава и температуры его заливки, от размеров и конфигурации отливки, а также от теплофизических свойств материала литейной формы.

В таблице 2.1 приведена наименьшая толщина стенок отливок из различных литейных сплавов, в зависимости от размеров отливки при литье в песчаные формы.

Таблица 2.1 - Наименьшая толщина стенок отливок при литье в песчаные формы

Наименование сплава	Наименьшая толщина стенок отливок, мм		
	Мелкие отливки	Средние отливки	Крупные отливки
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	-

Для определения наименьшей толщины стенок стальных отливок также рекомендуется следующая формула

$$g = 5 + 4 \cdot \frac{2L + B + H}{3}, \quad (2.1)$$

где g – толщина стенки отливки, мм,

L, B, H – длина, ширина и высота отливки соответственно, м.

Для определения толщины стенки детали из серого чугуна можно воспользоваться графиком, приведенным на рисунке 2.1.

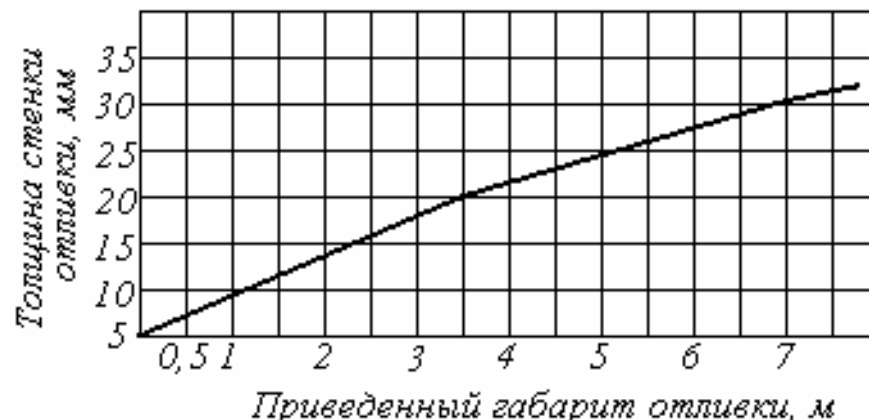


Рисунок 2.1 – График для определения толщины стенки отливки

Из-за вероятности возникновения спаев и недоливов особенно нежелательными являются случаи, когда две струи холодного металла (часто содержащие частички песка, шлака или пленки окислов на поверхности) могут встретиться в тонкой горизонтальной полости формы. На рисунке 2.2 представлен цилиндрический вертикальный сосуд, имеющий горизонтальный отвод. Во время заливки металл поднимается и сначала заполняет нижние части отливки, а затем отвод. Однако, дойдя до верхних частей отвода, металл может настолько остыть, что струи, поднимающиеся с правой и с левой стороны отвода, могут не соединиться, и в этом месте возникает спай или недолив.

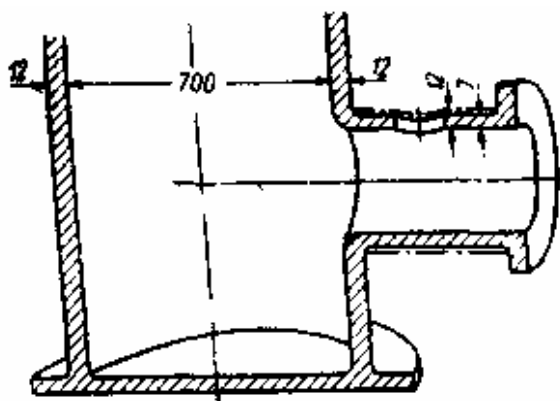
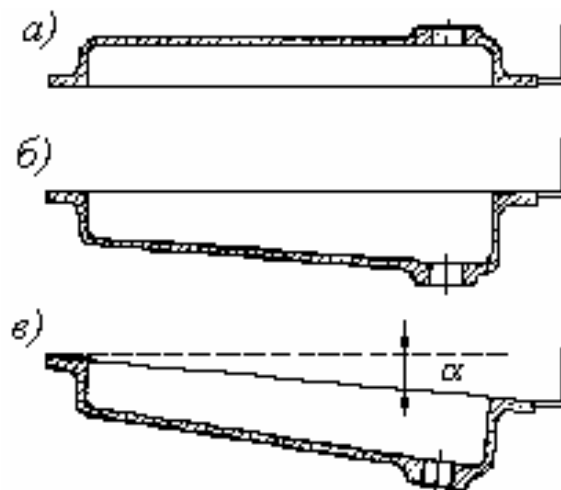


Рисунок 2.2 – Отливка с горизонтальным отводом

Утолщение стенок отливки в данном случае улучшит ее конструкцию, так как сопротивление движению жидкого металла становится меньшим, и вероятность образования дефектов уменьшится.

Опасными в отношении образования недоливов и спаев являются также отливки, имеющие длинные тонкие горизонтальные стенки (рис.2.3, а).

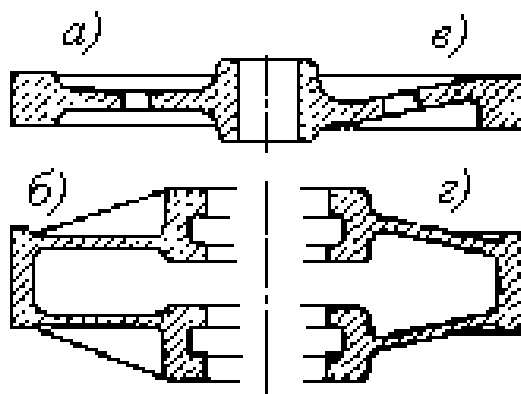


*а – нетехнологичная конструкция с точки зрения заливки;
б – технологичная конструкция по условиям заливки; в – наклонная установка
формы для заливки при нетехнологичной конструкции отливки кожуха*

Рисунок 2.3 – Конструкция отливки корпуса с тонким дном

Чтобы обеспечить заполнение тонкой стенки горячим металлом, корпус иногда целесообразно заливать дном книзу; кроме того, чтобы обеспечить постепенное и равномерное заполнение металлом полости формы и отвод из нее газов, дно кожуха следует конструировать наклонным (рис.2.3, б). Если конструкция не позволяет применить наклонное дно, при заливке форму устанавливают в наклонное положение (рис.2.3, в), что вызывает определенные трудности (необходимость изготовления наклонной постели, усложнение заливки на конвейере).

Отливке следует придавать такую конфигурацию, чтобы жидкий металл, продвигаясь в полости формы, вытеснял разогретый воздух и газы, выделяющиеся из металла. Если металл встречает на своем пути большие горизонтальные стенки, наступает замедление подъема уровня металла, а воздушные и газовые пузыри, задерживаясь вблизи верхней плоскости стенки, захватываются металлом и образуют в отливке газовые раковины. Чтобы избежать их возникновения, необходимо горизонтальным плоскостям придать уклон. С трудностями такого рода обычно встречаются при литье различных плит, колес, барабанов, корпусов и т.п. Придавая небольшой наклон горизонтальным плоскостям, следует одновременно избегать получения узких впадин (рис.2.4).

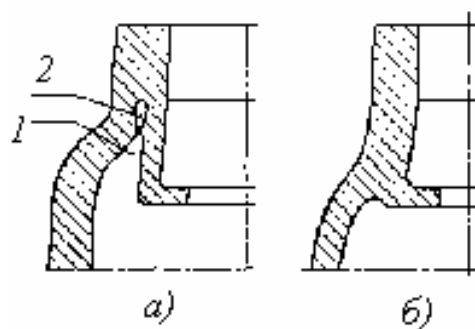


а, б – нетехнологичные конструкции; в, г – технологичные конструкции

Рисунок 2.4 – Примеры отливок с плоскими горизонтальными и наклонными стенками

Если газовые раковины образуются на обрабатываемой поверхности, отливка оказывается бракованной. Если же они возникают на необрабатываемой поверхности, то часто это приводит к уменьшению прочности отливки. Газовые раковины образуются чаще всего в тех частях отливки, которые находятся вверху формы. Поэтому необходимо так располагать отливку при заливке, чтобы ответственные элементы оказались внизу.

Газовые раковины образуются также во впадинах формы, откуда газы не имеют свободного выхода (рис. 2.5).



*а – неправильная конструкция; б – правильная конструкция;
1 – впадина; 2 – газовая раковина*

Рисунок 2.5 – Сочетание втулки со стенкой

В общем случае для предохранения отливок от образования газовых раковин и от загрязнения их неметаллическими включениями (формовочная смесь, шлак, продукты окисления металла и т.п.) необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

- 1) избегать больших горизонтальных плоскостей;
- 2) размещать ответственные части отливки в нижней части формы;
- 3) сохранять равномерную толщину стенок отливки и плавные переходы между ними, способствующие плавному протеканию металла в полости формы;
- 4) избегать на верхней поверхности отливки выступов.

Сочленение двух, трех или четырех стенок – наиболее часто встречающийся тип узла в отливках. Различные узлы можно свести к следующим типовым сочленениям:

- а) лобовое – стык двух стенок разной толщины, лежащих в одной плоскости;
- б) прямоугольное – стык двух стенок под прямым углом в виде буквы L;
- в) остроугольное – стык двух стенок под острым углом в виде буквы V;
- г) вилообразное – стык трех стенок в виде буквы Y;
- д) впритык – стык трех стенок в виде буквы T;
- е) крестообразное – стык четырех стенок в виде буквы X.

Каждое из этих сочленений может, кроме того, примыкать к стенке, перпендикулярной или наклонной по отношению к узлу. Все подобные сочленения стенок должны быть скруглены с помощью галтелей (закруглений с радиусом). Если в месте стыка стенок внутренний угол не закруглен, образуется несплошность металла в виде местной усадочной раковины или надрыва (горячей трещины) вследствие замедленного в данном месте охлаждения из-за меньшего теплоотвода по сравнению с наружными сторонами угла (рис.2.6).

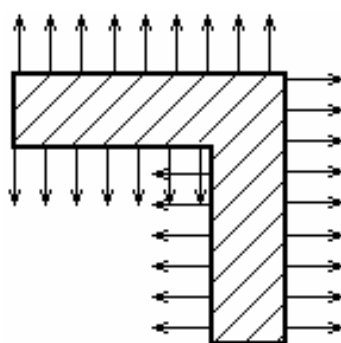
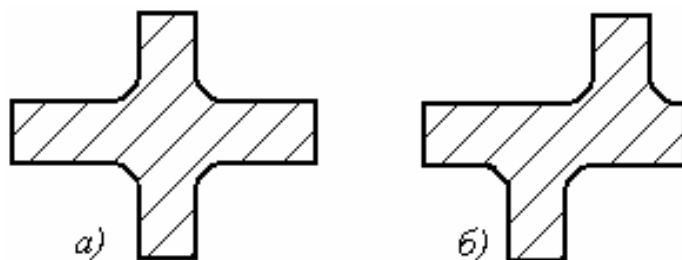


Рисунок 2.6 – Схема теплоотдачи углового узла

На основании анализа влияния конфигурации различных тепловых узлов на отвод тепла от стенок отливки [1] можно сделать следующие выводы, касающиеся конструкции сочленений стенок отливок:

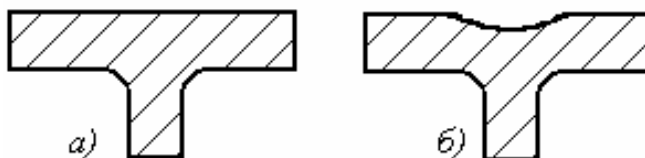
1) крестообразные сочленения стенок типа X неприемлемы из-за большой концентрации тепла; поэтому вместо того, чтобы соединять стенки в одной точке, следует, если это возможно, развести их (рис.2.7, б):



а – нетехнологичная конструкция; б – технологичная конструкция

Рисунок 2.7 – Схема крестообразного сочленения стенок

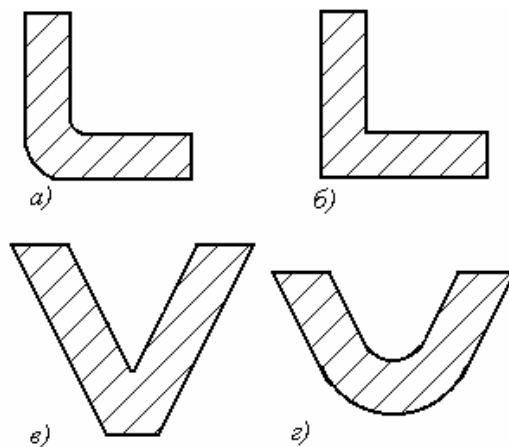
2) углубления в тавровом сочленении (рис.2.8) позволяют уменьшить размеры усадочной раковины:



а – нетехнологичная конструкция; б – технологичная конструкция

Рисунок 2.8 – Схема таврового сочленения стенок

3) L, V и Y-образным сочленениям следует придавать плавные закругления (рис.2.9, б, г), радиусы закруглений должны составлять от 1/6 до 1/3 толщины сочленяемых стенок:



а, в – технологичная конструкция; б, г – нетехнологичная конструкция

Рисунок 2.9 – Схема L-образного сочленения стенок

В качестве мер, предупреждающих образование усадочных раковин в местах сочленения стенок отливок, применяются:

- а) наружные холодильники (обычно в виде металлических плит и брусков);
- б) внутренние холодильники (в виде металлических стержней, спиралей, гвоздей);
- в) стержни, помещаемые внутрь утолщения.

2.2 Тепловые узлы в отливках и возможность образования усадочных дефектов

Большинство металлов и их сплавов при нагревании расширяются (увеличиваются в объеме и линейных размерах), а при охлаждении – сокращаются, т. е. претерпевают усадку. Усадка – свойство металлов и сплавов уменьшаться в объеме при затвердевании и охлаждении. Различают линейную и объемную усадки.

$$\varepsilon_{\text{Лин}} = \frac{l_{\Phi} - l_{\text{Отл}}}{l_{\text{Отл}}} \cdot 100\%, \quad \varepsilon_V = \frac{V_{\Phi} - V_{\text{Отл}}}{V_{\text{Отл}}} \cdot 100\%,$$

где L_{Φ} и V_{Φ} – линейный размер и объем формы;

$L_{\text{Отл}}$ и $V_{\text{Отл}}$ – линейный размер и объем отливки при $T=20^{\circ}\text{C}$.

В табл. 2.2 приведены величины линейной усадки отливок, изготовленных из различных сплавов.

Таблица 2.2 – Величина линейной усадки отливок, изготовленных из различных сплавов

Группа отливок	Усадка, %	
	затрудненная	свободная
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>Серый чугун:</i>		
мелкие и средние отливки	0,9	1,0
средние и крупные отливки	0,8	0,9
тяжелые отливки	0,7	0,8
<i>Ковкий чугун</i>	1,0	1,5
<i>Сталь:</i>		
отливки из углеродистой и низколегированной стали	1,3...1,7	1,6...2,0
отливки из высоколегированной стали с хромом	1,0...1,4	1,3...1,7
отливки из ферритно-аустенитной стали	1,5...1,9	1,8...2,2
отливки из аустенитной стали	1,7...2,0	2,0...2,3

Продолжение табл.2.2

1	2	3
<i>Сплавы цветных металлов:</i>		
отливки из оловянной бронзы	1,2	1,4
отливки из алюминиевой бронзы	1,6...1,8	2,0...2,2
отливки из латуни	1,5...1,7	1,8...2,0
отливки из кремнистой латуни	1,6...1,7	1,7...1,8
отливки из марганцовой латуни	1,8...2,0	2,0...2,3
отливки из силумина	0,8...1,0	1,0...1,2
отливки из сплава алюминия и меди (7...12% Cu)	1,4	1,6
отливки из сплава алюминия и магния (10% Mg)	1,0	1,3
отливки из магниевых сплавов	1,2	1,6

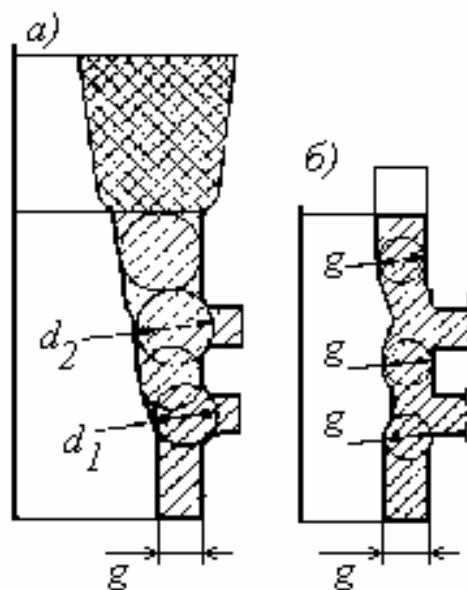
Минимальная величина усадки относится к отливкам, имеющим стержни, болваны и выступающие части, которые тормозят усадку. Максимальную усадку имеют простые отливки, не испытывающие торможения. Чугунные толстостенные отливки с высоким содержанием свободного графита имеют меньшую линейную усадку, чем тонкостенные отливки. Меньше также линейная усадка отливок, полученных в сухих формах, по сравнению с отливками, полученными в сырых формах.

Усадочные раковины образуются обычно в верхних утолщенных частях отливки, т.е. в тех, которые затвердевают последними. Тонкие части отливки получаются без усадочных дефектов, они во время затвердевания питаются жидким металлом из утолщенных частей. Кроме сосредоточенных усадочных раковин, могут появляться раковины, рассредоточенные по большей части объема отливки и имеющие вид мелких пор (усадочная пористость).

Конфигурация отливки определяет распределение температур в процессе затвердевания и положение усадочных раковин. Чтобы получить здоровую отливку без усадочных раковин, необходимо придерживаться одного из двух положений: 1) направленного затвердевания, 2) одновременного затвердевания.

Направленное затвердевание требует, чтобы в каждом питаемом тепловом узле отливки скорость охлаждения постоянно уменьшалась в направлении прибыли, где должна оказаться сосредоточенная усадочная раковина. Питание тонких частей отливки за счет более толстых элементов, а толстых частей отливки – за счет прибыли гарантирует плотность металла в отливке (рис.2.10, а). Принцип направленного затвердевания применяется в стальных отливках, в отливках из

ковкого чугуна, из чугуна с шаровидным графитом, серого чугуна с низким содержанием углерода и кремния.



*а – принцип направленного затвердевания;
б – принцип объемного затвердевания*

Рисунок 2.10 – Схемы конструкторских решений

Одновременное затвердевание требует создания таких условий, при которых металл должен равномерно и одновременно кристаллизоваться во всех частях отливки. Это условие выполняется, когда толщина стенок во всех частях отливки одинакова и отливка не имеет местных утолщений. Принцип одновременного затвердевания применим для тонкостенных отливок из серого чугуна, оловянной бронзы и некоторых других сплавов цветных металлов (рис.2.10, б). Такие отливки из-за малой склонности к образованию усадочных раковин заливаются без прибылей.

Возникновение в отливках усадочных раковин может быть устранено изменением конструкции отливки, соответствующим подводом металла и применением прибылей и холодильников.

Способы подвода металла в форме, а также скорость заливки, оказывают большое влияние на распределение температур и на образование усадочных раковин в отливке. Основные *правила* подвода жидкого металла в форму:

1 При одновременном затвердевании металл необходимо подводить к самым тонким частям отливки (ребра, тонкие стенки).

2 При направленном затвердевании металл следует подводить к тем частям отливки, которые кристаллизуются в последнюю очередь. При подводе металла в тонкие части отливки режим направленного затвердевания не будет ярко выраженным, как при подводе в утолщенную часть.

Большое влияние на величину усадочных раковин оказывает скорость заливки формы. При увеличении продолжительности заливки формы объем усадочной раковины можно уменьшить. Если большая форма заливается сверху и медленно, нижние части отливки остывают и, затвердевая, питаются за счет последующих порций жидкого металла, поступающего в форму.

После определения мест и количества термических узлов, следует установить, какие из них будут питаться прибылью и какие могут быть охлаждены с помощью внутренних или наружных холодильников.

2.3 Конструирование прибылей

При установке прибылей руководствуются следующими положениями:

- 1 Прибыли следует размещать над самыми массивными частями отливки.
- 2 Прибыли не должны препятствовать свободной усадке отливки.
- 3 Не рекомендуется установка прибылей рядом со стенками отливки или близко одна от другой.
- 4 Прибыли следует размещать таким образом, чтобы их можно было легко удалять.

5 Прибыли должны одновременно играть роль резервуаров для всплывающих неметаллических включений, попавших в металл, и вывода из формы газов; поэтому, если возможно, они должны находиться сверху, над отливкой.

Чаще всего применяются верхние закрытые прибыли, устанавливаемые непосредственно на питаемый узел. Питание через верхние прибыли является более целесообразным, чем через боковые, так как достигаются более легкие условия перемещения питающего металла.

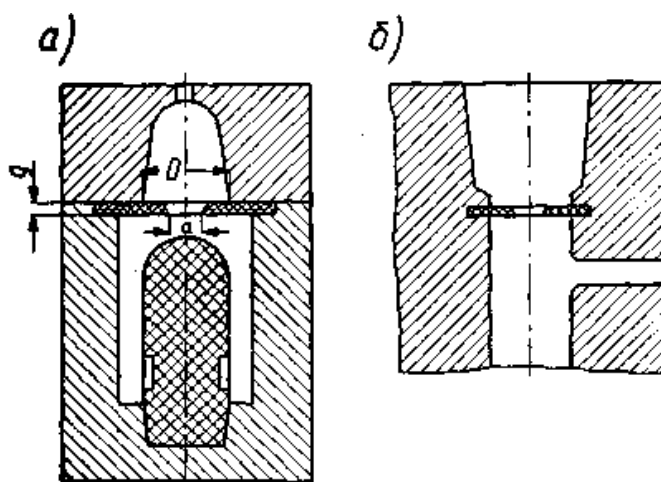
Боковые прибыли применяются в тех случаях, когда требуется питать узлы отливки, находящиеся в нижней части формы, или когда применение верхней прибыли невозможно из-за конфигурации детали. Во многих случаях применение боковых прибылей упрощает осуществление принципа направленного затвердевания и почти всегда упрощает их удаление. С другой стороны, установка единичных боковых прибылей ведет к излишнему расходу формовочной смеси, уве-

личению размера опок и трудоемкости формовки. Боковые прибыли экономичны и эффективны для небольших отливок, когда одна прибыль питает 2, 3 и даже 4 отливки.

В целях увеличения эффективности верхних и боковых прибылей их изготавливают как прибыли, действующие под повышенным (газовым) давлением. Применение прибылей, действующих под газовым давлением, сокращает расход жидкого металла на отливку и повышает выход годного литья. С другой стороны, применение прибылей с газовым давлением требует очень тщательной разработки и подготовки производства, точного соблюдения заданного технологического процесса.

Отделение прибылей является дорогостоящей и трудоемкой операцией. Чтобы уменьшить трудоемкость отделения прибылей, применяют легкоотделяемые прибыли с перегородками (рис.2.11).

Между отливкой и прибылью помещается тонкая перегородка из специальной стержневой смеси или из листовой стали, покрытой огнеупорной краской; в центре перегородки находится отверстие, служащее для питания отливки жидким металлом из прибыли и для отвода газов из отливки. Толщина перегородки g должна быть такой, чтобы, с одной стороны, перегородка не тормозила теплообмен между прибылью и отливкой, а с другой – обладала достаточной прочностью и не ломалась при формовке и при заливке формы металлом.



а – закрытая прибыль; б – открытая прибыль

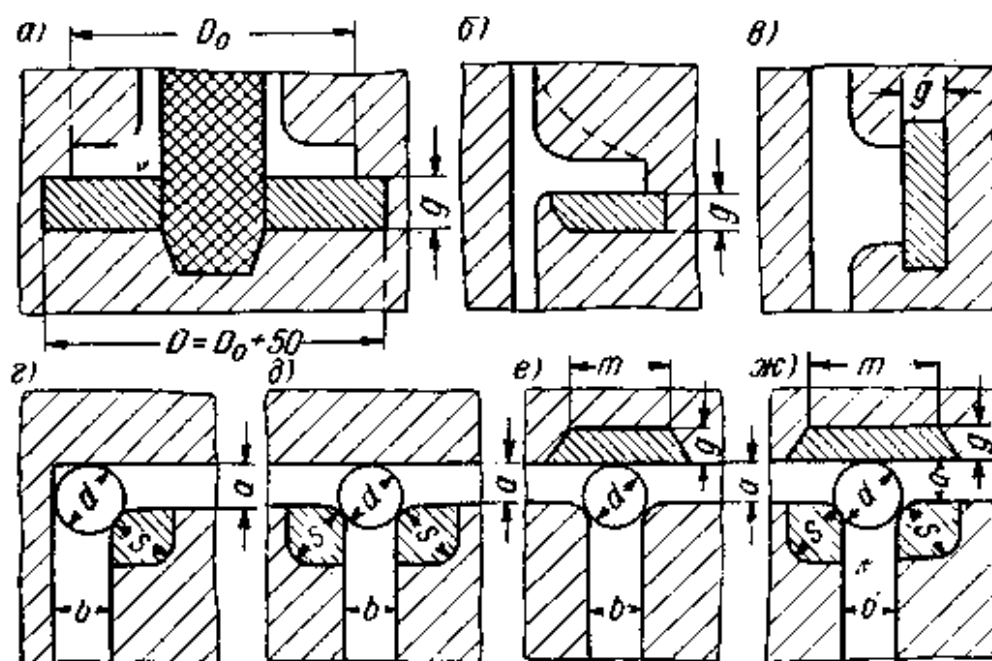
Рисунок 2.11 – Схемы установки легкоотделяемых прибылей

Легкоотделяемые прибыли с перегородкой обычно применяют для мелких и средних неотвественных отливок. Применение таких прибылей для крупных и ответственных отливок не рекомендуется.

2.4 Применение холодильников

Холодильники служат для местного охлаждения отдельных частей отливки. Применяются холодильники в тех случаях, когда необходимо осуществить принцип одновременного затвердевания отливки при невозможности использовать прибыли или когда необходимо избежать применения прибылей. Также их применяют и для осуществления режима направленного затвердевания, развитого в той или иной степени. Известны два вида холодильников: наружные и внутренние.

Наружные холодильники имеют форму плиток укороченной длины и прутьев, изготовленных из чугуна или из стального проката. Примеры применения наружных холодильников показаны на рисунке 2.12.



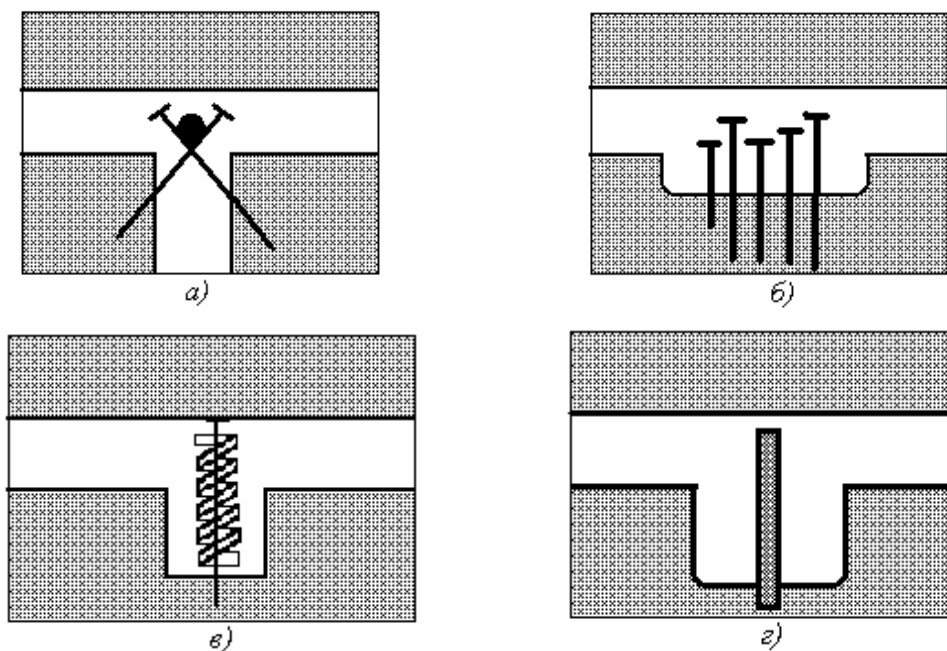
*а...ж – наружные холодильники для охлаждения тепловых узлов
стальных отливок*

Рисунок 2.12 – Холодильники

Во многих случаях применение наружных холодильников дает лишь внешний эффект улучшения качества отливки, а в действительности из-за недостаточности питания жидким металлом устраняемые дефекты могут переместиться в глубь отливки. Кроме того, у чугуновых отливок возникает опасность местного отбела, повышения твердости, и ухудшаются условия обработки.

Внутренние холодильники применяются чаще всего при производстве стальных отливок. Масса холодильника принимается 8...14% массы охлаждаемого термического узла. Примеры внутренних холодильников приведены на рисунке 2.13.

Внутренние холодильники не рекомендуется применять для ответственных стальных отливок, особенно работающих под давлением, так как такие холодильники обычно не расплавляются в отливке полностью и могут создать в ней ослабленные места.



*а – стержень на гвоздях; б – подковные гвозди; в – проволоочная спираль;
г – брусок для охлаждения утолщенной части прилива*

Рисунок 2.13 – Внутренние холодильники

Наиболее часто в качестве внутреннего холодильника применяется стержень, служащий для охлаждения утолщения, в котором будет просверлено отверстие (рис.2.13, г). Диаметр холодильника в этом случае берется на 4...8 мм меньше диаметра просверливаемого отверстия, при сверлении готовой отливки холодильник удаляется вместе со стружкой.

Таким образом, при разработке конструкции новой отливки следует придерживаться следующих рекомендаций.

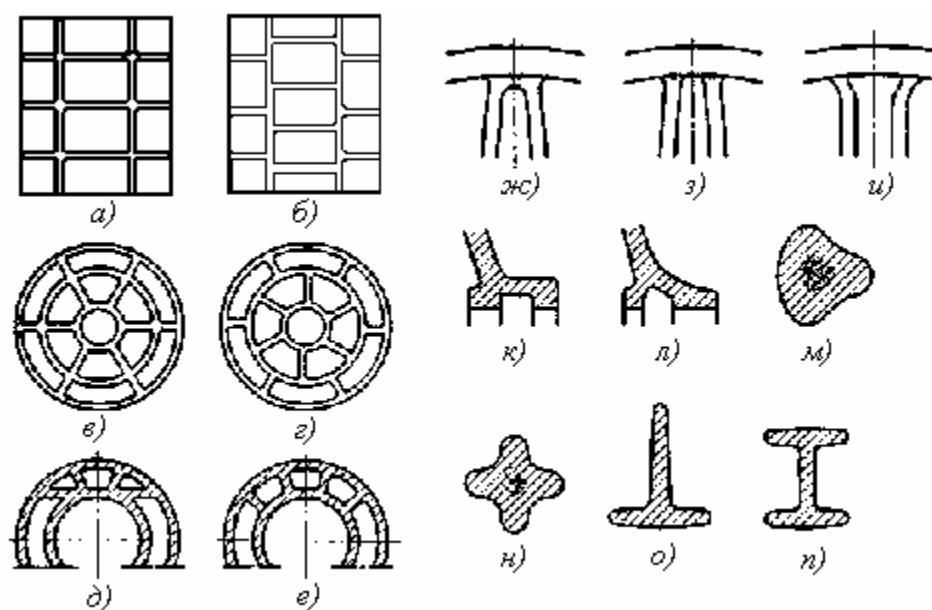
1 При анализе конструкции отливки следует рассматривать очертания ее в литом необработанном виде, вместе с припусками на механическую обработку. Припуски часто вызывают большие изменения в толщине отдельных сечений, что влияет на изменение распределения термических узлов.

2 Следует установить, в каких случаях для данной конструкции отливки более целесообразно применение принципа одновременного или направленного затвердевания.

Направленное затвердевание позволяет получать отливку без усадочных раковин и усадочной пористости, что во многих случаях не может быть обеспечено при одновременном затвердевании. С другой стороны, направленное затвердевание имеет ряд недостатков: повышенный расход жидкого металла; необходимость установки прибылей и определенного расположения отливки в форме, обеспечивающего питание металлом тепловых узлов, опасность возникновения трещин из-за большой разницы температур в различных частях отливки, дополнительные расходы на удаление прибылей. Решение применить тот или иной принцип затвердевания оказывает большое влияние на конфигурацию отливки и на толщину отдельных ее сечений.

Ниже приведен анализ конструкций некоторых типовых узлов при конструировании отливок.

а) *Конструирование сочленения стенок отливок и ребер* в соответствии с принципом одновременного затвердевания. Конструкции ребер, выходящих пучком из одной точки (рис.2.14, д), следует заменять радиальными ребрами (рис.2.14, е).



а, в, д, ж, к, м, н – неправильное; б, г, е, з, и, л, о, п – правильное

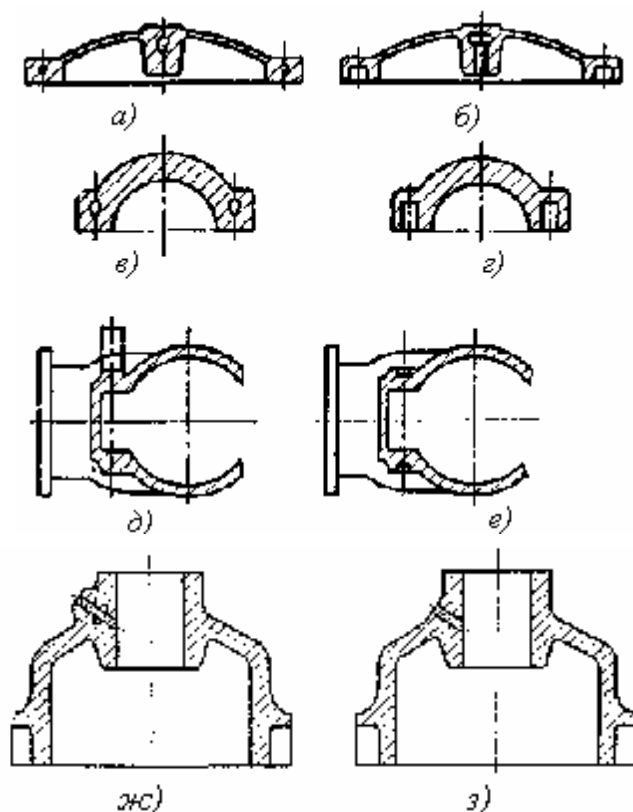
Рисунок 2.14– Конструктивное выполнение типовых узлов

На рис.2.14, ж... и показаны различные способы сочленения спиц с ободом колеса. Наиболее целесообразной является конструкция на рис.2.14, и. На

рис.2.14, к, л показаны неправильное и правильное сочленения ступицы колеса с ободом.

б) *Конструирование поперечного сечения стенок и балок.* Сечения балок и рычагов при конструировании отливок в соответствии с принципом одновременного затвердевания рекомендуется изготавливать с небольшими закруглениями. Чрезмерно увеличенный радиус галтелей может вызвать образование внутри сечения балки усадочных раковин (рис. 2.14, м). Правильная конструкция показана на рис. 2.14, о, п.

в) *Конструирование приливов и опор.* Эти элементы могут быть отлиты либо как сплошные (сверление отверстий в сплошном металле), либо со стержнями, образующими отверстия. Первое решение вызывает большое скопление металла и образование термических узлов (рис.2.15, а, в, д). Применение стержней также часто бывает нецелесообразно, так как повышается трудоемкость изготовления формы, а в случае сдвига стержней отверстия приходится не сверлить, а растачивать. Наиболее целесообразно в таких утолщениях делать односторонние выемки (рис.2.15, б, г, е), предотвращающие образование усадочных раковин и позволяющие сверлить отверстия в сплошном металле.



а, в, д, ж – неправильное; б, г, е, з – правильное

Рисунок 2.15– Конструктивное выполнение приливов и опор

3 Следует выделить тепловые узлы отливки и определить способы предотвращения усадочных раковин.

4 Определяется положение отливки в форме при заливке ее металлом. При определении положения отливки во время заливки необходимо придерживаться следующих рекомендаций.

а) Наиболее ответственные, обрабатываемые поверхности отливки необходимо располагать так, чтобы они были обращены вниз. Если это не может быть выполнено из-за конфигурации отливки или по соображениям формовки, то обрабатываемые поверхности во время заливки должны быть установлены вертикально или наклонно.

В связи с этим механически обрабатываемые валы и цилиндры рекомендуется заливать преимущественно в вертикальном положении.

б) Если по каким-либо причинам обрабатываемые поверхности обращены кверху, необходимо создавать такие условия, при которых литейные пороки (усадочные раковины, шлаковые и песочные включения, газовые пузыри) могли бы образоваться только в тех частях отливки, которые затем будут удаляться (в выпорах, прибылях и припусках на механическую обработку на верхних поверхностях отливки).

в) Если отливка обрабатывается с нескольких сторон, то ее следует располагать в форме при заливке таким образом, чтобы наиболее ответственные и самые большие поверхности были обращены книзу. Для поверхностей, повернутых кверху, предусматриваются увеличенные припуски на механическую обработку.

3 ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОТЛИВКИ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ, ДЕФОРМАЦИЙ И ТРЕЩИН

Технологичная конструкция литой детали должна исключать или сводить к минимуму литейные напряжения, возникающие в отливках, которые могут привести к деформации отливок или к появлению в них трещин.

3.1 Литейные напряжения и деформации в отливках

Напряжения, в зависимости от причин, которые их вызывают, подразделяются на термические, усадочные и фазовые.

Термические напряжения возникают вследствие неодинаковой скорости охлаждения отдельных частей отливки во время ее остывания и в связи с этим – неравномерной усадки.

Усадочные напряжения вызываются сопротивлением формы или стержней. Это сопротивление препятствует свободной усадке отливки (механическое торможение усадки).

Фазовые напряжения вызываются превращениями в металле, происходящими во время его остывания. Эти превращения могут совершаться в различное время в разных частях отливки.

На рисунке 3.1 показаны примеры конструкций отливок со свободной и затрудненной усадкой.

<i>Свободная усадка</i>	<i>Механическое торможение усадки</i>	<i>Термическое торможение усадки</i>	<i>Механическое и термическое торможение усадки</i>

Рисунок 3.1 – Схемы конструкций отливок со свободной и затрудненной усадкой

При анализе величины возникающих в конструируемой отливке термических напряжений необходимо учитывать, что:

1) величина термических напряжений определяется скоростью остывания отливки, которая зависит в определенной степени от приведенной толщины, а не от длины отливки;

2) величина напряжений в более толстых и более тонких стенках отливки обратно пропорциональна величине их сечений;

3) величина напряжений пропорциональна модулю упругости E , поэтому в стальных отливках напряжения больше, чем в чугунных;

4) отливки, изготовленные из сплавов с большим коэффициентом линейного расширения α или из сплавов с малой теплопроводностью, предрасположены к повышенным термическим напряжениям.

Усадочные напряжения вызываются механическим торможением усадки. Они возникают как в тонких, так и в толстых сечениях отливки, независимо от скорости остывания. Усадочные напряжения особенно опасны при заливке в металлические формы. Также они могут появиться во время остывания отливки после термической обработки в том случае, если отливка прочно закреплена в печи или в закалочном приспособлении.

Чем больше торможение усадки, тем значительнее усадочные напряжения.

Фазовые напряжения возникают при превращениях в структуре сплава. В зависимости от происходящих в сечениях отливки фазовых изменений, фазовые напряжения могут быть растягивающими или сжимающими.

В отливках из углеродистой стали преобладают термические напряжения, а в отливках из легированной стали большое значение имеют фазовые напряжения.

Литейные напряжения являются алгебраической суммой остаточных термических, усадочных и фазовых напряжений. Большую опасность для отливок представляют случаи, когда отдельные виды напряжений имеют одинаковые знаки и суммируются. Так происходит, например, в толстых сечениях чугунных отливок, где суммируются термические и усадочные напряжения, а для отливок из стали – и фазовые. В результате возникновения напряжений в отливке могут появиться деформации или трещины.

Литейные напряжения могут уменьшиться из-за частичного перехода упругих деформаций в остаточные. Этот процесс происходит самопроизвольно с течением времени (особенно интенсивно в сером чугуне). Так же напряжения можно снять путем термической обработки отливок.

Если в отливке преобладают термические напряжения, то толстые части отливки уменьшаются в длину, а тонкие – увеличиваются. Если толстые и тонкие сечения отливки не распределяются симметрично, то наступает прогиб отливки (рис. 3.2).

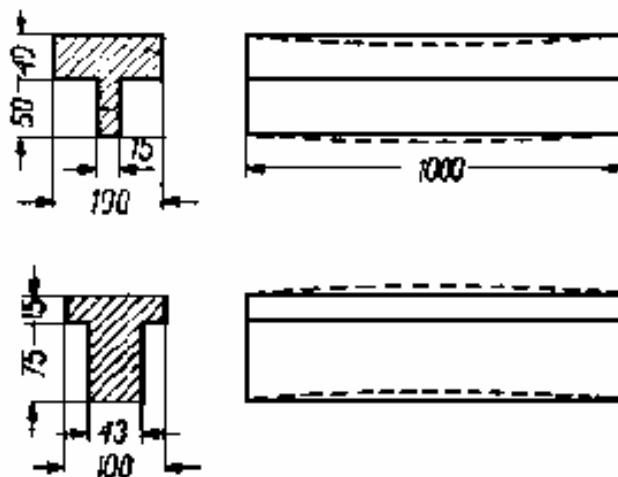
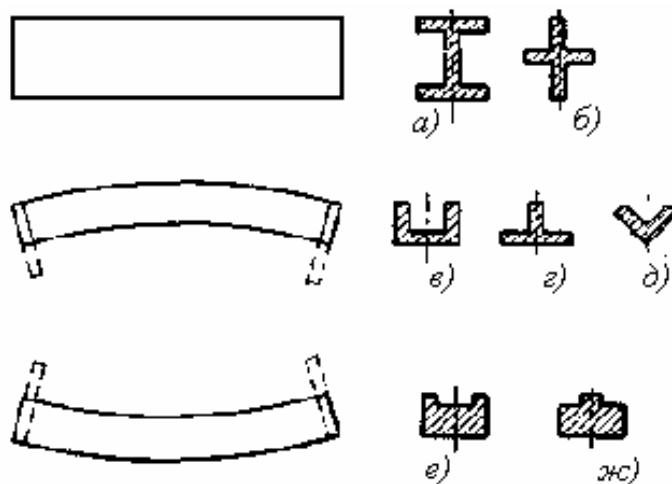


Рисунок 3.2 – Деформация стальных отливок таврового сечения под влиянием термических напряжений

Возможность предусмотреть вид деформации отливок различной конфигурации имеет большое значение при конструировании отливок. Например, когда нельзя сконструировать отливку, которая не деформировалась бы вследствие внутренних термических напряжений, изготавливают модель с обратным прогибом.

На рисунке 3.3 показано несколько сечений отливок.



а, б – технологические сечения; в...ж – нетехнологические сечения

Рисунок 3.2 – Деформация балок различного сечения под влиянием термических напряжений

Неравномерная скорость остывания тепловых узлов, расположенных на стыке стенок, приводит к термическим напряжениям. При этом балки а и б не прогибаются, так как они имеют симметричное построение; балки в, г, д подвер-

гаются искривлению и принимают вид дуги, обращенной вогнутой частью книзу, так как тепловые узлы на стыке стенок находятся ниже нейтральной оси сечения.

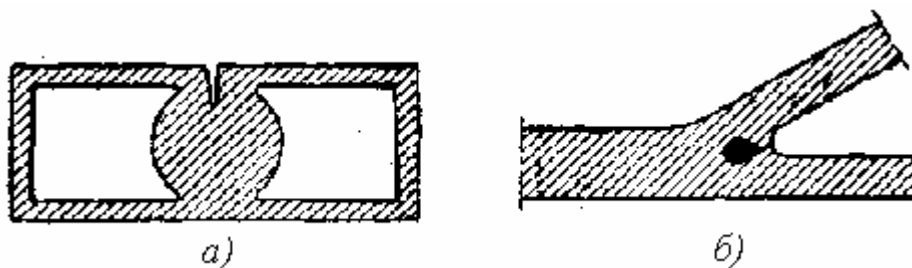
Балки с сечением $e, ж$ имеют иное расположение тепловых узлов и изгибаются в другую сторону. С помощью уравнивающих ребер, отмеченных пунктирными линиями, помещенных на концах отливки, можно предотвратить ее искривление за счет сопротивления усадке, оказываемого формой.

Кроме литейных напряжений, в отливках могут возникать напряжения, вызванные термической обработкой. В процессе нагревания отливок иногда возникают напряжения, которые суммируются с существующими и могут вызвать деформацию и даже трещины. Из-за опасности возникновения трещин при закалке конструкция отливок должна быть как можно более компактной и менее сложной. Чем сложнее конфигурация отливки, тем больше вероятность возникновения дополнительных напряжений.

3.2 Трещины в отливках

Наиболее распространенным дефектом отливок являются горячие и холодные трещины. Горячие трещины возникают во время затвердевания отливок и могут быть как внутренними, так и внешними. Излом горячей трещины темный и покрыт окислами.

Горячие трещины возникают по причине снижения прочности металла в диапазоне высоких температур (крупнозернистость, выделение неметаллических включений по границам зерен, наличие усадочных раковин, ликвация), а также из-за большой линейной усадки сплава и сильного ее торможения, которое зависит от конструкции отливки и особенностей литейной формы. Горячие трещины возникают обычно в наиболее толстых и наиболее горячих узлах отливки (рис. 3.3, *а*). Часто они образуются также в местах стыка стенок, особенно при сочленении стенок под острым углом (рис. 3.3, *б*). Элементы отливок, находящиеся вблизи литниковой системы и между прибылями, также подвержены трещинам.



а – трещина в утолщенной части отливки; б – трещина в сочленении стенок

Рисунок 3.3 – Возникновение горячих трещин

Холодные трещины возникают под влиянием литейных напряжений в отливке в диапазоне температур, соответствующем развитию упругих деформаций. Излом холодных трещин – не окисленный.

Для отливок из углеродистой стали причиной возникновения трещин являются термические либо усадочные напряжения. В отливках из легированной стали трещины чаще всего образуются из-за фазовых напряжений.

В чугунных отливках холодные трещины возникают под действием термических напряжений и чаще встречаются в отливках из белого чугуна. Также холодные трещины наблюдаются в отливках из стали, высокооловянных бронз и магниевых сплавов.

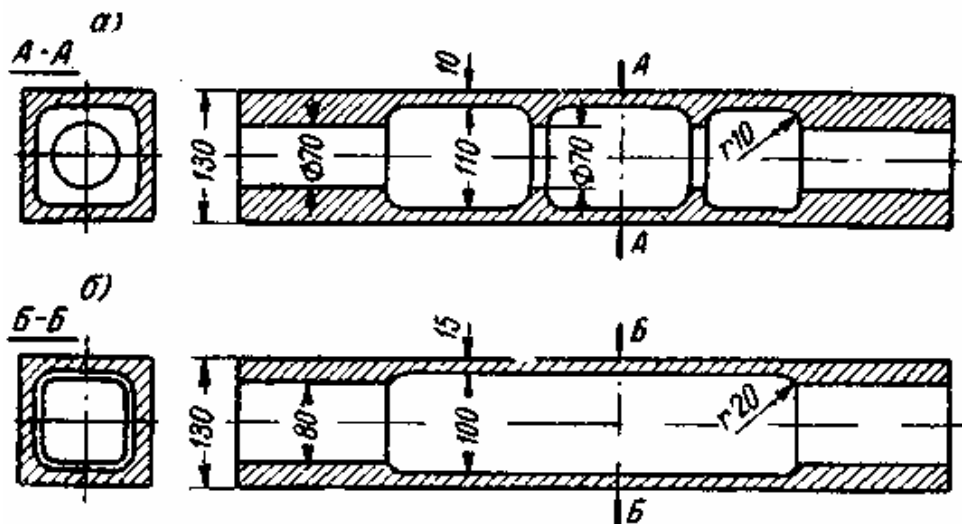
Таким образом, при разработке конструкции отливок для предотвращения образования внутренних напряжений и трещин необходимо придерживаться следующих рекомендаций.

1 Толщина стенок отливки должна быть такой, чтобы остывание проходило, по возможности, равномерно во всех частях отливки; следует избегать резких изменений сечения стенок. Чем больше разница в толщине стенок отливки, тем больше термические напряжения и, следовательно, опасность образования трещин.

2 Конструкция отливки должна быть компактной; необходимо избегать применения выступающих частей, находящихся на большом расстоянии одна от другой.

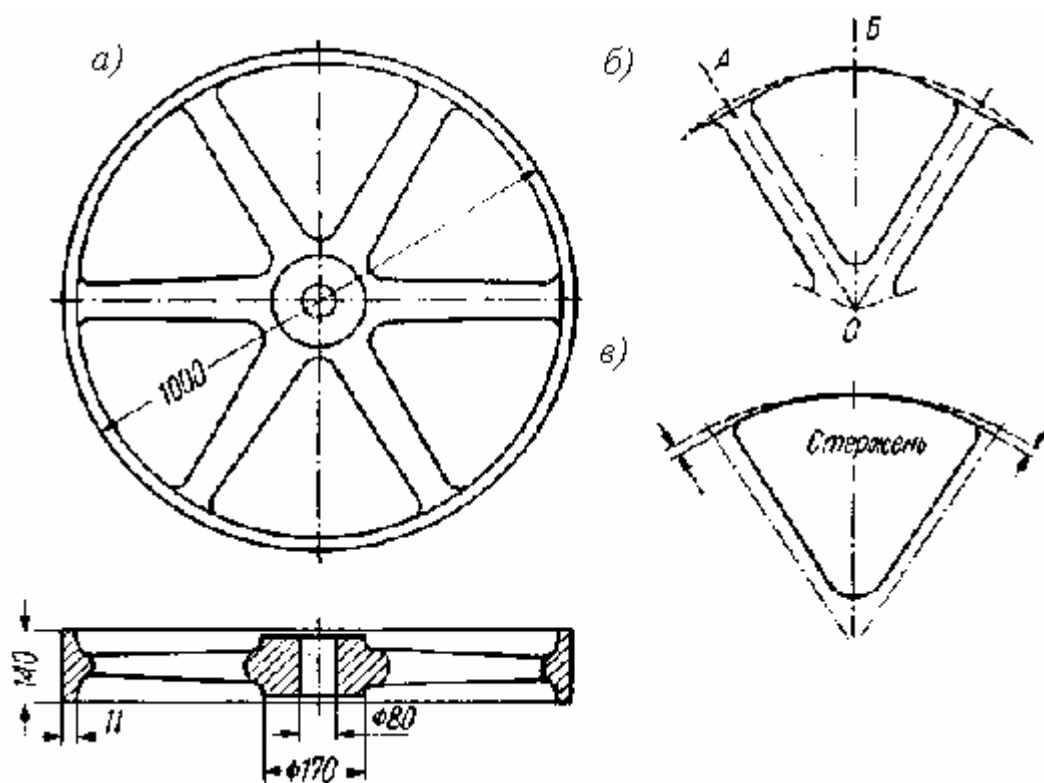
3 Конфигурация отливки не должна препятствовать усадке. Особенно большая опасность образования трещин существует в отливках, имеющих длинные полости с поперечными перегородками и глубокие впадины с небольшими закруглениями и выходами малого сечения. Придавая отверстиям обтекаемую форму и большие закругления, устраняя перегородки, можно уменьшить опасность возникновения напряжений и трещин. На рисунке 3.4 приведены варианты конструкции отливки кожуха.

В отливках типа колес с тонким ободом и толстыми спицами преобладают термические напряжения – сжимающие в ободе и растягивающие в спицах. Дополнительным фактором, увеличивающим растягивающие напряжения в спицах, является механическое торможение, вызванное сопротивлением формы. Под влиянием этих напряжений обод может подвергаться деформации в тех местах, где он соединяется со спицами (рис.3.5, б). Чтобы избежать брака в отливках, необходимо изменить конструкцию колеса (рис.3.5, в).



*а – нетехнологичная конструкция (сильное торможение усадки);
б – технологичная конструкция*

Рисунок 3.4 – Конструкция отливки кожуха



*а – отливка колеса; б – деформация обода под влиянием напряжений;
в – изменение модели*

Рисунок 3.5 – Приводное колесо с тонким ободом и толстыми спицами

Также для уменьшения напряжений рекомендуется вместо овального сечения спиц колеса применять двутавровое. Спицы, благодаря меньшей толщине стенок, быстрее остынут, и напряжения уменьшатся.

У зубчатых колес с массивным ободом и относительно тонкими спицами в ободе возникают растягивающие напряжения, а в спицах – сжимающие. Тонкие спицы быстро затвердевают и затрудняют усадку обода, который изгибается вблизи спиц и теряет конфигурацию правильной окружности. Дополнительное торможение усадки вызывает сопротивление формы. Уменьшить литейные напряжения в колесах небольшого диаметра можно применением вместо прямых спиц изогнутых спиц.

Для достижения свободной усадки и уменьшения литейных напряжений колеса большого диаметра рекомендуется изготавливать из двух, трех и даже четырех составных частей. После обработки части колеса соединяют.

Уменьшение деформации обода колес также достигается путем увеличения числа спиц. Иногда наиболее рациональным решением является замена спиц диском, соединяющим обод со ступицей. Этим достигается равномерная усадка на всей окружности обода, уменьшение литейных напряжений и частичное устранение термических узлов в местах сочленения спиц с ободом.

4 Для уменьшения термических напряжений следует применять вместо плоских стенок наклонные или изогнутые.

5 Недостаточно прочные части отливки, которые могут деформироваться или сломаться во время очистки, термической обработки или транспортирования, нужно усиливать ребрами.

6 При разработке конструкции отливок, работающих в условиях повышенных температур, кроме литейных напряжений необходимо учитывать напряжения, которые могут возникнуть в результате неравномерного нагрева различных частей отливки во время эксплуатации. К таким отливкам можно отнести отливки, предназначенные для металлургической промышленности (изложницы, ковши для шлака, детали металлургических печей и т.п.).

3.3 Оценка склонности корпусных отливок к образованию трещин

При конструировании чугунных корпусных отливок рекомендуется производить приближенную оценку склонности отливки к образованию трещин.

Склонность отливок к образованию трещин определяется величиной критерия $K_{тр}$. Основное условие предупреждения трещин корпусных деталей можно определить неравенством [6]

$$K_{тр} < [K_{тр}]. \quad (3.1)$$

Критерий $K_{тр}$ определяется по формуле

$$K_{тр} = \frac{F_c}{F_o} \left(1 + \frac{l_y}{B_y} \right), \quad (3.2)$$

где $K_{тр}$ – критерий, характеризующий относительную склонность отливки к образованию трещин;

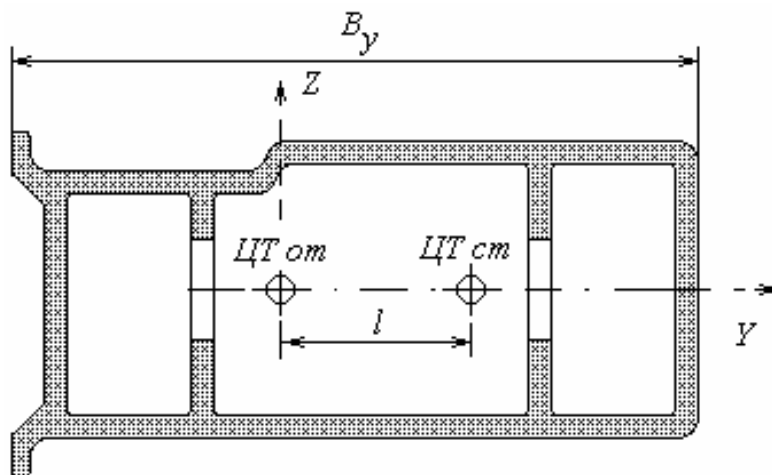
F_c – площадь поперечного сечения отливки, $м^2$;

F_o – площадь поперечного сечения стержней, $м^2$;

l_y – расстояние между центром тяжести стержней и центром тяжести отливки, $м$;

B_y – габаритный размер поперечного сечения отливки, параллельного направлению l_y , $м$.

Пример проверки сечения отливки на склонность к образованию трещин показан на рис.3.6.



ЦТ от – центр тяжести сечения отливки;

ЦТ ст – центр тяжести сечения стержня

Рисунок 3.6 – Пример проверки сечения отливки на склонность к образованию трещин

Допустимая величина критерия при данных параметрах конструкции отливки и технологии литья определяется по формуле

$$[K_{mp}] = 6,5 \cdot K_l \cdot K_m \cdot K_{cm} \cdot K_{\psi}, \quad (3.2)$$

где K_l – коэффициент, зависящий от длины отливки;

K_m – коэффициент, зависящий от прочности чугуна в стенке отливки;

K_{cm} – коэффициент, зависящий от прочности стержневых смесей;

K_{ψ} – коэффициент, зависящий от наличия структурно-свободных включений карбидного типа (цементит и др.) в структуре чугуна отливки.

Эти коэффициенты определяются по графикам (в зависимости от конструктивных и технологических параметров отливки и прочности чугуна), которые приведены на рисунке 3.7.

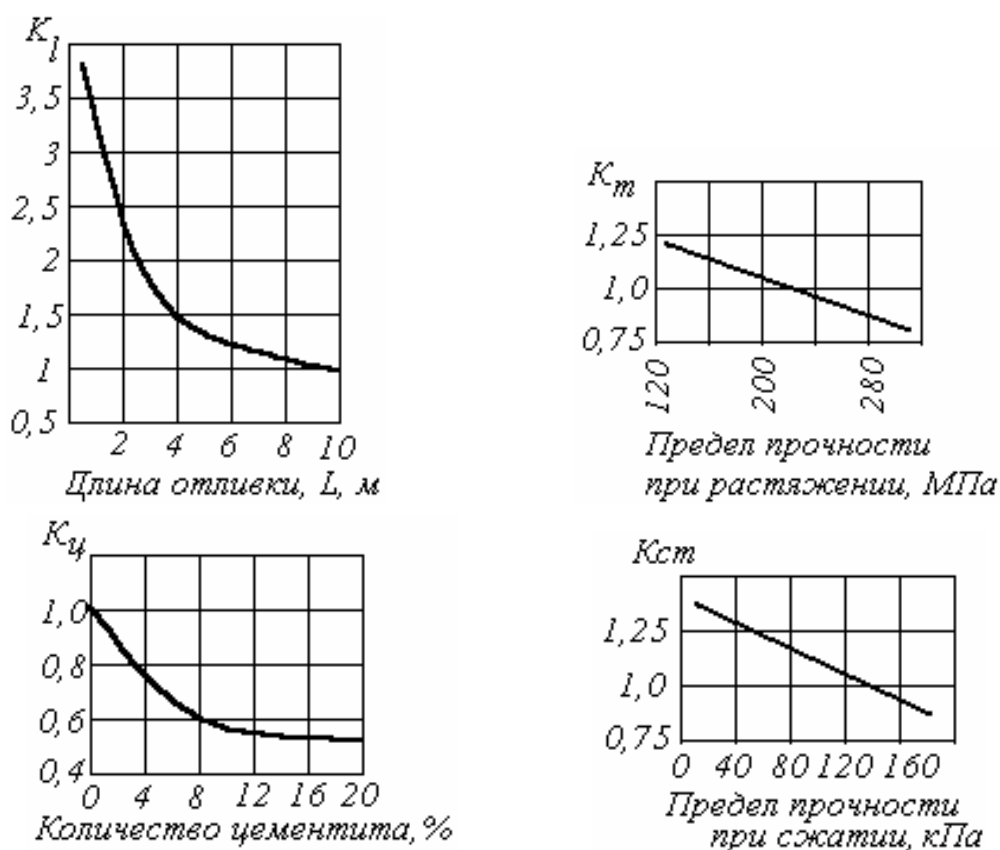


Рисунок 3.7 – Графики для определения коэффициентов

Приведенный расчет применим для отливок с постоянным или мало изменяющимся по длине поперечным сечением (балка, станина, стойка и др.). Для отливок с изменяющимся по длине поперечным сечением расчет будет менее точен.

При этом значение критерия K_{mp} надо определять отдельно для каждого i -го участка отливки с постоянным по длине поперечным сечением, а затем рассчитывать среднюю величину.

Если в результате расчетов установлено, что условие $K_{mp} < [K_{mp}]$ не удовлетворяется, то существует опасность образования трещин в отливке. В этом случае необходимо уменьшить величину K_{mp} или повысить значение $[K_{mp}]$.

Чтобы снизить величину K_{mp} , следует:

- ввести дополнительные продольные ребра в отливке;
- применить технологические ребра, которые удаляются в процессе механической обработки;
- уменьшить размеры окон в стенках отливки, ввести отбуртовки в окнах;
- изменить конструкцию отливки путем сокращения размеров внутренних полостей;
- увеличить толщину стенок отливки, при этом одновременно со снижением величины K_{mp} повышается значение $[K_{mp}]$.

Для повышения величины $[K_{mp}]$ необходимо использовать чугун более низких марок и применять более податливые стержневые смеси.

При выполнении перечисленных рекомендаций общие правила конструирования отливок не должны нарушаться.

4 ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОТЛИВКИ НА СОКРАЩЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ОБРУБКИ И ОЧИСТКИ

Конструкция отливки должна обеспечивать:

- 1) удобный доступ ко всем поверхностям, дающий возможность легко удалять стержни и стержневые каркасы;
- 2) легкость удаления заливов, возникающих на поверхности разъема формы и стыка стержней;
- 3) простоту отделения литниковой системы.

4.1 Удаление стержней и каркасов

Удаление стержней и каркасов, особенно из сложных отливок, является трудоемкой операцией. Очень часто трудоемкость удаления стержней при выбив-

ке отливок может превышать трудоемкость изготовления стержней. Для предотвращения этого при конструировании отливок необходимо придерживаться следующих рекомендаций.

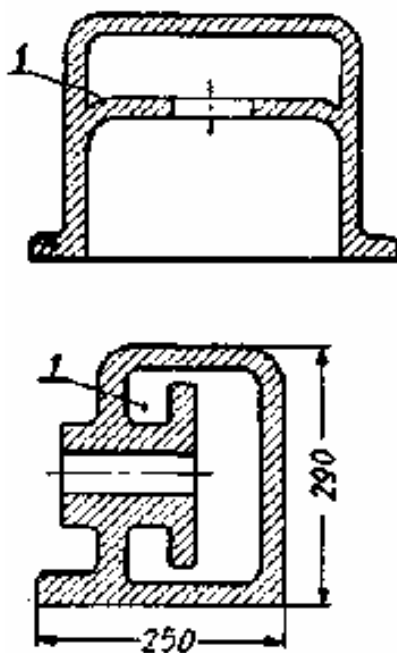
1 Площадь отверстий, через которые удаляются стержни, должны быть, по мере возможности, равной площади большего сечения стержня.

2 Отверстия должны быть размещены так, чтобы с помощью простых инструментов можно было полностью удалить стержневую смесь из полостей отливки.

3 По возможности, отверстия должны быть расположены против торца стержня, в направлении его наибольших размеров.

4 Выбивка стержней значительно упрощается, если отверстия, служащие для их удаления, находятся по обеим сторонам. При широких полостях желательно, чтобы отливка имела несколько рядов отверстий. Это упрощает доступ к стержню при его удалении.

На рисунке 4.1 показаны примеры нетехнологичных отливок, из полостей которых трудно удалять стержневую смесь.



1 – полость с затрудненным удалением стержней

Рисунок 4.1 – Примеры нетехнологичных отливок

5 Конструкция отливки и размеры отверстий должны предусматривать удаление каркасов стержней без их разрушения.

Часто большую трудность представляет удаление чугунных каркасов, которые предварительно необходимо сломать, и каркасов, изготовленных из толстой проволоки: их отгибают внутрь отливки. Это приводит к увеличению стоимости очистки и к дополнительным расходам на изготовление новых каркасов.

4.2 Удаление заливов

На поверхности разъема формы и на стыке стержней могут образовываться заливывы, которые необходимо удалять. Удаление заливов является трудоемкой операцией. Поэтому при разработке конструкции отливки ей необходимо придавать такую конфигурацию, чтобы количество, длина и толщина различных заливов были минимальными. Для достижения этого необходимо придерживаться следующих *рекомендаций*.

1 Чем меньше число разъемов формы и стыков стержней, тем меньше количество и длина заливов. Отсюда следует, что необходимо ограничивать применение стержней в проектируемых отливках не только с точки зрения упрощения формовки, но и с целью уменьшения операций очистки.

2 Наиболее целесообразной является такая форма, когда заливывы образуются на обрабатываемых поверхностях отливки и удаляются вместе со слоем срезаемого металла при механической обработке (рис.4.2).

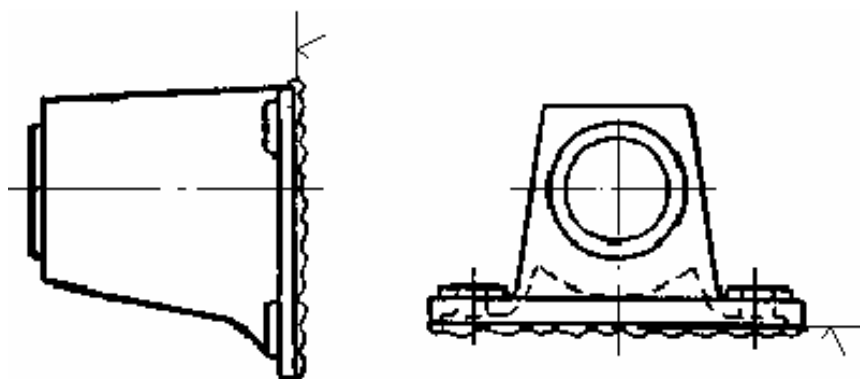
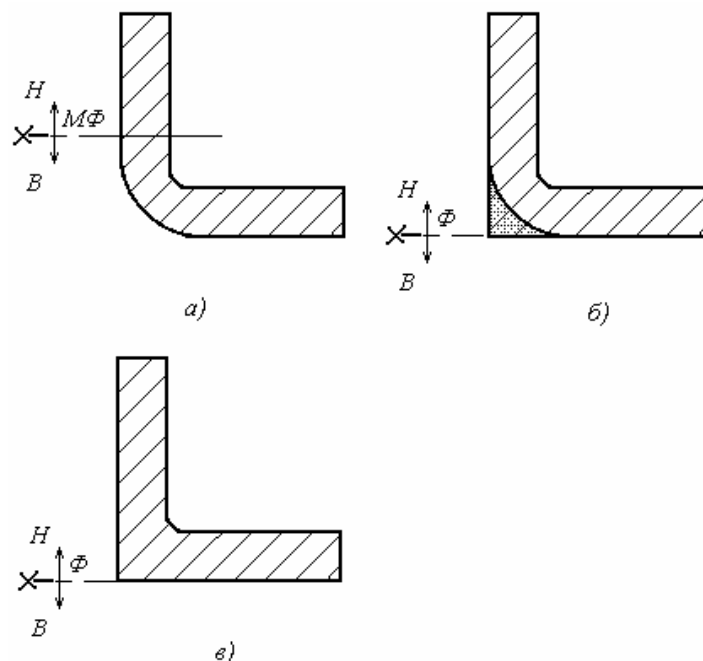


Рисунок 4.2 – Заливы на отливках, удаляемые при механической обработке

3 У мелких чугунных отливок заливывы, расположенные на наружных поверхностях, удаляются во время очистки в галтовочном барабане.

4 Края отливки, лежащие в плоскости разъема формы, не рекомендуется выполнять закругленными. Такая конструкция отливки может привести либо к

смещению плоскости разъема формы и усложнению формовки (рис. 4.3, *а*), либо к срезанию углов при ручной отделке формы (рис. 4.3, *б*), что увеличивает стоимость и трудоемкость формовки. На рис. 4.3, *в* показана правильная конструкция края отливки.



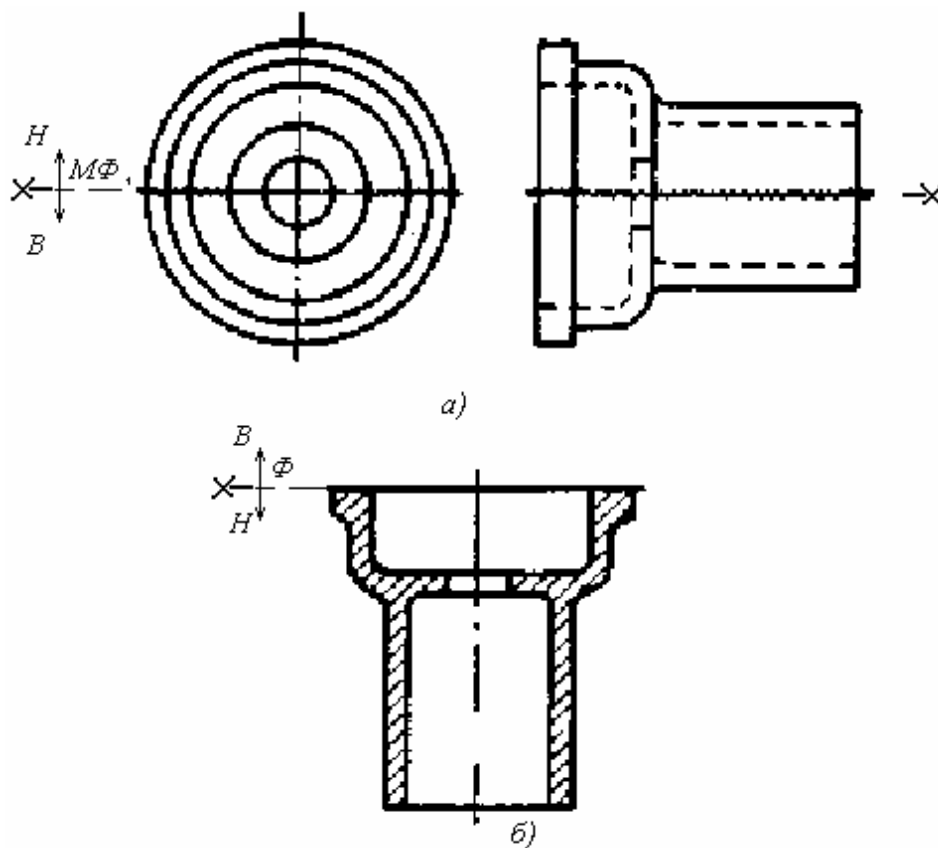
а, б – нетехнологичные конструкции; в – технологичная конструкция

Рисунок 4.3 – Выполнение края отливки

5 Удаление заливов, лежащих на наружных поверхностях отливки, производится проще, чем удаление их из внутренних полостей. На рис. 4.4 представлена отливка ролика с плоскостью разъема, проходящей через его ось, или перпендикулярной к ней.

Решение, представленное на рис. 4.4, *б*, более целесообразно, хотя из-за относительно большой высоты формы и создает некоторые неудобства. Особенно трудоемким является удаление заливов, находящихся на внутренних, труднодоступных поверхностях отливки. Таких заливов необходимо избегать.

6 Отливкам необходимо придавать такую конфигурацию, чтобы неровности, которые могут возникнуть в случае сдвига опок, могли быть легко устранены при обрубке и не вызывали бы перекосов в отливках.

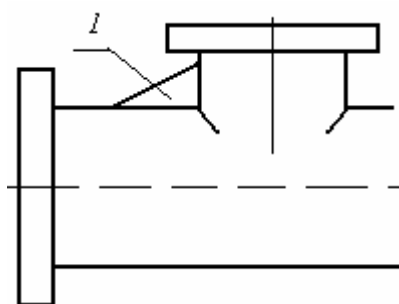


а – нецелесообразный с точки зрения образования заливов разъем формы;

б – целесообразный разъем

Рисунок 4.4 – Отливка ролика

7 Подлежащие удалению усадочные ребра не должны находиться в глубоких труднодоступных местах (полостях) отливки. Пример неправильной конструкции показан на рис. 4.5.



1 – усадочное ребро в труднодоступном месте отливки

Рисунок 4.5 – Неправильная конструкция отливки

8 Поверхности разъема форм и стержней следует назначать так, чтобы стыки отдельных частей формы и стержня, на которых образуются заливки по мере

возможности лежали в одной плоскости. Это облегчает удаление заливов и улучшает внешний вид отливки.

4.3 Отделение литниковой системы и прибылей

Отделение от отливок литниковой системы упрощается, когда она находится в легкодоступных местах отливки и когда она имеет небольшое поперечное сечение. Более целесообразной с точки зрения простоты удаления является литниковая система с сечением в виде трапеции или овала.

Для облегчения удаления прибылей при конструировании отливок необходимо придерживаться следующих *рекомендаций*.

1 Количество прибылей и их размеры должны быть по возможности минимальны.

2 Прибыли должны быть размещены так, чтобы их можно было удалить во время одной из операций механической обработки.

3 Необходимо избегать размещения прибылей над фигурными частями отливки, так как в этом случае для получения необходимого очертания требуется дополнительная обработка мест, лежащих под срезанными прибылями.

4 Следует избегать размещения прибылей в таких местах, где из-за конфигурации отливки они не могут быть отрезаны у самого основания; в этом случае остатки прибылей приходится удалять с помощью дополнительной механической обработки.

5 КОНСТРУКЦИЯ ОТЛИВКИ И ЭКОНОМИЯ МЕТАЛЛА

Стоимость литой детали определяется как технологическим процессом ее изготовления, так и стоимостью металла. Экономичное использование металла приобретает принципиальное значение в настоящих экономических условиях, а особенно при изготовлении отливок из дорогих и дефицитных сплавов (легированных сталей, оловянной бронзы и т.д.).

При конструировании литой детали также должны быть проработаны вопросы, касающиеся экономии металла. Неэкономный расход металла характерен для отливок обычного качества, к которым не предъявляются повышенные прочностные требования и которые обычно не подвергаются расчету на прочность.

Многие литые чугунные детали работают с очень низкими напряжениями, так как при их конструировании в целях создания определенной надежности расчет на прочность заменяют увеличением толщины стенок. Это приводит не только к нецелесообразному расходу металла и увеличению массы детали, но и к увеличению трудоемкости их обработки в механических цехах, увеличению количества отходов в виде стружки, возрастанию стоимости детали и машины в целом. Конструкции стальных литых деталей также часто работают в условиях очень низких напряжений.

Металлоемкость отливок можно снизить конструктивными и технологическими мероприятиями, направленными на создание наиболее облегченных деталей и узлов, на повышение их мощности.

При конструировании можно использовать следующие *пути снижения металлоемкости литых деталей*.

1 Применение более совершенных принципов конструирования машин

Резко повысить коэффициент использования металла и снизить стоимость изготовления изделий позволяют облегченные конструкции машин, станков и других изделий. Кроме того, необходимо стремиться к замене сборных конструкций цельнолитыми или штампованными из листовой стали деталями.

2 Рациональное использование металла в отливке

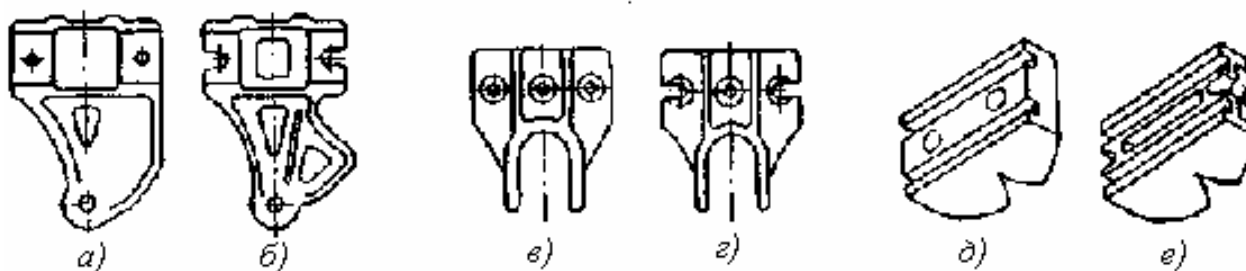
Одним из важнейших путей получения высококачественной отливки является правильное распределение металла в ее конструкции, обеспечивающее рациональное соотношение между массой и прочностью. Если конструируемая отливка будет эксплуатироваться в условиях неравномерной нагрузки, применение в отливке стенок с равными толщинами нецелесообразно. Примером может служить отливка рессорного балансира, сечение которой показано на рис.5.1. Нагрузка прилагается на концах и в центре; максимальные напряжения возникают в центре отливки, поэтому только для этого сечения необходимо предусмотреть максимальную толщину.



Рисунок 5.1 - Отливка рессорного балансира

Уменьшать концентрацию напряжений можно также за счет изменений конструкций, предусматривая большие радиусы, более толстые сечения в необходимых местах, ребра и бобышки.

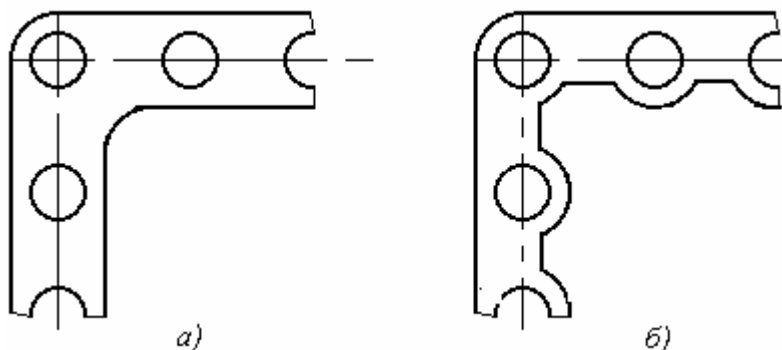
Снижение массы детали и экономия металла могут быть достигнуты за счет устранения слабонагруженного или неработающего металла, увеличения площади окон, образования выемок и уменьшения толщины стенок. Примеры такого уменьшения массы отливок показаны на рис. 5.2.



а, в, д – первоначальные конструкции; б, г, е – измененные конструкции

Рисунок 5.2 – Примеры уменьшения массы отливок

Массу деталей типа крышек, корпусов, фланцев и станин, где в конструкции предусмотрены сплошные широкие борты под сверление отверстий для крепления (рис. 5.3, а), целесообразно уменьшать за счет изменения формы или уменьшения ширины бортов. Вокруг отверстий могут быть прилиты бобышки, диаметр и высота которых равны сплошному борту (рис. 5.3, б). Если деталь обладает достаточной прочностью и допускаются просветы между сопряженными поверхностями, то бобышки можно выполнять изолированными.



а – первоначальная конструкция; б – измененная конструкция

Рисунок 5.3 – Изменение бортов отливок

Значительная экономия металла и уменьшение массы деталей возможны при уменьшении размера нижних опорных буртов и лап крупных и средних базовых деталей типа станин, колонн, оснований и стоек. Двусторонние бурты при возможности следует заменять односторонними. Также целесообразно приливать бурты не по всему периметру детали, а только на отдельных поверхностях, где они действительно необходимы.

3 Применение более дешевых литейных сплавов

Дорогостоящий металл детали целесообразно заменять более дешевым, полностью или частично. Стальные детали, если возможно, заменяют отливками из высокопрочного или модифицированного чугунов, дефицитные цветные металлы – черными. Частичная замена предусматривает использование биметаллических отливок, в которых специфические свойства дорогостоящих металлов используются только в тех элементах, где эти свойства действительно необходимы, остальная часть отливки может быть изготовлена из более дешевого материала.

Изменение конструкции латунного поршня гидроцилиндра (рис. 5.4) без ущерба для прочности привело к экономии латуни до 2 кг на каждом изделии.



а – первоначальная конструкция; б – измененная конструкция

Рисунок 5.4 – Изменение конструкции поршня

Замена углеродистых сталей низколегированными сталями дает возможность, не снижая прочности деталей, снизить массу стального литья на 10...15%. Это объясняется более высокими механическими свойствами низколегированных сталей.

Прочность модифицированных и высокопрочных чугунов в несколько раз выше, чем серых. Замена серых чугунов более прочными позволяет значительно уменьшить толщину стенок нагруженных массивных деталей.

Значительную экономию получают также при замене стальных отливок отливками из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

4 Уменьшение технологических припусков и припусков на механическую обработку

В ряде случаев рассматривается возможность полностью ликвидировать припуски на обработку. Экономия металла может быть получена также и при правильном конструктивном положении охлаждающих ребер в отливке.

5 Повышение прочностных свойств деталей, позволяющих увеличивать продолжительность ее эксплуатации

Улучшение конструкции с целью продления срока эксплуатации деталей достигается уменьшением износа поверхностей, подвергающихся истиранию, приданием этим поверхностям специальных свойств (поверхностное легирование, металлизация и др.).

Целесообразно делить сложные детали, имеющие разные сроки службы поверхностей, на простые или вводить съемные элементы в местах быстрого износа.

ЛИТЕРАТУРА

1 Анисимов В.П. Проектирование литых деталей/ В.П.Анисимов, Б.Н.Благов. – М.: Машиностроение, 1967. – 200 с.

2 Бодашков Н.М. Конструирование и выбор способа получения литых заготовок. – Калинин: Калининский политехнический институт, 1973. – 110 с.

3 Волцинский А.Я. Конструирование чугунных деталей и их литейная технологичность. – М.: Машиностроение, 1964. – 211 с.

4 Методические указания по проектированию технологичных деталей/ Сост.: С.П.Дорошенко, Л.Н.Сыропоршнев. – Киев: КПИ, 1984. – 55 с.

5 Носков Б.Л. Конструирование литых деталей/ Б.Л.Носков, Н.А.Косариков, Н.Н.Смеяков. – М.: Машгиз, 1967. – 211 с.

6 Орлов П.Н. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие: В 2 кн. – Кн.1/Под ред. П.Н.Учаева. – М.: Машиностроение, 1988. – 560 с.

7 Рихтер Р. Конструирование технологичных отливок. – М.: Машиностроение, 1968. – 254 с.

8 Скарбинский М. Конструирование отливок. – М.: Машгиз, 1961. – 573 с.

Приходько Олег Викторович

Методическое пособие

к практическим и самостоятельным работам по дисциплине

«Конструирование литых изделий»

для студентов специальностей 7.090205, 7.090403

дневной и заочной форм обучения.

Редактор

Елена Александровна Дудченко

Подп. в печать.

Формат 60x84/16.

Ризограф. печать.

Усл. печ. л.

Уч.-изд. л.

Тираж экз.

Заказ №

