

ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА»

**В.Г. СМЕЛОВ, Р.А. ВДОВИН**

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЛИТНИКОВО- ПИТАЮЩИХ СИСТЕМ НА СТРУКТУРУ И КАЧЕСТВО ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК**

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» в качестве методических указаний к лабораторной работе для студентов, обучающихся по программам высшего образования укрупненных групп специальностей и направлений: 24.00.00 – Авиационная и ракетно-космическая техника и 15.00.00 - Машиностроение

САМАРА  
Издательство Самарского университета  
2017

УДК: 621.74.04

Авторы: В.Г. Смелов, Р.А. Вдовин,

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. А.А. Макаров  
канд. техн. наук, доц. Е.Г. Демьяненко

***Смелов В.Г.***

**Исследование влияния конструкции литниково-питающих систем на структуру и качество литых заготовок:** методические указания к лабораторной работе / Р.А. Вдовин, В.Г. Смелов. – Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2017. - 46 с.

Методические указания к лабораторной работе направлены на формирование у студентов понимания проектирования оптимальной конструкции литниково-питающей системы, выбора способа подвода металла к отливке, влияния неэффективности элементов ЛПС на механические свойства отливок деталей. В методических указаниях представлен алгоритм расчета оптимальной конструкции литниково-питающей системы для снижения литейных дефектов.

Методические указания к лабораторной работе предназначены для подготовки магистров по направлению 15.04.05 – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», (магистерская программа «Инновационное высокотехнологическое производство в машиностроении») с ОАО «Металлист-Самара.

Подготовлены на кафедре технологий производства двигателей.

УДК: 621.74.04

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Цель и задачи работы.....	5
2 Последовательность выполнения работы.....	5
3 Программное обеспечение, оборудование, инструменты и средства измерений.....	6
Теоретическая часть.....	6
4 Основы проектирования литниково-питающих систем.....	6
5 Олияние литниково-питающей системы на механические свойства литых деталей.....	15
6 Основные требования, предъявляемые к конструкции литниково-питающих систем.....	24
Практическа часть.....	27
7 Особенности конструирования элементов литниково-питающих систем и отливок для снижения литейных дефектов.....	27
9 Содержание отчета.....	36
Контрольные вопросы.....	37
Заключение.....	38
Библиографический список.....	39
Приложение 1.....	44

## **ВВЕДЕНИЕ**

Большое разнообразие способов изготовления отливок деталей двигателестроения вызывает определенные трудности в оценке, выборе, проектировании чертежа литой заготовки, в осуществлении технологической подготовки производства конкретно заданной детали. Данные методические рекомендации предназначены для решения этих задач.

В силу непрерывного развития и совершенствования производственных технологий большое влияние на качество отливок деталей оказывает эффективность конструкции литниково-питающей системы, которая существенным образом сказывается как на механических свойствах отливки, так и на их структуре.

Настоящее пособие преследует цель помочь студенту в его практике правильно оценивать возможности металлов и сплавов при производстве литых деталей, а также усвоить основные элементы конструирования литых деталей.

## **1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ**

Цель работы – закрепление теоретических знаний и получение практических навыков по выбору и проектированию оптимальной конструкции литниково-питающей системы и оценке ее влияния на качество отливки.

Задачи:

- изучить существующие конструкции литниково-питающих систем, их достоинства, недостатки и возможность использования для различного класса деталей;
- провести исследование по оценке влияния конструкции литниково-питающей на механические свойства отливок;
- провести расчет элементов литниково-питающей системы и отливки в соответствии с предложенным алгоритмом.

## **2 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Изучить теоретические сведения о существующих конструкциях литниково-питающих систем.
2. Изучить влияние литниково-питающей системы на механические свойства литых деталей.
3. Изучить функционал используемого в лабораторной работе функционала программного обеспечения.
4. Изучить основные требования, предъявляемые к конструкциям литниково-питающих систем.
5. Изучить особенности конструирования элементов литниково-питающих систем и отливок для снижения литейных дефектов.
6. Спроектировать 3D модель отливки и литниково-питающую систему в соответствии с рассчитанными данными.
7. Провести компьютерное моделирование технологического процесса литья детали в САЕ системе ProCast в соответствии с заданием, выданным преподавателем.

8. Произвести анализ полученных результатов моделирования и установить влияние конструкции ЛПС на качество отливок.

9. Оформить отчет в соответствии с Приложением 1, сделать выводы по итогам выполнения лабораторной работы.

### **3 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

#### **Программное обеспечение:**

- Siemens NX 8.5, ProCast 2013.5.

#### **Оборудование:**

- Профилографе Hommel – Etamic Tester W55.
- Твердомера Hardness Tester TH160.
- Испытательная машина Testometric FS 150 AX.

#### **Инструменты и средства измерений:**

- Штангенциркуль цифровой Stainless Hardened (0 – 150 мм).
- Штангенциркуль ШЦ-II (0 – 300 мм).
- Микрометры гладкие МК с диапазоном измерений 0-25, 0-50 и 0-75.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **4 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИТНИКОВО-ПИТАЮЩИХ СИСТЕМ**

Литейное производство является основной заготовительной базой машиностроения, поэтому уровень машиностроительной комплекса в целом в большой степени зависит от его развития. Проблема производства качественных отливок была и остается самой важной задачей литейного производства. Разработка бездефектной литейной технологии - основная задача технолога, потому что только такая технология гарантирует заявленные конструктором эксплуатационные характеристики изделия. Дефекты отливок являются следствием ошибок при проектировании

технологии, элементов литниково-питающей системы или несоблюдения температурного режима затвердевания металла от момента его попадания в форму до окончательного охлаждения отливки в форме. Причиной ошибок проектирования во многом является то, что данная группа дефектов не имеет на сегодняшний день достаточного количества научно обоснованных методик их прогнозирования. Компьютерное моделирование на базе математических моделей и создание автоматизированного проектирования - это универсальный и эффективный инструмент в руках технолога-литейщика. Таким образом, актуальной является проблема разработки системы автоматизации проектирования параметров, оказывающих влияние на охлаждения отливки, с алгоритмами оптимизации и математическими моделями [4, 10, 27].

Литниково-питающие системы (ЛПС) при литье по выплавляемым моделям состоят из *известных традиционных элементов*: литниковых воронок, стояков, зумпфов и литниковых ходов, прибылей и коллекторов. Благодаря характерной для литья по выплавляемым моделям неразъемной форме указанные конструктивные элементы удается расположить наиболее эффективно, максимально используя объем формы. ЛПС, применяемые в современном производстве отливок литьем по выплавляемым моделям, целесообразно разделить на восемь типов:

I - центральный стояк;

II - горизонтальный коллектор;

III - вертикальный коллектор;

IV - вертикальный коллектор, заполняемый снизу;

V - боковая прибыль;

VI - верхняя прибыль;

VII - местная прибыль и коллектор;

VIII - система местных прибылей.

В таблице 1 представлена применяемость типов ЛПС в отливках.

Таблица 1 – Применяемость типов ЛПС в отливках

Типовая отливка	Типы ЛПС при ориентировочной массе единичной отливки, кг		
	< 1	1—10	>10
гайка, барашек	I, II	II, VI	VI
рычаг, ручка	I, II, III	II, VII	V, VII
лопатка	II, IV, VII	VI, VII	VI
магнит	I, IV		
крышка, сопловой аппарат	II, III	VI, VI, VIII	VIII
крыльчатка	II	IV, VI	V, VI, VII
ротор	VI	VI, VIII	VII, VIII
цилиндр, патрубок	I, II	V, VI	V, VI, VIII
корпус	I, II, III	II, VII, VIII	VIII

*Тип I. Центральный стояк.* ЛПС этого типа представляет собой стояк компактного сечения, непосредственно к которому с разных сторон присоединяются небольшие отливки с одним-двумя индивидуальными питателями (рисунок 1). Центральный стояк является одновременно и литниковым ходом, и коллективной прибылью, а питатели соответственно выполняют и роль шеек прибылей. Центральное расположение стояка обуславливает естественное замедление его охлаждения и способствует направленному затвердеванию периферийно расположенных отливок. Зумпф в нижней части стояка смягчает отрицательное действие механического и теплового ударов, имеющих место в



начальный момент заливки. Центральный стояк служит основой для создания комплексно-механизированного технологического процесса производства небольших отливок. ЛПС типа I находят широкое применение в производстве отливок массой до 1 кг. В ГОСТ 19551—74—ГОСТ 19554—74 для отливок из углеродистой стали и медных сплавов указаны основные размеры центрального стояка круглого, шестиугольного, квадратного и треугольного сечений высотой до 400 мм. Диаметр стояков круглого сечения изменяется в пределах 25—56 мм, шестиугольного и квадратного 28—50 мм, треугольного 32—50 мм.

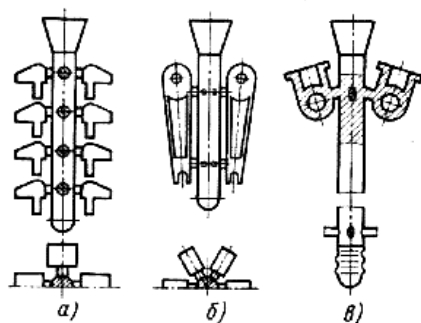


Рисунок 1 – Литниково-питающая система типа I (центральный стояк): а – компактная с одним тепловым узлом; б – протяженная с двумя тепловыми узлами; в – проушина амортизатора автомобиля

*Тип II. Горизонтальный коллектор.* ЛПС этого типа представляет собой центральный стояк, на котором в один-два яруса и более расположены горизонтальные коллекторы, обычно в виде радиальных лучей, дисков и колец (рисунок 2). Одноярусная ЛПС типа II имеет короткий стояк; ее применяют для протяженных отливок с одним тепловым узлом или для небольших, но компактных отливок. Двухъярусная ЛПС удобна для отливок, требующих подвода металла через два питателя. Многоярусная

система типа II в ряде случаев позволяет разместить в форме большее число небольших отливок, чем система типа I, и при более высоком выходе годного. К преимуществам ЛПС типа II относится также удобство отрезки отливок дисковым инструментом. Для комплексной механизации преимущество имеют те варианты ЛПС типа II, которые сконструированы на базе унифицированного центрального стояка, как бы приводящего ЛПС типа II к ЛПС типа I. В ГОСТ 19555—74-н ГОСТ 19560—74; ГОСТ 19562—74 предусмотрены ЛПС типа II с горизонтальными коллекторами нескольких разновидностей: дисковыми, кольцевыми, радиальными прямоугольного сечения из двух, трех, четырех и пяти лучей, в виде двух параллельных брусьев прямоугольного сечения.

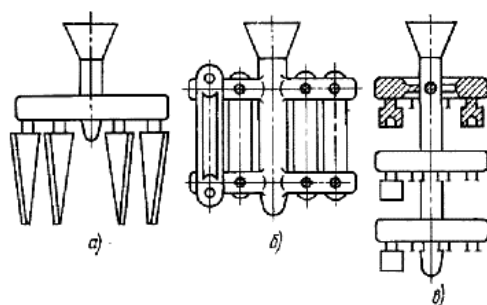


Рисунок 2 – Литниково-питающая система типа II (горизонтальный коллектор): *а* – лучевой одноярусный; *б* – лучевой двухъярусный; *в* – кольцевой трехъярусный

*Тип III. Вертикальный коллектор.* Обычно этот коллектор имеет вид системы заливаемых сверху параллельных стояков, единого вертикально-замкнутого коллектора или полого стояка (рисунок 3). Параллельные стояки применяют при литье деталей типа плиты или коробки, отличающихся распределенными в плоскости узлами. Вертикально-замкнутый коллектор позволяет эффективно питать отливку типа кольца. Представляет интерес вертикальный коллектор типа полого стояка. Польный стояк, имея развитую поверхность,

позволяет разместить в форме в 2—4 раза больше небольших отливок, чем сплошной. Благодаря ограниченному теплоотводу в сторону полости формы, он отличается высокой питающей способностью в период затвердевания отливок. В ГОСТ 19561-74, ГОСТ 19563-74, ГОСТ 19565—74 приведены основные размеры следующих вертикальных коллекторов: вертикальных кольцевых с внешним кольцом диаметром 100—200 мм, парных незамкнутых и замкнутых, двухпарных. Сечения вертикальных коллекторов прямоугольные, высотой до 250 мм.

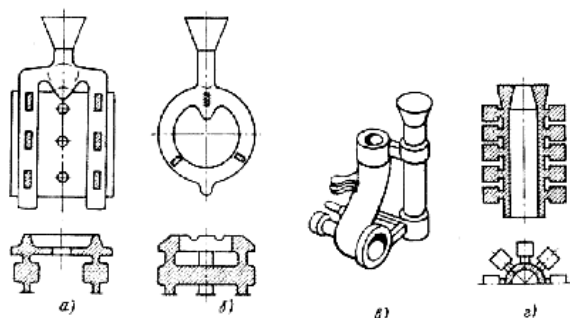


Рисунок 3 – Литниково-питающая система типа III (вертикальный коллектор); а – параллельные стояки; б – вертикально-замкнутый кольцевой коллектор; в – стояк

*Тип IV. Вертикальный коллектор, заполняемый снизу.* Обычно такой коллектор имеет вид обратного стояка круглого сечения. Применяют его при литье постоянных магнитов из пленообразующих сплавов типа ЮНДК, в том числе в сборные формы и при литье под низким давлением (рисунок 4).

*Тип V. Боковая прибыль.* Эта прибыль имеет вид массивного вертикального тела, напоминающего стояк, но отличающегося от него существенно большим поперечным сечением; допускается применение коллекторов в виде местных утолщений. Боковую прибыль используют преимущественно при изготовлении крупных и протяженных отливок, при вертикальной ориентации которых

обеспечивается спокойное заполнение формы снизу вверх и сосредоточение в верхней части отливки наиболее горячих порций расплава.

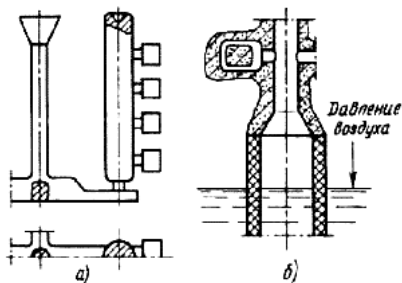


Рисунок 4 – Литниково-питающая система типа IV (сифонный коллектор): а – заливка через стояк-распределитель; б – заливка на машине литья под низким давлением

Боковая прибыль допускает применение модели с металлическим каркасом, благодаря чему создаются условия для экономии модельных материалов и механизации технологических операций при изготовлении оболочковых форм. На рисунке 5 приведена характерная боковая прибыль, используемая при получении крупных и сложных тонкостенных отливок из сложнелегированных сталей.

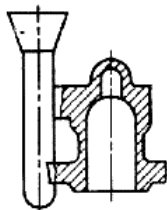


Рисунок 5 – Литниково-питающая система типа V (боковая прибыль). Пример применения: боковая прибыль для корпуса арматуры

*Тип VI. Верхняя прибыль.* Эта прибыль представляет собой массивный резервуар металла над главным тепловым узлом отливки,

получаемой в одноместной форме. При наличии в отливке вторичных узлов их питают от этой же прибыли через дополнительные отводы и шейки. Metall в прибыль заливают из ковша или непосредственно из тигля печи. Сосредоточение наиболее горячего расплава в верхней части прибыли приводит к созданию в форме наиболее благоприятного для питания отливки градиента температур. Отличаясь вследствие этого высокой питающей способностью, верхняя прибыль надежно обеспечивает получение плотного металла крупных высоконагруженных литых деталей. При использовании модели верхней прибыли с металлическим каркасом создаются условия для механизации работ по изготовлению форм. ГОСТ 19566—74 регламентированы основные размеры верхних прибылей для отливок из углеродистых сталей и медных сплавов массой более 0,5 кг. Высоту прибылей принимают в пределах 55—120 мм, диаметр 36-90 мм. Прибыли рекомендованы для производства отливок, питанию которых невозможно обеспечить через коллектор (рисунок 6).

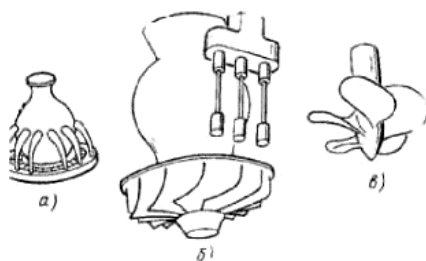


Рисунок 6 – Литниково-питающая система типа VI (верхняя прибыль). Примеры применения: *a* – ротор с бандажом; *б* – рабочее колесо газотурбинного наддува дизеля; *в* – гребной винт

*Тип VII. Местная прибыль и коллектор.* От стояка с нижним горизонтальным коллектором осуществляется питание нижних узлов у вертикально ориентированных отливок и местных соединенных со

стояком прибылей над верхним узлом каждой отливки (рисунок 7). Эта комбинированная ЛПС обладает следующими преимуществами: происходит спокойное заполнение формы снизу, что особенно важно при литье из пленообразующих сплавов, и обеспечивается подвод горячего расплава в прибыль к концу заливки. При центральном расположении стояка создаются условия для размещения в форме нескольких надежно питаемых отливок, в том числе массой более 1 кг каждая, и облегчается применение моделей с металлическим каркасом.

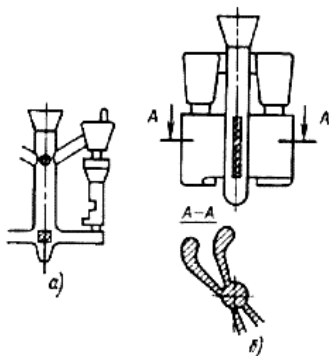


Рисунок 7 – Литниково-питающая система типа VII (местная прибыль над каждой отливкой и коллектор): *a* – четырехместная при центральном расположении стояка; *б* – заливка лопаток через вертикальный щелевой питатель

*Тип VIII. Система местных прибылей.* Каждая прибыль в ЛПС этого типа питает отдельный узел или участок протяженного узла сравнительно крупной отливки, преимущественно корпусного типа. Заливают ее обычно через стояк с литниковыми ходами. Система местных прибылей при развитой в пространстве отливке позволяет наиболее эффективно использовать ЛПС путем приближения прибылей непосредственно к питаемым ими участкам, а также

достаточно полно учесть взаимное обогревающее влияние элементов отливки и ЛПС (рисунок 8) [5, 6, 18, 28, 29].

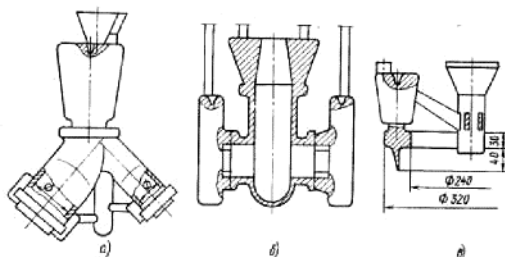


Рисунок 8 – Литниково-питающая система типа VIII (система местных прибылей). Примеры применения: *а* – тройник; *б* – корпус вентиля; *в* – кольцевой корпус

## 5 ВЛИЯНИЕ ЛИТНИКОВО-ПИТАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

Установлено, что расположение отливки в полости литейной формы и конструкция литниково-питающей системы влияют на уровень механических свойств литых деталей.

При получении литьем деталей двигателя, несущих высокие эксплуатационные нагрузки, в случае невозможности оценки уровня их механических свойств либо на прилитых, либо на вырезанных из тела отливок образцах, эти испытания проводят на отлитых одновременно с заливаемой деталью испытательных образцах-свидетелях. Однако на одних предприятиях эти образцы заливают горизонтально, на других - вертикально, как предусмотрено соответствующей заводской технической документацией.

Данное исследование проведено в производственных условиях на широко распространенном в двигателестроении для производства различных транспортных средств конструкционном алюминиевом литейном сплаве АК7ч с целью определения влияния горизонтального и вертикального положения образцов с диаметром

рабочей части 12,0 мм в литейной форме на уровень их механических свойств. Образцы обоих типов испытывали без обточки поверхности. Литая поверхность зачищалась только в месте отрезки питателей. После испытаний механических свойств образцов обоих типов из их головок диаметром 18,0 мм вырезали образцы с диаметром рабочей части 6,0 мм и также подвергали их испытанию, перед которым их плотность определяли методом гидростатического взвешивания.

Анализ результатов испытаний показал, что временное сопротивление  $\sigma_v$  вертикально отлитых образцов диаметром 12,0 мм в среднем составляет 238 МПа, а горизонтально отлитых - 225 МПа, относительное удлинение  $\delta$  оказалось больше у горизонтально отлитых образцов - соответственно 3,30 и 6,19 %.

Изучение геометрии литниково-питающих систем кокилей обоих типов показало их существенное различие. Так, в горизонтальном кокиле располагается один образец массой 0,125 кг, заливка образца и его питание в период кристаллизации осуществляется с помощью конической прибыли массой 0,675 кг с подводом металла в каждую головку вертикальным щелевидным питателем с площадью сечения, равной  $7,57 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  (суммарная площадь  $15,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ) и в рабочую часть - питателем с площадью сечения  $4,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ . В вертикальном кокиле располагается два образца с массой каждого по 0,165 кг. Металл подводится к обеим головкам с помощью щелевидных вертикальных питателей с площадью сечения каждого  $2,52 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  (суммарная площадь  $5,04 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ) от двух щелевидных вертикальных металлопроводов. Масса ЛПС составляет 0,85 кг. Длина горизонтальных образцов составляет 200 мм, что соответствует требуемому конечному размеру, длина вертикального образца - 300 мм - за счет большей длины верхней головки, которая обеспечивает питание кристаллизующегося образца.



Механические свойства образцов испытывали в термически обработанном состоянии. Измерение твердости проводилось по методу Бринелля при диаметре шарика 10 мм, нагрузке 1000 кг и длительности 30 с.

Анализ результатов испытаний образцов диаметром 6,0 мм, вырезанных из головок диаметром 18,0 мм испытанных образцов диаметром 12,0 мм, показал, что механические свойства у горизонтального варианта отличаются меньше, чем у вертикального. Так,  $\sigma_b$  образцов из головок горизонтальных образцов отличается всего на 1,7 %, тогда как для вертикальных - на 2,7 % (больше в 1,58 раза  $\sigma_b$  из нижних головок), а 8 - на 0,4 и 10,0 % (разница в 25 раз), твердость НВ (диаметр шарика 5,0 мм, нагрузка - 250 кг, длительность действия нагрузки - 30 с) - на 0,7 и на 2,7 % (разница в 3,85 раза). Для вертикально отлитых образцов все характеристики механических свойств образцов, вырезанных из нижних головок, более высокие, чем из верхних.

Плотность образцов из обеих головок горизонтальных образцов оказалась практически одинаковой, тогда как для вертикального варианта она на 0,31 % больше для образцов из нижних головок. Известно [17], что плотность алюминиевых сплавов той же системы, что и сплав АК7ч (Al-Si) отражает наличие в отливках несплошностей газового, усадочного и газовой-усадочного происхождения, и ее величина коррелирует с уровнем механических свойств, что и имеет место в данном случае. Так, изучение продольного осевого сечения испытательных образцов диаметром 12,0 мм выявило наличие в верхней головке вертикально отлитых образцов концентрированной усадочной раковины глубиной 10,5 мм, на 7,0 мм ниже которой располагается зона усадочной рассеянной пористости, описываемая эллипсовидным контуром высотой 12,0 и шириной 9,0 мм. В целом верхняя головка поражена усадочными дефектами на глубину до 30 мм, что составляет 21,4 %

от высоты головки (до механической обработки). В рабочей части образца усадочные и другие дефекты отсутствовали.

Измерение твердости по высоте вертикального образца показало, что ее значения остаются постоянными (688 МПа) по всей высоте нижней головки и по рабочей части вплоть до высоты образца, равной 196 мм (на 68 мм ниже эллипсовидного контура усадочной пористости). Затем твердость непрерывно снижается и доходит до 595 мм в точке, отстоящей на 10 мм от нижней границы проявления усадочной пористости (в зоне усадочных дефектов твердость не измеряли). В то же время твердость по всей длине горизонтально отлитых образцов оказалась одинаковой (724 МПа).

Результаты испытаний механических свойств образцов, отлитых вертикально и горизонтально, существенно отличаются: последние обладают более высокими и стабильными характеристиками по всей длине, что позволяет рекомендовать методику горизонтальной заливки для оценки механических свойств, не только литейных алюминиевых сплавов, но и сплавов других систем.

Более высокий уровень свойств горизонтальных образцов объясняется спецификой заполнения полости литейной формы и лучшими условиями питания в процессе кристаллизации металла, что подтверждается более высокими значениями плотности

Влияние ЛПС на качество отливок подтвердилось при литье поршня двигателя внутреннего сгорания. В процессе эксплуатации поршень работает в экстремальных условиях, испытывая сложное температурно-силовое воздействие: воспринимает усилия от давления газов и сил инерции, передает боковое давление от нормальной силы на стенку цилиндра, обеспечивает герметичность внутрицилиндрового пространства с целью его уплотнения от прорыва газов из цилиндра в картер и ограничения доступа в него масла и воздуха, обеспечивает отвод тепла во избежание перегрева двигателя. Вследствие высоких значений максимального давления

газов и частоты рабочих циклов, особенно в многооборотных двигателях, характер нагрузки на поршень близок к ударному. Силы инерции в многооборотных двигателях по величине незначительно уступают силам давления газов, а иногда и превышают их.

Мощность, долговечность, надежность и экономичность двигателя, угар масла, токсичность выхлопных газов, шум и другие эксплуатационные параметры в значительной степени зависят от качества поршней, которое определяется используемыми для их изготовления материалами и технологиями.

Поршень представляет собой деталь типа стакан, причем его размеры и отношение высоты к диаметру определяются требуемой для каждого конкретного двигателя мощностью.

В настоящее время поршни изготавливают в основном из алюминиево-кремниевых сплавов эвтектического (от 11...13 до 17...25 % Si) состава. При массовом производстве на автозаводах поршни обычно получают литьем в металлические формы (кокиль) с вертикальным разъемом при расположении детали доньшком вниз. Внутренняя поверхность поршня обычно оформляется разъемным выемным стержнем. Заливка и питание отливки в процессе кристаллизации осуществляется с помощью вертикальной щелевой ЛПС при подводе металла по боковой цилиндрической поверхности стенки поршня, причем ее масса доходит до 50 % от массы отливки.

Оснастка и технология литья была отработана на поршнях (высота поршня 60 мм, диаметр = 76,5 мм, толщина доньшка 6,3 мм), для чего была изготовлена специальная оснастка. Для оформления наружной поверхности поршня был изготовлен неразъемный кокиль в виде цилиндра с дном и стержневой ящик, состоящий из двух половинок с вертикальным разъемом между ними. Этот ящик предназначен для изготовления разового песчаного стержня, служащего для оформления внутренней поверхности поршня, включая бобышки с отверстиями в них под палец, в котором

устроена верхняя литниково-питающая система, не соприкасающаяся со стенкой кокиля, что усиливает ее питающие характеристики. Стержневой ящик изготавливается из вышедшего из строя поршня путем его разрезки в вертикальной плоскости на две симметричные половины, в каждой из которых находится бобышка, и помещения между ними при формовке стержня фигурной пластинки, служащей для компенсации уменьшения диаметра на толщину разреза поршня.

Материалом для песчаного стержня, формирующего внутреннюю полость поршня, являлась химико-твердеющая смесь. Рабочий сплав был приготовлен в электрической печи сопротивления по стандартной для литейных алюминиевых сплавов системы Al-Si доэвтектического. После проведения требуемых металлургических операций и достижения необходимой температуры сплав заливали в заранее собранную литейную форму - кокиль с установленным в нем песчаным стержнем. После затвердевания металла и удаления отливки из кокиля из поршней удаляли песчаные стержни. Термическую обработку поршней производили по режиму: нагрев под закалку до температуры  $515 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , выдержка 6 ч, охлаждение в воде; последующее старение в течение 4 ч при температуре  $200 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $473 \pm 5 \text{ K}$ ), охлаждение на воздухе.

Измерение твердости по донышку термообработанных поршней показало среднюю величину  $HV_{\text{ксп}} = 1210 \text{ МПа}$ , что на 27,0 % больше требований ГОСТ 1583-89 для сплава-аналога АК9М2. Расчетное значение временного сопротивления составило 248 МПа, что на 27,2 % больше требований ГОСТ 1583-89 для сплава-аналога АК9М2.

При осмотре обработанных поверхностей было установлено полное отсутствие на них, а следовательно, и в объеме отливки газовой пористости. Известно, что при поражении пористостью отливок из алюминиевых сплавов снижаются их механические

свойства, а в случае работы под давлением снижается и герметичность. Излом стенки и доньшка поршней показал типичную для специально обработанного натрийсодержащим модификатором сплава картину вязкого разрушения, а угол изгиба фрагмента стенки поршня до его разрушения составил  $65^\circ$ , что свидетельствует о достаточно высокой вязкости разрушения и пластичности, связанной с высокой степени измельчения эвтектики. Последнее при изучении микроструктуры подтвердилось.

В отличие от классической ЛПС, обычно применяющейся при литье поршней, при которой щелевой питатель располагается вертикально по всей высоте боковой поверхности детали и масса которого составляет до 50 % массы собственно отливки, целесообразно производить заливку металла через «юбку» поршня. При этом черновая масса литого поршня вместе с ЛПС, литейными допусками и припусками на механическую обработку (0,13 кг) всего на 11 % превышает массу детали в механически обработанном состоянии (0,28 кг). Исключение щелевого подвода металла существенно уменьшает трудоемкость механической обработки отливки, так как исключается операция отрезания щелевого подвода с одной стороны поршня и такой же щели с его противоположной стороны.

Влияние конструкции ЛПС было изучено при литье ротора. Для изготовления из труднообрабатываемых жаропрочных сплавов высокоточных деталей сложной геометрии, сочетающей массивные и тонкостенные элементы, которые в процессе эксплуатации в составе мощных энергетических устройств работают в экстремальных силовых и температурных режимах, применяют единственно возможный в этом случае способ - литье по выплавляемым моделям (ЛВМ). При этом вследствие исключительно высоких требований к качеству таких отливок (требуется практически полное отсутствие любых литейных дефектов) они подвергаются целому

ряду отсеивающих контрольных процедур, в результате проведения которых из- за выявления различных дефектов бракуется большое количество деталей (в отдельных плавках - почти 100 %).

Такая же ситуация возникла и при ЛВМ из жаропрочных сплавов высокоточной фасонной отливки - детали типа ротор, представляющей собой деталь в форме диска.

На качество литых изделий влияет значительное количество факторов и одним из эффективных средств количественной оценки этого влияния является метод экспертных оценок [36], основанный на априорном выявлении значения отдельных факторов на возникновение того или иного дефекта. С этой целью была разработана анкета экспертных оценок, в которой были приведены выявляемые на детали дефекты (8 видов на отливках из обоих сплавов) и которые были приняты за функции (суммарный брак по ним достигал почти 100 %). В качестве независимых факторов, ставших возможными причинами появления этих дефектов, были взяты отмеченные в технологии параметры литья (21 параметр для отливок из сплава № 1 и 19 - для отливок из сплава № 2). Все число экспертов было разделено на 5 групп по служебному признаку: 1 - научные сотрудники, 2 - специалисты отдела главного металлурга предприятия, 3 - технологи, 4 - мастера и 5 - администрация литейного цеха. Каждый эксперт, полагаясь на свой опыт, внес в анкету соответствующие числовые ранги в графах, показывающих, с его точки зрения, связь рассматриваемого фактора с каким-либо дефектом. При заполнении анкет не допускалось повторение числовых рангов по виду дефекта, за исключением случаев, когда группе факторов (от 2 до 11) присваивался соответствующий средний ранг, который вычислялся как среднее арифметическое группы.

В случаях когда эксперты какой-либо группы в целом по группе оценивали какое-то число факторов, то у отдельных экспертов

некоторые из этих факторов не отмечались как значащие, анкета заполнялась средними рангами для всей группы неоцененных факторов, вычисленных для равнозначных факторов. В результате проведения соответствующей математической обработки анкет было построено 96 гистограмм ранговой оценки влияния учитываемых факторов на появление конкретных дефектов как по каждой группе экспертов, так и по обобщенному коллективу. Конечный анализ показал, что большую часть дефектов основная группа экспертов отнесла на счет конструкции ЛПС отливки. Действительно, проведенное, казалось бы незначительное, изменение некоторых ее элементов и связанная с этим небольшая корректировка технологического процесса обеспечили сто процентную годность отливок по рентгеновскому просвечиванию, а также в 2,5.. .3,0 раза уменьшили отсев деталей другими методами контроля. Кроме того, в результате изменения конструкции ЛПС расход дорогостоящих сплавов уменьшился на 20...25 %.

В результате проведения описанных и других мероприятий улучшилось качество цельнолитых роторов и выход годного повысился до 90 %.

Наконец, существенное влияние устройства ЛПС на качество ответственной отливки летательного аппарата - детали типа кронштейн, отливаемой из сплава АК7 в кокиль, подтвердилось еще в одном случае. По технологии 1 была принята щелевая ЛПС, подводящая металл в нижнюю часть отливки через наклонный стояк в вертикальный цилиндрический металлоприемник посредством вертикальной щели. Кокиль в процессе заливки находился в стационарном состоянии. При литье детали по технологии 2 кокиль кантовали на 30...45° и заливку производили в стояк, подводящий металл в верхнюю часть отливки. В обоих случаях массивные узлы отливки подпитывали прибылями. Сплав готовили по стандартной технологии.

Испытание механических свойств отливок производили после термообработки на вырезанных из них образцах (по 100 шт. от деталей, отлитых по разным технологиям). Анализ результатов испытаний показал, что детали, отлитые по технологии 2, показали более высокий уровень механических свойств ( $\sigma_{в.ср} = 305$  МПа,  $\delta_{ср} = 5,5$  %), чем детали, отлитые по технологии 1 ( $\sigma_{в.ср} = 275$  МПа;  $\delta_{ср} = 2,5$  %).

Изучение всех факторов, которые могли бы оказать влияние на механические свойства отливок, показало, что главным из них является устройство ЛПС. Направленная кристаллизация металла, осуществляемая по технологии 2, обеспечивает получение отливок с меньшим количеством усадочных дефектов.

## **6 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КОНСТРУКЦИИ ЛИТНИКОВО-ПИТАЮЩИХ СИСТЕМ**

Сталь, особенно легированная, является с точки зрения литейной технологии сложным сплавом. Это обуславливается рядом причин, таких, например, как низкая жидкотекучесть, повышенная способность к окислению компонентов, термохимическое взаимодействие с формовочными материалами. Вследствие особенностей затвердевания стали удаление газов и неметаллических включений из затвердевающей отливки весьма затруднено. Повышенная усадка стали вызывает необходимость применения прибылей. В стальных отливках в процессе их затвердевания и охлаждения развиваются значительные внутренние напряжения, вызывающие коробление и образование трещин.

Поэтому конструирование и расчет литниковых систем стальных отливок является важнейшим этапом литейной технологии.



По мнению П. Н. Бидули [7], потери и производственный брак стальных отливок по крайней мере на три четверти зависят от выбора конструкции и размеров элементов литниковой системы, температуры металла и скорости разливки.

Основные требования к конструкции литниковых систем стальных отливок могут быть сформулированы следующим образом:

1. Подвод металла к полости формы должен осуществляться с высокой скоростью, но плавно в те места, разогрев которых усилит эффект направленного затвердевания отливки.

2. Направление движения потока жидкой стали в полости литейной формы должно быть односторонним, обеспечивающим вынос в прибыль газов и неметаллических включений, например, тангенциальный подвод.

3. Литниковые системы не должны тормозить усадку отливок, вызывая тем самым повышение внутренних напряжений.

4. Конструкция литниковых систем должна обеспечивать заливку формы через заполненный канал.

5. Расход металла и его охлаждение в каналах литниковой системы должны быть минимальными.

В соответствии с этими требованиями практикой выработаны и применяются несколько типовых схем конструкции литниковых систем (рисунок 9).

Подвод металла сбоку по разъему формы с частичным (минимальным) свободным падением струи применяют для мелких и средних отливок (рисунок 9, *а* и *б*), а также для

отливок из стали 110Г1ЭЛ. Для средних невысоких отливок используется сифонный подвод (рисунок 9, в).

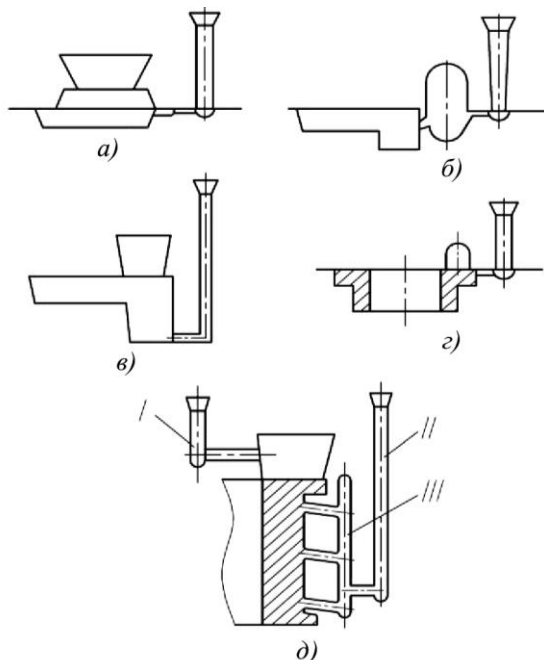


Рисунок 9 – Способы подвода металла в форму

Эти схемы наиболее широко распространены в стальном литье. В некоторых случаях (отливки большой протяженности) указанные схемы применяют с реверсом, т. е. с частичным (на  $15-30^\circ$ ) или полным (на  $90^\circ$  или  $180^\circ$ ) поворотом формы в вертикальной плоскости после заливки. При этом массивное сечение отливки и прибыль занимают верхнее положение, что улучшает питание отливки. Такой метод применяют при индивидуальном и мелкосерийном литье [4, 5, 7].

Подвод металла сверху (рисунок 9, г) с частичным или полным падением струи используют соответственно для

мелких, средних и крупных отливок типа полых цилиндров. Для крупных отливок, формируемых в почве или в стержнях, применяют многоярусные системы (рисунок 9,  $\delta$ ), которые обеспечивают подачу первых порций металла сифоном, а последующих под затопленный уровень, причем последние порции горячего металла подаются в прибыль через специальный литниковый канал (I), либо доливаются в нее непосредственно из ковша. При устройстве многоярусных литниковых систем рационально, помимо основного, так называемого прямого стояка (II) применяют еще распределительный – обратный стояк (III).

Кроме этих схем, иногда используют вертикально-щелевые литниковые системы, имеющие промежуточное значение между одно- и многоярусными системами [27].

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **7 ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИТНИКОВО-ПИТАЮЩИХ СИСТЕМ И ОТЛИВОК ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ**

Жидкотекучесть сплава определяет в конструкции детали выбор минимальной толщины стенок необрабатываемых поверхностей. Минимальную толщину детали  $x$ , мм определяют на диаграмме (рисунок 10) в зависимости от приведенного габаритного размера  $N$  (1):

$$N = \frac{(2l + b + h)}{3} \quad (1)$$

где  $l, b, h$  – длина, ширина, высота отливки, мм.

Толщина внутренних стенок и ребер принимают на 10...20% меньше толщины наружных стенок.

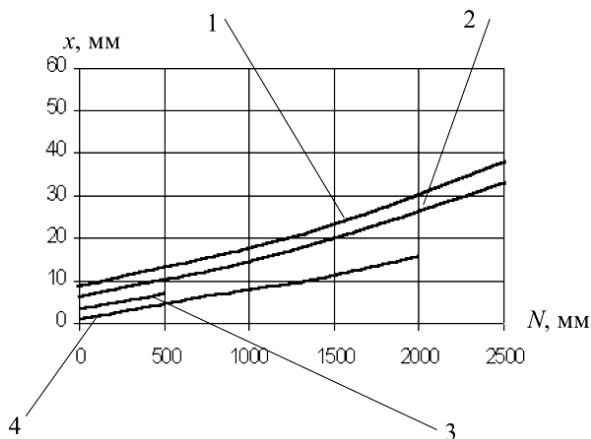


Рисунок 10 – Диаграмма для определения минимальной толщины стенок отливок из различных материалов: 1 – стали; 2 – серого чугуна; 3 – бронзы; 4 – алюминиевых сплавов.

У литых деталей толщину стенки необходимо назначать с учетом требуемой расчетной прочности, жидкотекучести сплава и заполняемости формы. Всякое увеличение толщины стенки приводит к замедлению скорости кристаллизации сплава, что сказывается на неоднородности структуры, снижении прочности и возникновении дефектов отливки.

Для выбора или оценки наименьшей толщины стенки отливки при литье в песчаные формы может быть использована (таблица 1).

При литье под давлением кристаллизация сплава характеризуется высокими скоростями [32]. Конструкция литой детали в связи с этим должна быть такой, чтобы металл затвердевал по всем сечениям одновременно. Этому требованию удовлетворяет равностенная конструкция с минимально возможной толщиной стенки. Рекомендуемые толщины стенок приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Минимальная толщина стенки отливки при литье в песчаные формы, мм

Материал	Масса отливки, кг	Максимальная длина стенки, мм	Минимальная толщина стенки, мм
Сталь	До 100	До 200	8...10
	100...1000	200...800	12...14
Чугун серый	До 100	До 200	3...4
	100...1000	200...800	6...8
Чугун ковкий	До 100	До 100	2,5...3,5
	100...300	100...200	4...5,5
Бронза оловянистая	До 10	До 50	3...4
	10...50	50...100	5...6
	Св.50	Св. 100	7...8
Бронзы и латуни специальные	До 0,25	До 50	6...7
	0,25...4,00	50...100	8...10
Сплавы алюминиевые	До 2,00	До 200	3...5
	2,00...10,00	200...500	6...8
Сплавы магниевые	До 2	До 200	3,5...4,5
	2...8	200...400	6...7

Таблица 2 – Минимальная толщина стенок отливки при литье под давлением, мм

материал	площадь внешней поверхности отливок, см <sup>2</sup>				
	до 25	25-100	100-250	250-500	св. 500
цинковые сплавы	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0
алюминиевые сплавы	0,8	1,2	1,5	2,5	3,0
магниевые сплавы	1,0	1,5	2,0	2,5	-
медные сплавы	2,0	2,5	3,0	3,5	-

При кокильном литье минимальную толщину стенок рекомендуется принимать по таблице 3.

Таблица 3 – Минимальная толщина стенок отливки при литье в кокиль, мм

материал	площадь поверхности стенки, см <sup>2</sup>	минимальная толщина стенки, мм
чугун	до 5	4...5
чугун	25...125	6...7
сталь	25...125	8
алюминиевые сплавы	до 30	3...4
магниеые сплавы	до 30	3
бронза	до 30	4...6

Наименьшую возможную толщину стенок отливок при литье в оболочковые формы необходимо выбрать по таблице 4.

Таблица 4 – Наименьшая толщина стенок отливки при литье в оболочковую форму, мм

сплавы	наибольший габаритный размер отливок, мм				
	До 100	Св. 100 до 200	Св. 200 до 350	Св. 350 до 500	Св. 500 до 1500
чугуны	2,5...3,5	2,5...4,0	3,0...4,5	4,0...5,0	8,0...10,0
стали	2,5...4,0	3,0...3,5	3,5...6,0	5,0...7,0	8,0...12,0
алюминиевые	2,5...4,0	3,0...5,0	4,0...6,0	4,0...7,0	7,0...10,0
магниеые	2,5...4,0	3,0...4,0	3,5...5,0	4,0...6,0	7,0...10,0
цинковые	2,0...4,0	2,5...3,5	3,0...4,0	3,5...5,0	7,0...10,0
медные	2,5...4,0	3,0...4,0	3,5...5,0	4,0...6,0	5,0...7,0
бронзы оловянные	1,5...2,0	2,0...3,0	2,5...3,5	3,0...4,0	4,0...6,0

Усадка, как второй показатель литейных свойств сплава, вызывает при кристаллизации сплава появление усадочных раковин, трещин. Получение отливок без усадочных дефектов достигается

созданием конструкции с равномерной толщиной стенок без большого скопления металла в отдельных местах.

Равномерность толщины стенки и скопление металла определяют диаметром вписанной окружности (рисунок 11, а и б). Желательно, чтобы соотношение диаметров вписанной окружности в близко расположенных сечениях не превышало 1,5. Это достигается уменьшением, с помощью углублений в стенках отливки (рисунок 11, в); смещением стенки (рисунок 11, г); если это невозможно, то следует предусмотреть отверстие (рисунок 11, д).

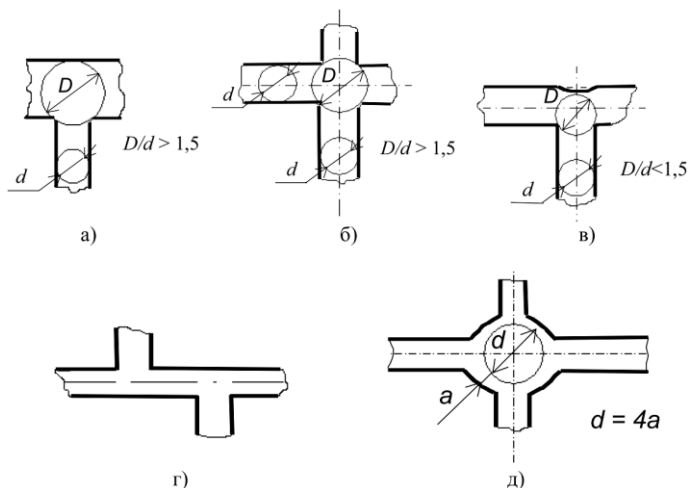


Рисунок 11 – Устранение местного скопления металла в стенках отливки

Во избежание коробления и появления трещин, конструкция отливки должна обеспечивать достаточную сопротивляемость усадочным и термическим напряжениям. Для этого в конструкции необходимо предусмотреть плавные переходы с толстого на тонкое сечение. Плавный переход по длине  $L$  от толстой стенки “ $A$ ” к тонкой “ $a$ ” (рисунок 12, а) должен соответствовать соотношению  $c = 3\sqrt{A - a}$ . На рисунке 12, б показана конструкция корпусной

детали с горизонтальными плечиками, которые затрудняют процесс усадки, что вызывает большие литейные напряжения. Изменение конструкции (рисунок 12, в) обеспечивает свободную усадку. Придание плечикам конической формы (рисунок 12, г) также снизит усадочные напряжения.

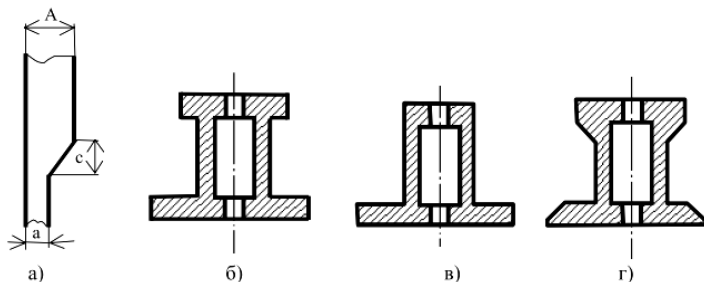


Рисунок 12 – Конструкции литых деталей, снижающих внутренние напряжения

При конструировании литых деталей с повышенными требованиями прочности и герметичности отливок, работающих под давлением, необходимо обеспечить направленное затвердевание отливки в литейных форме. При направленном затвердевании (рисунок 13) верхние слои металла питают нижние слои, а самые верхние сечения питаются от прибылей 1.

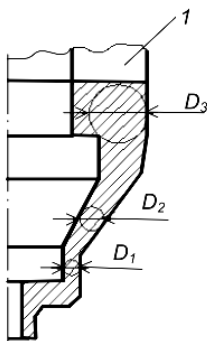


Рисунок 13 – Конструкция литой детали направленного затвердевания



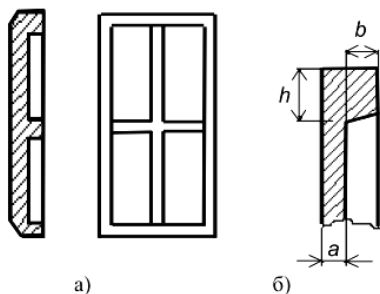


Рисунок 14 – Конструкция литых деталей. снижающая коробление отливко

Для увеличения жесткости конструкции и исключения коробления отдельные элементы детали выполняют с ребрами жесткости (рисунок 14, а). Толщина ребра должна быть не более 80% наименьшей толщины, к которой оно примыкает. Кроме того, кромки стенок большей протяженности усиливают буртиком (рисунок 14, б) толщиной  $b=(0,5\dots 0,8)a$  и шириной  $h=2a$ .

При правильно сконструированной детали отношение толщин стенок при переходе от одного сечения к другому должно быть не больше 4:1. При соотношении сопрягаемых толщин  $S:S_1 \leq 2$  переходы от одного сечения к другому выполняются с помощью радиусов скруглений. Для отливок из чугуна, магниевых и алюминиевых сплавов  $R=0,4(S-S_1)$ . Такие же радиусы применяют и для деталей, не испытывающих при эксплуатации ударных нагрузок, но имеющих соотношение  $S:S_1 > 2$ .

Если на деталь действуют ударные нагрузки, то при  $S:S_1 > 2$  переходы выполняют в виде клиновидного сопряжения (рисунок 15).

Длину участка перехода от одной толщины к другой принимают для отливок из чугуна, магниевых и алюминиевых сплавов (2):

$$L \geq 4 (SL_1/S + L_1) \quad (2)$$

для стальных отливок (3):

$$L \geq 5 (SL_1/S + L_1) \quad (3)$$

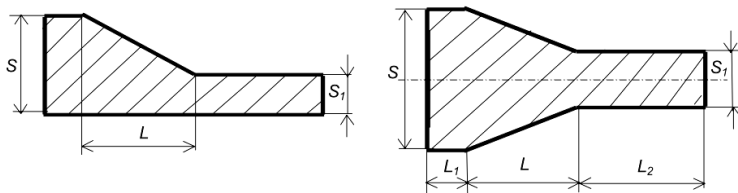


Рисунок 15 – Схемы выполнения односторонних (а) и двусторонних (б) клиновых сопряжений

Переход от толстого сечения к тонкому при  $S/S_1 \geq 4$  (рисунок 15, б) осуществляют с помощью участка, длину которого принимают равной: для отливок из чугуна и цветных сплавов (4):

$$L_1 \geq 3 \left( \frac{SL_1}{S + L_1} - \frac{S_1L_2}{S_1 + L_2} \right) \quad (4)$$

для стальных отливок (5):

$$L_1 \geq 4 \left( \frac{SL_1}{S + L_1} - \frac{S_1L_2}{S_1 + L_2} \right) \quad (5)$$

При угловом сопряжении стенок разной толщины с соотношением  $S/S_1 \leq 2$  для получения плавного перехода делается закругление с внешним радиусом  $R$ , равным толщине большей стенки, и внутренним радиусом  $r$  в пределах  $1/6$  до  $1/3$  среднего арифметического значения толщин сопрягаемых стенок (рисунок 16, а).

Оформление сопряжений стенок, расположенных под острым углом, показано на рисунке 16, б и в), где конструкция б является не технологичной, а конструкция в – технологичной.

При соотношении толщин стенок  $S/S_1 > 2$  переход необходимо оформить, как показано на рисунке 17.

$$C = \sqrt{S - S_1}; S_1 + C < S. \quad (6)$$

Для чугунового и цветного литья  $h=4C$ ; для стального литья  $h=5C$ .

Три стенки сопрягаются по вариантам а, б, в, как показано на рисунке 18.

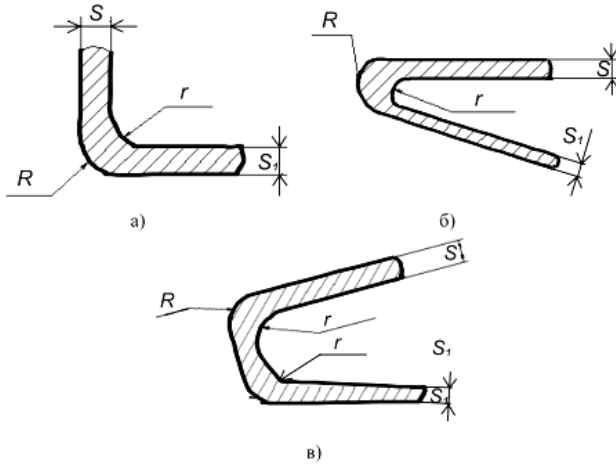


Рисунок 16 – Конструкция и оформлением угловых сопряжений стенок

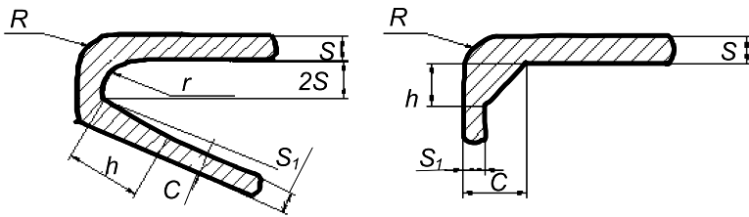


Рисунок 17 – Конструкция с оформлением стенок

Здесь: при  $\frac{S}{S_1} \leq 1,25$ ,  $c=0$ ; при  $\frac{S}{S_1} = 1,25 \dots 2,0$ ,  $c=S - S_1$ ; (7)

при  $\frac{S}{S_1} > 2$ ,  $c = \sqrt{S - S_1}$ ; (8)

Радиус закругления принимается равным  $r = \left( \frac{1}{c} - \frac{1}{3} \right) \frac{S + S_1}{2}$ , для варианта (рисунок 18, в)  $S = S_1 + c$ ;  $R = 2 + S_1 + c$ . Радиусы закругления нагруженных углов отливок  $\leq 3$  мм.

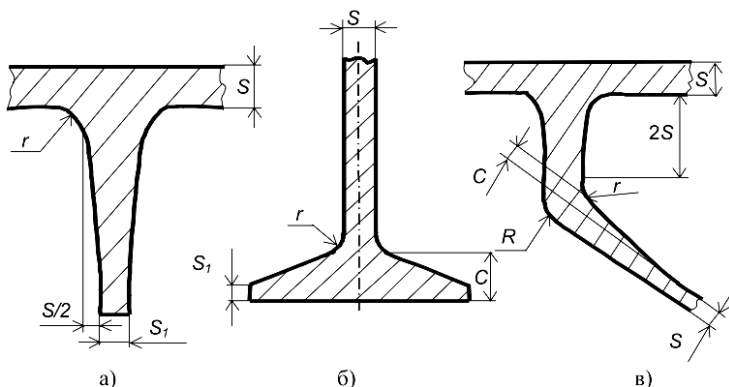


Рисунок 18 – Конструкция сопрягаемых стенок

При более сложных сопряжениях у заданной детали, оценивая их технологичность, используются специальные рекомендации [34] по конструированию литых деталей.

## 9 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В процессе выполнения работы оформляется отчет (приложение 1). На основании выданного преподавателем задания и в соответствии с предложенным алгоритмом студенты производят расчет отливки с элементами литниково-питающей системы и проектирование их 3D модели в CAD программе. Совместно с преподавателем происходит проверка и анализ построенных моделей и в соответствии с [1, 2, 3, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 30, 31, 33, 35, 37, 38, 39] студенты производят моделирование технологического процесса литья деталей в CAE программе. На виртуальном прототипе студенты исследуют структуру и качество литых деталей и устанавливают взаимосвязь с конструкцией ЛПС. По завершении лабораторной работы студенты формируют выводы и предложения по оптимизации существующей конструкции ЛПС.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими показателями оцениваются литейные свойства сплавов?

2. Что такое жидкотекучесть сплава, от каких факторов она зависит, как определяется и влияет на конструкцию и качество отливок?

3. Что такое усадка литейного сплава, от чего она зависит, как влияет на качество отливок?

4. Из-за чего возникают газовые раковины и пористость в отливках?

5. Как оценивается технологичность литых деталей?

6. Как учитывается при проектировании отливки жидкотекучесть сплава?

7. Как учитывается при проектировании отливки усадка сплава?

8. Как выбирается толщина стенок отливки?

9. Как выполняются угловые сопряжения стенок отливки?

10. Какие факторы влияют на выбор способа получения отливки?

11. Как выбирается способ получения отливки?

Из каких основных элементов состоит классическая конструкция литниково-питающей системы?

12. Каким образом влияет расположение отливки в форме на механические свойства детали?

13. Как оценивается технологичность литых деталей?

14. Как учитывается при проектировании отливки жидкотекучесть сплава?

15. Как учитывается при проектировании отливки усадка сплава?

16. Как выбирается толщина стенок отливки?

17. Как выполняются угловые сопряжения стенок отливки?

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В пособии рассмотрены основные вопросы выбора и расчета литниково-питающей системы, влияния конструкции ЛПС на механические свойства отливок, основы проектирования оптимальной конструкции ЛПС для снижения литейных дефектов.

Пособие поможет студенту сформировать целостную систему знаний и умений в проектировании свойств и методов производства отливок и о правилах назначения способов литья для конкретных деталей.

В методическом пособии теоретические положения сопровождаются примерами расчетов. Приведены рекомендации и справочные сведения по проектированию и технологии получения литых заготовок.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдуллин, А.Д. Выявление дефектов микропористости в стальных отливках с помощью компьютерного моделирования литейного процесса в ProCast / А.Д. Абдуллин // *Металлург.* – 2013. – № 3. – С. 19–23.
2. Абдуллин, А.Д. Моделирование комплексной задачи напряженно-деформированного состояния отливки в программном обеспечении ProCast / А.Д. Абдуллин // *Металлург.* – 2011. – № 8. – С. 26–30.
3. Айзикович В.Я. Исследование и внедрение технологического процесса литья лопаток в формы с заданным исходным распределением температуры: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 1977. - 22 с.
4. Анисимов, И. Ф. Проектирование литых деталей / И. Ф. Анисимов, Б. Н. Благов. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.
5. Афонькин, М. Г. Производство заготовок в машиностроении / М. Г. Афонькин, М. В. Магницкая. – М.: Машиностроение, 1987. – 256 с.
6. Баландин Г.Ф. Теория формирования отливки - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. - 360 с.
7. Бидуля, П. Н. Технология стальных отливок: учеб. пособие для металлург. и машиностр. вузов и фак. / П. Н. Бидуля. – М.: Металлургиздат, 1961. – 352 с.
8. Вдовин, Р.А. Использование систем численного моделирования для исследования технологического процесса литья лопаток в заготовительном производстве / Р.А. Вдовин, В.Г. Смелов, А.В. Агаповичев // *Вестник СГАУ.* – 2015. – № 3 (2). – С. 391–399.
9. Вдовин, Р.А. Моделирование литья деталей аэрокосмического назначения в ProCast / Р.А. Вдовин, В.Г. Смелов, Д.Г. Черников [и

др.]. – Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2012. – 183 с.

10. Галдин Н.М., Чистяков В.В., Шатульский А.А. Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок. - М.: Машиностроение, 1992. - 256 с.

11. Голод В.М., Тихомиров М.Д., Сабиров Д.Х. Системный анализ процесса формирования отливки (прикладные аспекты) // Литейные материалы, технологии, оборудование. Сб.науч.тр. ЦНИИМ. Спб., 1995. - С. 26 -30.

12. Голод, В.М. Компьютерный анализ литейной технологии, проблемы его информативного обеспечения и адаптации к условиям производства / В.М. Голод // Вестник Удмуртского Университета. Серия физика и химия. – 2008. – № 4 (1). – С. 67–87.

13. Девятов, С. ProCast. Виртуальное моделирование литейных технологий / С. Девятов // CADmaster. – 2006. – № 5. – С. 36–43.

14. Десницкий В.В. Автоматизированное проектирование технологии изготовления отливок-Д.: Ленинградский университет, 1987. - 164 с.

15. Дубровская, А.С. Численное моделирование процесса изготовления отливок деталей газотурбинных двигателей методом точного литья: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Дубровская Александра Сергеевна. – Пермь, 2015. – 152 с.

16. Использование систем CAD/CAM в литейном производстве Великобритании // FoundryTradeJournal. 1987. 161, №337. - С. 193 - 197.

17. Крушенко, Г. Г. Плотность и механические свойства силуминов, термически обработанных в жидком состоянии / Г. Г. Крушенко, З. А. Василенко // Расплавы. 1988. Т 2. Вып. 6. С. 67-69.

18. Кумапин И.Б. Вопросы теории литейных процессов. М.: Машиностроение, 1976.-216 с.



19. Литье по выплавляемым моделям. / Изд. 4-е. под. ред. В.А. Озерова. М.: Машиностроение, 1997. - 448с.
20. Моисеев В.С. Расчеты средств воздействия на затвердевание отливок в САПР литейной технологии. // Литейное производство. 1995, № 12. - С.21-23.
21. Моисеев В.С., Смыков А.Ф. Оптимизационный подход к расчету литниково-питающих систем и средств воздействия на направленность затвердевания отливок. // Литейное производство. 2000, № 7. — С.49 — 51.
22. Монастырский, В.П. Моделирование и оптимизация процесса направленной кристаллизации рабочих лопаток ГТД / В.П. Монастырский // Литейщик России. – 2009. – № 7. – С. 18–23.
23. Монастырский, В.П. Моделирование напряженно-деформированного состояния отливки при кристаллизации / В.П. Монастырский, А.И. Александрович, А.В. Монастырский [и др.] // Литейное производство. – 2007. – № 8. – С. 46–48.
24. Монастырский, В.П. Развитие методов моделирования процессов затвердевания отливок с направленной и равноосной структурой: дис. ... доктора техн. наук: 05.16.04 / Монастырский Валерий Петрович. – Москва, 2014. – 300 с.
25. Монастырский, В.П. Разработка технологии литья крупногабаритных турбинных лопаток с применением систем «Полигон» и «ProCast» / В.П. Монастырский, А.В. Монастырский, Е.М. Левитан // Литейное производство. – 2007. – № 9. – С. 29–36.
26. Неуструев А.А., Смыков А.Ф., Денисов А.Я. и др. Автоматизированное проектирование техпроцессов литья по выплавляемым моделям турбинных лопаток. // Литейное производство. 2002. №7. - С. 23 - 27.
27. Озеров, В. А. Основы литейного производства / В. А. Озеров, А. С. Муркина, М. Н. Сосненко. – М.: ВШ, 1987. – 303 с.

28. Рыбкин В.А. Основные направления развития литья по выплавляемым моделям // Литейное производство. 1997. - JVb 6. - С. 19-21.
29. Рыжиков А.А. Теоретические основы литейного производства. М.- Свердловск: Машгиз, 1961. - 447 с.
30. Севастьянов, Г.М. Моделирование напряженно-деформированного состояния при заливке и затвердевании металла в керамической оболочковой форме: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.02.04 / Севастьянов Георгий Мамиевич. – Владивосток, 2011. – 101 с.
31. Сердюхов Б.Л., Чудин В.А., Чуканова Е.Л., Сатарова В.А. Автоматизированное проектирование карт единичных технологических процессов изготовления отливок // Литейное производство. 1988. - JSfe 11.- С. 25 -26.
32. Специальные способы литья: Справочник /В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др. Под общ. ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991 – 436 с.
33. Тарасевич, Н.И. Сравнительный анализ систем компьютерного моделирования металлургических и литейных процессов / Н.И. Тарасевич, И.В. Корниец, И.Н. Тарасевич [и др.] // Металл и литье Украины. – 2010. – № 5. – С. 20–25.
34. Технологичность конструкций изделий: Справочник /Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Всяков и др. Под общ. ред. Ю.Д. Амирова – 2-е изд. Переработ. и доп. – М.: Машиностроение, 1990 – 768 с.
35. Трушин, С.И. Метод конечных элементов. Теория и задачи / С.И. Трушин. – М.: Ассоциации строительных вузов, 2008. – 256 с.
36. Элти, Дж. Экспертные системы: концепции и примеры / Дж. Элти, М. Кумбс. М.: Финансы и статистика, 1987. 191 с.
37. Vdovin, R.A. Elaboration of a casting defects predictional technique via use computer-aided design systems / R.A. Vdovin, V.G. Smelov //

International Journal of Engineering and Technology. – 2014. – № 6 (5).  
– P. 2269–2275.

38. Vdovin, R.A. Paths of improving the technological process of manufacture of GTE turbine blades / R.A. Vdovin, V.G. Smelov, N.D. Pronichev, M.A. Bolotov // Innovative Technologies in Engineering. – 2016. – № 142. – P. 1–8.

39. Vdovin, R.A. Research and optimization of the technological process of manufacturing a GTE blades using computer-aided design / R.A. Vdovin, V.G. Smelov // Materials Science and Engineering. – 2016. – № 156. – P. 1–7.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

*Кафедра  
технологий производства  
двигателей*

Студент \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

### ОТЧЕТ

по лабораторной работе **«ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ  
КОНСТРУКЦИИ ЛИТНИКОВО-ПИТАЮЩИХ СИСТЕМ НА  
СТРУКТУРУ И КАЧЕСТВО ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК»**

*Цель и задачи работы:*

1. Оборудование, инструменты и средства измерений.
2. Эскиз конструкции литниково-питающей системы.

3. Результаты компьютерного моделирования технологического процесса литья.

4. Выводы по работе

Преподаватель \_\_\_\_\_

Учебное издание

*Вдовин Роман Александрович  
Смелов Виталий Геннадиевич*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЛИТНИКОВО-  
ПИТАЮЩИХ СИСТЕМ НА СТРУКТУРУ И КАЧЕСТВО ЛИТЫХ  
ЗАГОТОВОК**

*Методические указания к лабораторной работе*

Редактор  
Доверстка

Подписано в печать . Формат  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ.л.  
Тираж экз. Заказ . Арт.-

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени академика С.П. КОРОЛЁВА»  
(Самарский университет)  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

---

Изд-во Самарского университета. 443086, Самара, Московское шоссе, 34