

УДК 621.74(075.8)
ББК 34.61я73
Г49

Рецензенты:

зав. кафедрой «Литейное производство» Московского государственного
индустриального университета, д-р техн. наук, проф. *А.Н. Задиранов*;
Президент Российской ассоциации литейщиков,
д-р техн. наук, проф. *И.А. Дибров*

Гини Э. Ч.

Г49 Специальные технологии литья : учебник для вузов / Э. Ч. Гини, А. М. За-
рубин, В. А. Рыбкин. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. –
367, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-3383-4

Приведены основные характеристики и параметры процессов литья по вы-
плавляемым и газифицируемым моделям, в кокиль, под давлением, центробеж-
ного литья, литья выжиманием и др. Описаны основные операции этих техноло-
гических процессов и используемое оборудование. Впервые рассмотрены воз-
можности литья в условиях невесомости, использования нанотехнологий в литье
и ряд других вопросов. Материалы учебника соответствуют курсу лекций, чи-
таемых авторами в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и техноло-
гии литейного производства», а также для специалистов литейного производства.

УДК 621.74(075.8)
ББК 34.61я73

ISBN 978-5-7038-3383-4

© Гини Э.Ч., Зарубин А.М.,
Рыбкин В.А., 2010
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Введение	7
1. Литье в разовые неразъемные формы	11
1.1. Литье по выплавляемым моделям	11
1.1.1. Общие сведения	11
1.1.2. Пресс-форма	17
1.1.3. Технологический процесс получения моделей	22
1.1.4. Изготовление оболочковых форм	41
1.1.5. Заливка расплава в формы, выбивка и очистка отливок	63
1.1.6. Автоматизация технологического процесса	68
1.1.7. Проектирование технологического процесса	73
1.1.8. Технология изготовления лопаток газотурбинных двигателей	83
1.1.9. Особенности изготовления отливок из титановых сплавов	92
1.2. Литье по газифицируемым моделям	98
1.2.1. Общие сведения	98
1.2.2. Модельные материалы	100
1.2.3. Изготовление газифицируемых моделей	100
1.2.4. Изготовление литейных форм	106
1.2.5. Заливка литейных форм	109
1.2.6. Механизация и автоматизация процесса	110
1.2.7. Литье в магнитно-скрепляемые формы	112
2. Литье в постоянные и полупостоянные разъемные формы	116
2.1. Литье в кокиль	116
2.1.1. Общие сведения	116
2.2. Кокиль	122
2.2.1. Классификация, элементы и материалы конструкций кокиля	122
2.2.2. Изготовление кокилей, их стойкость и пути ее повышения	131
2.3. Технология литья в кокиль	135
2.3.1. Технологические режимы литья. Получение отливок из различных сплавов	135
2.3.2. Технология литья в облицованные кокили	155
2.4. Кокильные машины и автоматизация литья в кокиль	157
2.4.1. Типы кокильных машин	157
2.4.2. Автоматизация литья	161
2.5. Проектирование технологического процесса	168
2.5.1. Технологичность конструкции отливки. Конструирование кокиля. Усилие запирания кокиля	168
2.5.2. Графитовые формы	178

3. Литье с использованием внешних физических воздействий	180
3.1. Литье под регулируемым давлением	180
3.1.1. Общие сведения	180
3.1.2. Литье под низким давлением	183
3.1.3. Магнитодинамический способ подачи металла в форму	193
3.1.4. Литье с противодавлением	195
3.1.5. Литье вакуумным всасыванием	197
3.1.6. Вакуумно-компрессионное литье	200
3.1.7. Особенности использования литья под регулируемым давлением в массовом и в мелкосерийном производстве	201
3.2. Литье под давлением	202
3.2.1. Общие сведения	202
3.2.2. Технология литья под давлением	208
3.2.3. Материалы пресс-форм	225
3.2.4. Конструкция пресс-форм	227
3.2.5. Машины для литья под давлением и автоматизация технологического процесса	238
3.2.6. Проектирование технологического процесса	250
3.3. Центробежное литье	266
3.3.1. Общие сведения	266
3.3.2. Технология изготовления отливок	275
3.3.3. Машины для центробежного литья и автоматизация технологического процесса	283
3.3.4. Изготовление толстостенных отливок для тяжелого машиностроения	288
3.3.5. Проектирование технологического процесса	289
4. Другие специальные технологии литья	294
4.1. Непрерывное литье	294
4.1.1. Общие сведения	294
4.1.2. Технология непрерывного литья и агрегаты для непрерывного литья	295
4.2. Полунепрерывное литье	299
4.2.1. Технология и установка для полунепрерывного литья	299
4.3. Литье намораживанием	300
4.3.1. Литье непрерывным намораживанием непосредственно из расплава	300
4.3.2. Намораживание на валках	302
4.3.3. Литье с последовательным заполнением формы и с кристаллизацией отливки	302
4.4. Менее распространенные способы литья	303
4.4.1. Жидкая штамповка	303
4.4.2. Литье выжиманием	306
4.4.3. Литье в оболочковые формы	308
4.4.4. Изготовление объемных керамических форм по постоянным моделям	312
4.4.5. Изготовление гипсовых форм	314
4.4.6. Особенности технологии литья по выплавляемым моделям для отливок художественного назначения	315
4.5. Электрошлаковое литье	317

5. Направления развития специальных технологий литья	323
5.1. Поиск новых структур процессов литья	323
5.1.1. Общие сведения	323
5.1.2. Понятие идеальной технологии	323
5.1.3. Факторы, обеспечивающие физическое воздействие на производство	325
5.1.4. Формообразование с использованием метода самораспро- страняющегося высокотемпературного синтеза	326
5.2. Специальные технологии литья	327
5.2.1. Общие сведения	327
5.2.2. Литье в многослойные керамические формы	328
5.3. Литье по моделям из фотополимерных материалов	329
5.4. Использование условий космического пространства для литья деталей специального назначения	330
5.4.1. Общие сведения	330
5.4.2. Область применения условий космического пространства	331
5.4.3. Требования к отливкам специального назначения	331
5.4.4. Влияние условий невесомости на расплав	332
5.5. Производство монокристаллов	337
5.5.1. Методы выращивания монокристаллов	337
5.5.2. Литые композиционные материалы	342
5.6. Использование нанотехнологий в процессах литья.....	343
5.6.1. Общие сведения	343
5.6.2. Сканирующий туннельный микроскоп и принцип его действия	344
Приложение	346
Литература	367

ПРЕДИСЛОВИЕ

В книге представлены наиболее распространенные в промышленности способы литья с акцентом на физическую и физико-химическую сущность процессов той или иной технологии, особенности формирования качества отливок, выбор материалов, конструкции оснастки, назначение технологических режимов, применяемое оборудование и средства автоматизации. Впервые рассмотрены возможности литья в условиях невесомости, использование нанотехнологий литья и другие вопросы.

В учебнике изложена одна из частей дисциплины «Технология литейного производства» – специальные технологии литья. В приложении 1 дан список ГОСТов на технологическую оснастку, в приложении 2 – схемы технологической оснастки.

Учебник соответствует программам учебных дисциплин специальности «Машины и технологии литейного производства» по направлению подготовки специалистов «Машиностроительные технологии и оборудование» и развивает многолетние педагогические традиции, заложенные первым в стране учебным пособием профессора Н.Н. Рубцова «Специальные виды литья» (1955) и продолженные его учениками профессорами Г.Ф. Баландиным и Ю.А. Степановым, а также другими преподавателями кафедры «Литейные технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Издание предназначено для студентов высших технических учебных заведений, а также может быть рекомендовано специалистам литейного производства.

Учебник подготовлен преподавателями кафедры МТ-5 МГТУ им. Н.Э. Баумана: введение и гл. 3 – А.М. Зарубиным, Э.Ч. Гини, В.А. Рыбкиным, гл. 1 и 5 (кроме разд. 1.2) – В.А. Рыбкиным, разд. 1.2, гл. 2, 4 – Э.Ч. Гини.

ВВЕДЕНИЕ

Литейное производство – одно из старейших и в настоящее время основных способов получения металлических деталей для различных отраслей промышленности. Литые детали используются не только в машино- и приборостроении, но и в домостроении и дорожном строительстве, а также являются предметами быта и культуры. Это обусловлено тем, что литьем можно получить детали из различных сплавов, практически любой конфигурации, структуры, макро- и микрогеометрией поверхности, массой от нескольких граммов до нескольких сот тонн, с разными эксплуатационными свойствами. При необходимости и экономической оправданности перечисленные показатели достигаются без применения других технологических процессов (механической обработки, сварки, термической обработки и др.).

Основное направление совершенствования любого производства – модернизация известных и создание новых технологических процессов, уменьшающих расход материалов, снижающих затраты труда и энергии, улучшающих условия труда, устраняющих (или уменьшающих) вредное воздействие на окружающую среду и в конечном счете повышающих эффективность производства и качество продукции. В рассмотренном смысле литейное производство не является исключением.

В настоящее время для получения литых деталей используют несколько десятков технологических процессов и их вариантов, обладающих достаточно широкой универсальностью или пригодных для изготовления узкой номенклатуры определенных отливок. Исторически сложилось деление этих процессов на традиционные, под которыми чаще всего подразумевают лишь литье в песчано-глинистые формы, и все остальные – специальные технологии литья. С ростом числа различных процессов и вариантов получения отливок все острее ощущается необходимость в более четкой и детальной их классификации по основным общим признакам. Это даст возможность систематизировать изложение сущности разных процессов, облегчит понимание заложенных в них принципов и создание новых более эффективных способов литья.

Главным признаком традиционного метода литья можно считать важнейшие характеристики основного инструмента технологического процесса – литейной формы. Это прежде всего разовая, разъемная литейная форма из дисперсных огнеупорных материалов, упрочняемых механическими, химическими, физическими или комбинированными способами при ее изготовлении.

Дополнительный, обязательный признак – заполнение формы расплавом гравитационным методом сверху из ковша через литниковую систему.

Остальные характеристики литейной формы (объемная, оболочковая, опочная, безопочная, кесонная и т. д.), составы и свойства формовочных смесей, способы их уплотнения или упрочнения, характеристики отливок и сплавов для их изготовления, типы производства и другие характеристики, определяют лишь варианты этого технологического процесса и оборудование для выполнения конкретных операций.

Указанный технологический процесс и варианты его осуществления – предмет рассмотрения дисциплины «Технология литейного производства».

Из многочисленных разнообразных специальных технологий литья в первую очередь целесообразно выделить способы, обладающие характерными признаками, отличными от традиционной технологии.

Рассмотрим способы литья, отличающиеся применяемыми инструментами – литейными формами.

I. Литье в разовые неразъемные литейные формы из дисперсных огнеупорных материалов с сохранением заполнения формы гравитационным методом сверху из ковша через литниковую систему, как в традиционной технологии.

Особенность этого способа – использование разовой модели, которую для удаления из неразъемной формы разрушают до или в процессе заполнения формы расплавом. В этот способ входят литье по выплавляемым, выжигаемым, растворяемым и газифицируемым моделям. В настоящее время наибольшее распространение получило литье по выплавляемым моделям, а новым и развивающимся процессом является литье с использованием моделей из фотополимерных материалов.

II. Литье в полупостоянные или постоянные разъемные формы с сохранением заполнения формы гравитационным методом сверху из ковша через литниковую систему.

Общая характеристика этого способа – разборная литейная форма, состоящая из полупостоянных (или постоянных) и разовых элементов. Конструкция формы должна позволять извлекать отливку без повреждения многократно используемых элементов формы. Основной метод – *литье в кокиль*. Известно также литье в углеродные (графитовые) формы.

Характерные признаки следующих способов – дополнительные воздействия на расплав при заполнении формы и затвердевании отливки. В этих случаях тип и конструкция литейной формы определяются требованиями к отливке и параметрами воздействия на расплав и кристаллизующую отливку.

III. Литье с различными дополнительными воздействиями на расплав при заполнении формы в целях получения, главным образом, тонкостенных отливок или отливок с массивными и тонкими частями:

1) запрессовка металла в форму с высокими скоростями поршневой системы (литье под давлением), при этом применяются лишь металлические разъемные литейные формы (пресс-формы) и не исключается использование

стержней и формообразующих вставок из дисперсных огнеупорных материалов;

2) литье под регулируемым, относительно невысоким газовым давлением (литье под низким давлением, с противодавлением, вакуумным всасыванием и др.), что позволяет применять разъемные и неразъемные литейные формы из любых материалов, обладающих достаточной огнеупорностью и прочностью;

3) центробежное литье фасонных отливок с возможностью использования разнообразных конструкций литейных форм. Однако при центробежном литье тел вращения (труб, втулок, гильз и др.) обычно применяют формы специальной конструкции – изложницы;

4) способы, основанные на других принципах заполнения формы (литье выжиманием, погружением форм в расплав и др.).

Конечно, воздействия на расплав продолжаются и после заполнения им формы, что способствует повышению плотности отливок и качества их поверхности.

Приведем способы, в которых наиболее значимо воздействие на расплав в период затвердевания. Такие способы используют для получения особо плотных отливок со специальной микроструктурой.

IV. Литье под всесторонним газовым давлением (автоклавное литье) с применением литейных форм из различных материалов; литье с кристаллизацией под давлением (жидкая штамповка) с использованием металлических форм.

V. Литье с воздействием на расплав, оказывающим существенное влияние на формирование микроструктуры отливок. К таким способам можно отнести способы с электрическим и электромагнитным воздействием на расплав до, во время или после его поступления в форму, с ультразвуковой обработкой расплава и др.

VI. Способы, основанные на формировании свойств отливок при непрерывных и полунепрерывных процессах литья: непрерывном литье с использованием стационарных и подвижных кристаллизаторов; литье вытягиванием из расплава и полунепрерывном литье для получения отливок постоянного профиля по длине; электрошлаковом литье, литье с последовательным заполнением, литье намораживанием и другие способы для получения фасонных отливок.

VII. Способы получения отливок с различными специальными свойствами: армированных отливок; отливок из композиционных материалов и др.

В производстве литых заготовок специальные технологии литья занимают значительное место. Традиционным литьем в песчано-глинистую форму получают 70...75 % отливок от общего объема производства и только 25...30 % отливок – специальными технологиями литья (это далеко не точно характеризует объем производства специальными технологиями литья). Как правило, специальными технологиями обычно изготавливают не-

крупные отливки из черных сплавов и большинство легких отливок из цветных сплавов. Поэтому по количеству получаемых отливок специальные технологии литья не уступают традиционному литью в песчано-глинистые формы.

Следует отметить, что влияние специальных технологий литья в промышленности не одинаково. Они обладают разной универсальностью, а некоторые из упомянутых выше способов находятся в стадии разработки или освоения. Описать все существующие методы в рамках одного учебника невозможно, так как это задача справочной и специальной литературы.

1. ЛИТЬЕ В РАЗОВЫЕ НЕРАЗЪЕМНЫЕ ФОРМЫ

1.1. Литье по выплавляемым моделям

1.1.1. Общие сведения

Сущность. Сущность литья по выплавляемым моделям заключается в применении разовых, точных, неразъемных, керамических оболочковых форм, получаемых по разовым моделям с использованием жидких формовочных смесей. Перед заливкой расплава модель удаляют из формы выплавлением, выжиганием, растворением или испарением. Для удаления остатков модели и упрочнения форму нагревают до высоких температур. Прокалка перед заливкой практически исключает газотворность формы и улучшает ее заполняемость расплавом.

Основные операции. Модель 2 или звено моделей изготавливают в разъемной пресс-форме 1, рабочая полость которой имеет конфигурацию и размеры отливки с припусками на усадку (модельного состава и материала отливки) и обработку резанием (рис. 1.1, а). Модель получают из материалов с невысокой температурой плавления (воск, стеарин, парафин) и материалов, способных растворяться (карбамид) или сгорать без образования твердых остатков (полистирол). Готовые модели или их звенья собирают в блоки 3 (рис. 1.1, б), включающие в себя модели элементов литниковой системы из того же материала, что и модель. В блок моделей входят звенья, центральная часть которых образует модели питателей и стояка. Модели чаши и нижней части стояка выполняют отдельно и устанавливают в блок при сборке. Блок моделей погружают в емкость с жидкой формовочной смесью – суспензией для оболочковых форм, состоящей из пылевидного огнеупорного материала (например, из пылевидного кварца или электрокорунда) и связующего (рис. 1.1, в). В результате на поверхности модели формируется тонкий (менее 1 мм) слой 4 суспензии. Для упрочнения и увеличения толщины этого слоя на него наносят зернистый огнеупорный материал 5 (мелкий кварцевый песок, электрокорунд или зернистый шамот) (рис. 1.1, г). Операции нанесения суспензии и обсыпки повторяют до получения на модели оболочки требуемой толщины (3–10 слоев).

Каждый слой покрытия высушивают на воздухе или в парах аммиака 6, что зависит от связующего (рис. 1.1, д). После сушки оболочковой формы модель удаляют из нее выплавлением, растворением, выжиганием или испарением. На рис. 1.1, е показан процесс удаления выплавляемой модели в горячей воде 7 (при температуре 100 °С), с помощью которого получают многослойную оболочковую форму по выплавляемой модели. Для упрочнения перед заливкой оболочковую форму помещают в металлический контейнер и засыпают огнеупорным

Количество:	
электродов	1,0
установленных форм	1,0
Скорость:	
вращения формы, мин ⁻¹	150...800
плавки, кг/мин	5...8
Длительность цикла, ч	2,0...2,5
Масса печи, т	176

1.2. Литье по газифицируемым моделям

1.2.1. Общие сведения

Литье по газифицируемым моделям было предложено и запатентовано в США в 1958 г., а уже в начале 1960-х годов таким способом начали получать отливки в разных странах, при этом объем производства составил 15 тыс. т (1962). В настоящее время объем выпуска отливок этим способом оценивается в сотни тысяч тонн.

Литье по газифицируемым моделям можно отнести к способам получения отливок с помощью литья в разовые неразъемные формы (см. разд. 1.1). Но в отличие от этих способов, модель удаляется (газифицируется) не до, а в процессе заливки формы металлом, который как бы вытесняет «испаряющуюся» модель из формы и замещает освободившееся пространство полости формы.

Современные варианты технологического процесса заключаются в получении разовых пенополистироловых моделей либо в специальных металлических пресс-формах (массовое и крупносерийное производство) с использованием суспензионного полистирола в виде подвешенных гранул, либо путем механической обработки нормализованных пенополистироловых плит (мелкосерийное и единичное производство). Сложные модели выполняют по частям. Отдельные части и литниковую систему соединяют в единый блок склеиванием или сваркой.

Основные операции. Собранную модель (рис. 1.48, а) окрашивают слоем огнеупорной краски и сушат на воздухе. В итоге получают огнеупорную газопроницаемую оболочковую форму, прочно связанную с пенополистироловой моделью.

Готовую оболочковую форму устанавливают в специальную опоку-контейнер, засыпают зернистым огнеупорным материалом без связующего, уплотняют его вибрацией, закрывают металлической крышкой с отверстиями, нагружают и устанавливают литниковую чашу (рис. 1.48, б).

При изготовлении более сложных отливок контейнер после подачи огнеупорного материала закрывают сверху полиэтиленовой пленкой, как при вакуумной формовке. Для уменьшения вероятности разрушения формы в ней создают разрежение до 0,04...0,05 МПа.

При производстве крупных массивных отливок используют обычные холоднотвердеющие жидкоподвижные или сыпучие формовочные смеси.

2. ЛИТЬЕ В ПОСТОЯННЫЕ И ПОЛУПОСТОЯННЫЕ РАЗЪЕМНЫЕ ФОРМЫ

2.1. Литье в кокиль

2.1.1. Общие сведения

Сущность процесса. По определению Госстандарта литье в кокиль, или литье в постоянные формы, – это «литье металла, осуществляемое свободной заливкой кокилей». Кокиль (фр. *coquille*) – «металлическая форма с естественным или принудительным охлаждением, заполняемая расплавленным металлом под действием гравитационных сил».

Н.Н. Рубцов писал, что «мысль заменить разовую форму более стойкой полупостоянной, а еще лучше постоянной, без сомнения, была неотвязчивой мечтой древних литейщиков». Уже в давние времена использовались каменные формы, а в отдельных случаях – простые металлические для повторяющихся (серийных) изделий.

Кокиль (рис. 2.1) состоит из двух полуформ 12, плиты 11, вставок 7. Полуформы взаимно центрируются штырями 6, перед заливкой их соединяют замками 13. Полости и отверстия в отливке могут быть получены с помощью металлических 8 или песчаных 4 стержней, извлекаемых из отливки после затвердевания и охлаждения до заданной температуры. Расплав заливают в кокиль через литниковую систему 5, выполненную в его стенках, питание массивных узлов отливки осуществляется из прибылей (питающих выпоров) 2.

При заполнении кокиля расплавом воздух и газы удаляются из рабочей полости 10 через вентиляционные каналы 1, пробки 3, каналы 9 между металлическими частями, образующие вентиляционную систему кокиля.

Основные элементы кокиля (полуформы, плиты, вставки, стержни т. д.) обычно изготавливают из чугуна или стали. На рис. 2.1 показан кокиль простой конструкции, но на практике используют кокили различных, весьма сложных конструкций.

Основные операции технологического процесса. Перед заливкой расплава в новый кокиль поверхность рабочей полости и разъем тщательно очищают от следов загрязнений, ржавчины, масла, проверяют легкость перемещения подвижных частей, точность их центрирования и надежность крепления. Затем на поверхности рабочей полости и металлических стержней наносят слой огнеупорного покрытия (рис. 2.2, а) – облицовки и краски. Состав облицовок и красок зависит в основном от заливаемого сплава, а их толщина – от требуемой скорости охлаждения отливки: чем толще слой огнеупорного покрытия, тем медленнее охлаждается отливка.

получения отливок заданного качества легче осуществить автоматическое регулирование технологических параметров процесса, автоматизация которого позволяет изменить характер труда оператора-литейщика, управляющего работой автоматических комплексов.

Недостатки литья в кокиль:

- высокая стоимость кокиля, сложность и трудоемкость его изготовления. Стоимость кокиля возрастает при получении отливок с поднутрениями, для выполнения которых необходимо усложнять конструкцию формы, т. е. делать дополнительные разъемы, использовать вставки, разъемные металлические или песчаные стержни;

- ограниченная стойкость кокиля, измеряемая числом годных отливок, которые можно получить в нем, от стойкости кокиля зависит экономическая эффективность процесса особенно при литье чугуна и стали, поэтому повышение его стойкости – одна из важнейших проблем технологии литья в кокиль этих сплавов;

- высокая скорость охлаждения расплава в кокиле по сравнению со скоростью охлаждения расплава в песчаной форме, что ограничивает возможность получения тонкостенных протяженных отливок, а в чугунных отливках дополнительно приводит к отбеливанию поверхностного слоя, ухудшающему обработку резанием, вызывая необходимость термической обработки отливок;

- неподатливость кокиля, приводящая к появлению в отливках напряжений, а иногда и трещин;

- использование в кокиле большого числа песчаных стержней, что снижает точность получаемых отливок и повышает в этих местах шероховатость их поверхности.

Преимущества и недостатки этого способа определяют рациональную область его применения: экономически целесообразно вследствие высокой стоимости кокилей использовать литье в кокиль только в серийном или массовом производстве. Серийность при литье чугуна должна составлять более 20 крупных или более 400 мелких отливок в год, а при литье алюминиевых сплавов – не менее 400...700 отливок в год.

Таким образом, литье в кокиль с полным основанием следует отнести к трудо- и материалосберегающим, малооперационным и малоотходным технологическим процессам, улучшающим условия труда в литейных цехах и уменьшающим вредное воздействие на окружающую среду.

2.2. Кокиль

2.2.1. Классификация, элементы и материалы конструкций кокиля

Классификация конструкций кокилей. В производстве используют кокили различных конструкций. В зависимости от наличия плоскости разъема кокили бывают неразъемными (вытряхными) и разъемными.

Неразъемные, или вытряхные, кокили (рис. 2.3) применяют, когда конструкция отливки позволяет удалить ее вместе с литниками из полости

температуры металла выше требуемой по технологии для данной отливки снижает стойкость кокиля. Одновременно может ухудшиться качество отливки – появятся усадочные дефекты (раковины, рыхлоты, трещины).

Долговечность кокиля можно повысить при надлежащем уходе за ним при эксплуатации, что обеспечивается системой плано-предупредительного ремонта (ППР).

2.3. Технология литья в кокиль

2.3.1. Технологические режимы литья. Получение отливок из различных сплавов

Технологические режимы литья. Требуемое качество отливки достигается, если литейная форма заполнена расплавом без неспаев, газовых и неметаллических включений, при затвердевании не образовалось усадочных дефектов (раковин, пористости, трещин), структура отливки и механические свойства отвечают заданным. Из теории формирования отливки известно, что эти условия во многом зависят от того, насколько данный технологический процесс реализует выполнение одного из общих принципов получения качественной отливки – ее направленное затвердевание и питание. Направленное затвердевание и питание отливки обеспечивается комплексом мероприятий, назначаемых технологом с учетом свойств сплава и особенностей взаимодействия формы с расплавом: рациональными конструкциями отливки и ЛПС, расположением отливки в форме, технологическими режимами литья, конструкцией и свойствами материала формы и т. д. Напомним, что при литье в кокиль главная из этих особенностей – высокая скорость охлаждения расплава и отливки, затрудняющая заполнение формы расплавом, не всегда благоприятно влияющая на качество отливок (особенно чугунных).

Интенсивность теплового взаимодействия между кокилем и расплавом или отливкой можно регулировать созданием определенного термического сопротивления на поверхности раздела отливки 1 (расплав) и рабочей поверхности кокиля 2 (рис. 2.15). Для этого на рабочую поверхность кокиля наносят слой 3 огнеупорной краски (табл. 2.3). Вследствие того, что теплопроводность λ_k краски меньше теплопроводности металла между отливкой и кокилем возникает термическое сопротивление переносу теплоты

$$1/\beta = \varepsilon/\lambda_k, \quad (2.1)$$

где β – коэффициент теплообмена огнеупорного покрытия, Вт/(м²·К); ε – толщина слоя огнеупорного покрытия, м.

Огнеупорное покрытие уменьшает скорость q охлаждения расплава и отливки, зави-

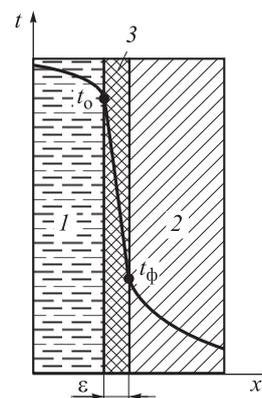


Рис. 2.15. Распределение температур в системе отливка–кокиль:

1 – отливка; 2 – рабочая поверхность кокиля; 3 – слой огнеупорного покрытия

ветственно дополнительно повышается точность отливок. Вместе с тем толстый слой облицовки улучшает условия работы кокиля: большое термическое сопротивление облицовки снижает температурное воздействие на кокиль, благодаря чему уменьшается коробление кокиля и повышается его стойкость.

Указанные особенности формирования отливки и работы кокиля обуславливают преимущества этого технологического процесса.

К недостаткам следует отнести повышенную сложность и стоимость оснастки, трудности переналадки специального оборудования, ограниченные размеры кокилей и соответственно отливок.

Перечисленные преимущества и недостатки определяют рациональную область использования литья в облицованные кокили: массовое и крупносерийное производство отливок из чугуна и стали массой до 200 кг.

2.4. Кокильные машины и автоматизация литья в кокиль

2.1.4. Типы кокильных машин

При механизации процесса литья в кокиль основные операции – раскрытие кокиля; извлечение стержней, отливки; нанесение огнеупорного покрытия; установка стержней, запирающие кокиля, заливка расплава – выполняются механизмами кокильной машины или литейного комплекса, которыми управляет рабочий-оператор.

При автоматизации процесса управление механизмами осуществляется системой управления машиной или комплексом, часто связанной с ЭВМ.

В зависимости от типа производства, массы, габаритов, сложности отливок, предъявляемых к ним требований изменяется степень механизации и автоматизации процесса.

При серийном и мелкосерийном производстве крупных и сложных отливок более эффективны автоматизированные кокильные машины или механизированные кокили. В массовом и крупносерийном производстве мелких и средних отливок более целесообразно использовать автоматические литейные комплексы и кокильные машины, автоматические кокильные линии.

Кокильные машины подразделяют на универсальные, стационарные, нестационарные и специальные. Стационарные машины бывают однопозиционными, а нестационарные (карусельные) – четырех позиционные и с большим числом позиций.

Специальные машины предназначены для изготовления в массовом производстве отливок определенного типа (например, поршни двигателей внутреннего сгорания, крышки электродвигателей и т. д.) или крупных отливок. Универсальные однопозиционные кокильные машины чаще используют в серийном производстве.

Для массового и крупносерийного производства более эффективно применение многопозиционных машин карусельного типа, а также конвейерных кокильных линий. Такие машины имеют более высокую производительность вследствие совмещения во времени операций технологического процесса, малые энергозатраты, занимают небольшую площадь, могут быть встроены в автоматические кокильные линии.

2.5. Проектирование технологического процесса

2.5.1. Технологичность конструкции отливки. Конструирование кокиля. Усилие запирания кокиля

Технологичность конструкции отливки анализируют с учетом общих требований, которым должны удовлетворять отливки, изготавливаемые в металлических формах.

1. Отливки должны иметь такую конструкцию, при которой необходим кокиль с минимальным числом разъемов, подвижных частей и вкладышей.

2. Отливки не должны иметь выступающих частей и поднутрений, затрудняющих усадку отливки и извлечение ее из кокиля, а полость отливки должна быть выполнена минимальным числом стержней, преимущественно металлических. Например, поясок 1 (рис. 2.30, а: I) препятствует извлечению отливки из кокиля при горизонтальной плоскости разреза, а при разрезе по варианту, указанному на этом рисунке, удобно подвести расплав в форму и использовать металлический стержень. При изменении конструкции отливки (рис. 2.30, б: I) можно разместить ее в одной части кокиля, но полость в ней необходимо выполнить только песчаным стержнем;

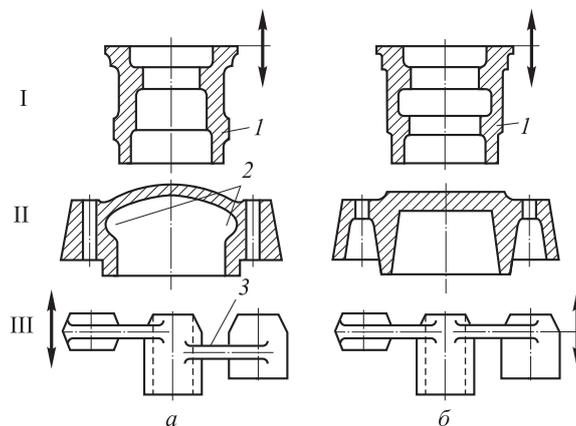


Рис. 2.30. Конструкции неправильных (а) и правильных (б) кокильных отливок:

1 – поясок; 2 – поднутрения; 3 – ребро

3. У отливок должны отсутствовать поднутрения 2 в полости (рис. 2.30, а: II), что дает (рис. 2.30, б: II) возможность применять неразъемные металлические стержни.

4. Разъем кокиля должен быть плоским, что удешевляет его изготовление и повышает точность отливки (рис. 2.30, б: III). Например, ребро 3 на отливке (рис. 2.30, а, III) не позволяет сделать разъем кокиля плоским. Плоский разъем кокиля можно получить, изменив конструкцию отливки (рис. 2.30, б: III).

5. Толщина стенки отливки должна обеспечивать необходимую ее прочность, заполнение формы и питание отливки при затвердевании (табл. 2.6). Отливка не должна иметь резких переходов от тонких стенок к массив-

3. ЛИТЬЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНЕШНИХ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

3.1. Литье под регулируемым давлением

3.1.1. Общие сведения

Способы литья под регулируемым давлением (ЛРД) основаны на использовании для заполнения формы и кристаллизации расплава разности давлений газа, которое действует на зеркало расплава в печи установки и в полости литейной формы (литье под регулируемым газовым давлением – ЛРГД), и металла, создаваемого электромагнитным насосом. По скорости течения металла в форме они занимают промежуточное место между обычным заполнением формы при литье в кокиль и литьем под давлением.

Относительно новые способы ЛРГД, появились в промышленности после Второй мировой войны, хотя идея была высказана ранее, в частности академиком А.А. Бочваром и профессором А.Г. Спасским.

Общий технологический признак способов ЛРГД – заполнение формы расплавом путем выдавливания его снизу вверх из тигля установки через металлопровод, под действием перепада газового давления Δp . На рис. 3.1 приведены упрощенные схемы установок для ЛРГД.

Если давление газа в полости формы p_{ϕ} равно атмосферному давлению p_a , а заливка формы осуществляется благодаря созданию избыточного давления газа над поверхностью расплава в тигле установки ($p_{\text{пов}} = p_{\text{изб}}$), то такой процесс называют литьем под низким давлением (ЛНД) (рис. 3.1, а), при этом $\Delta p = p_{\text{пов}} - p_{\phi} = p_{\text{изб}} - p_a$.

Термин «низкое давление» используют потому, что для заполнения формы расплавом требуется избыточное давление не более 0,05 МПа.

Положим, что в камерах, где расположены форма и тигель с металлом, создано одинаковое (больше атмосферного) давление воздуха или газа $p_k = p_{\phi} = p_{\text{пов}} \geq p_a$. Затем подача воздуха в камеру формы прекращается, а в камере печи продолжается. Тогда расплав будет подниматься по металлопроводу вследствие перепада давления Δp (рис. 3.1, б), равного

$$\Delta p = p_{\text{пов}} - p_{\phi} = p_{\text{изб}} - (p_a + \Delta p_{\phi}).$$

Того же результата можно достичь, если понижать давление в камере формы, оставляя постоянным давление в камере печи. Такие процессы называют литьем под низким давлением с противодействием или сокращенно литьем с противодействием.

В мелкосерийном производстве на небольших предприятиях существует проблема загрузки специального оборудования, обусловленная недостатком пригодной номенклатуры с необходимым объемом производства. В этих условиях можно эффективно использовать универсальные комбинированные установки для литья под регулируемым газовым давлением, позволяющие реализовывать несколько рассмотренных ранее видов технологических процессов или их комбинаций.

Основное требование при создании такого оборудования – наличие надежно герметизированных камер для расплава и формы. Из выпускаемых машин этому требованию соответствуют установки для литья с противодавлением, которые дополнительно оснащены специальными модулями и позволяют получать отливки с помощью ЛНД, литья с противодавлением, ЛВВ, литья в вакуумируемую форму и различных сочетаний этих способов.

Опыт показывает, что использование такой установки может повысить коэффициент ее загрузки с 0,2...0,4 до 0,7...0,8. При этом с применением вакуумного модуля изготавливают около 15 % всех отливок, литьем с противодавлением – 10...15 и ЛНД – 70...75 %.

3.2. **Литье под давлением**

3.2.1. *Общие сведения*

Сущность литья под давлением заключается в том, что принудительная заливка рабочей полости металлической пресс-формы расплавом и формирование отливки происходят под действием пресс-поршня, перемещающегося в камере прессования, которая заполнена расплавом. В отличие от кокиля, рабочие поверхности пресс-формы, находящиеся в контакте с отливкой, не имеют огнеупорного покрытия, что требует кратковременного заполнения пресс-формы расплавом и действия на кристаллизующуюся отливку избыточного давления, в сотни раз превышающего гравитационное давление. В современном производстве этот процесс реализуется на специальных гидравлических машинах и позволяет получать от нескольких десятков до нескольких тысяч отливок различного назначения с высокими механическими свойствами, низкой шероховатостью поверхности и размерами, соответствующими или максимально приближенными к размерам готовой детали. Толщина стенки отливки может быть менее 1,0 мм, а масса – от нескольких граммов до десятков килограммов. Так, одна из самых сложных и уникальных отливок, изготавливаемых в России, – V-образный блок цилиндров автомобильного двигателя массой около 23 кг.

В зависимости от конструкции камеры прессования различают машины с холодной и горячей камерами прессования.

Операции технологического процесса на машинах с холодной камерой прессования заключаются в следующем. После подготовки пресс-формы 1 (рис. 3.12, а) к очередному циклу, ее сборки и запирания с помощью механизма запирания литейной машины в камеру прессования 2 подается расплав.

тически сразу прекращает работу. Эффективное управление газовым режимом процесса может происходить за счет уменьшения количества газообразных продуктов, которые необходимо удалить из рабочей полости пресс-формы после начала ее заполнения расплавом.

Для реализации этого прежде всего используют традиционные способы изменения параметров технологического процесса, направленные на достижение указанной цели. К таким способам можно отнести, например, увеличение проходного сечения вентиляционной системы, оптимизацию скорости прессования для снижения вероятности захвата газов из камеры прессования расплавом. Существенно повлиять на эксплуатационные свойства отливок можно применением смазочных материалов для пресс-форм и камеры прессования с минимальной газотворной способностью и более высокими смазывающими свойствами. Если традиционных способов недостаточно, то можно использовать вакуумирование пресс-формы и камеры прессования или кислородный процесс.

Технологические режимы литья. Температуры пресс-формы перед заливкой и заливаемого сплава назначают с учетом состава сплава, конфигурации отливки, толщины ее стенки и выбранного режима заполнения по рекомендациям, изложенным в разд. 3.2.

Продолжительность выдержки отливки в пресс-форме до извлечения определяют, пользуясь методами расчета, известными из теории формирования отливки.

Средства автоматизации околос машинных операций и устройства управления технологическим процессом выбирают в зависимости от типа производства (опытное, серийное, массовое) в соответствии с существующими рекомендациями.

3.3. Центробежное литье

3.3.1. Общие сведения

Сущность процесса центробежного литья заключается в том, что заполнение пресс-формы расплавом и формирование отливки происходит при вращении пресс-формы вокруг горизонтальной, вертикальной, наклонной осей или при сложном ее вращении. Это обеспечивает дополнительное воздействие на расплав и затвердевающую отливку поля центробежных сил. Процесс реализуется на специальных центробежных машинах и столах.

В основном используют два варианта способа литья, при которых расплав заливается в пресс-форму с горизонтальной или вертикальной осью вращения. В первом случае получают отливки тел вращения малой и большой протяженности, во втором – тел вращения малой протяженности и фасонные отливки.

Наиболее распространен способ литья во вращающиеся металлические пресс-формы с горизонтальной осью вращения пустотелых цилиндрических отливок. При этом способе (рис. 3.39) отливка формируется в поле центро-

4. ДРУГИЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ

4.1. Непрерывное литье

4.1.1. Общие сведения

Сущность процесса. Непрерывное литье (непрерывная заливка металла) предполагает заливку расплава непосредственно из плавильной печи или ковша в водоохлаждаемый кристаллизатор, из которого затвердевшая отливка непрерывно вытягивается с помощью затравки и специального привода. Полунепрерывное литье является той разновидностью способа, в котором через определенные промежутки времени все механизмы возвращаются в исходное состояние и процесс повторяется.

Процесс непрерывного литья осуществляется следующим образом (рис. 4.1). Расплав из ковша 1 равномерно и непрерывно поступает в водоохлаждаемую металлическую форму-кристаллизатор 2.

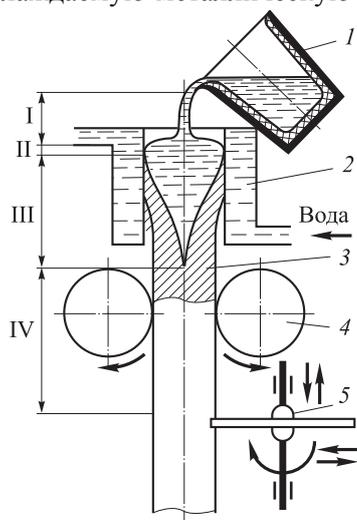


Рис. 4.1. Установка для непрерывного литья:

1 – ковш; 2 – металлическая форма-кристаллизатор; 3 – отливка; 4 – валки; 5 – пила; (I–IV – температурные стадии расплава)

подачу первых порций расплава начинают тогда, когда во впускное отверстие кристаллизатора устанавливают затравку, соединенную с приводом, поперечное сечение которой повторяет сечение отливки. Частично затвердевшая отливка 3 (слиток, пруток, заготовка прямоугольного или квадратного сечения, труба, станина станка и др.) непрерывно извлекается валками 4 или иными устройствами. При необходимости отливку разрезают на заготовки пилой 5.

Краткие исторические сведения. Непрерывное литье появилось в XIX в. в эпоху промышленного освоения производства стали. Цель, поставленная металлургами при разработке этого процесса, заключалась в получении литой заготовки такого сечения, которое позволило бы уменьшить число проходов при ее прокатке и усилия прокатки, повысить производительность. Однако эта проблема была решена только во второй половине XX в. В настоящее время непрерывное литье широко используют в металлургической промышленности

для получения слитков из стали, цветных металлов и сплавов, чугунных напорных труб, а также в машиностроении для изготовления трубчатых заготовок и заготовок сложного поперечного сечения.

Непрерывное литье также используют для получения фасонных профилей (квадратных, круглых, шестигранных, прямоугольных), изделий с отверстиями, шестерен и т. д., изготавливаемых из чугуна или медных сплавов (бронз, латуней).

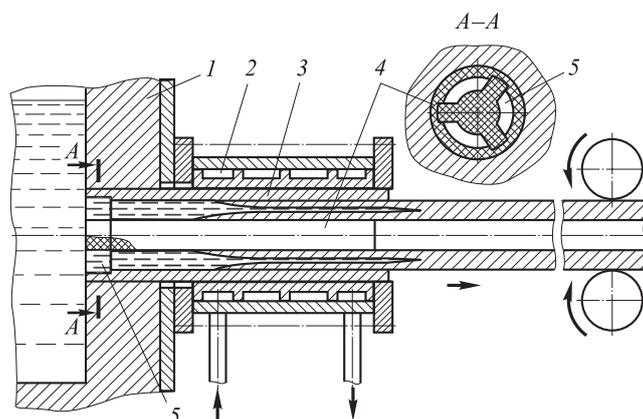


Рис. 4.5. Кристаллизатор для горизонтального непрерывного литья трубчатых заготовок и профилей:

1 – раздаточная печь; 2 – водоохлаждаемая рубашка; 3 – графитовый вкладыш; 4 – стержень; 5 – отверстия для подвода расплава

Для литья таких изделий используют заготовки горизонтального типа с графитовым водоохлаждаемым кристаллизатором (рис. 4.5). В стенке раздаточной печи 1 устанавливают кристаллизаторы, состоящие из водоохлаждаемой рубашки 2 и графитовых вкладышей 3, а при необходимости получения отверстия в отливке – стержень 4 с отверстиями 5 для подвода расплава. В начале процесса в кристаллизатор вводят затравку-захват. В разогретую печь заливают расплав и после выдержки для формирования отливки в кристаллизаторе начинают извлекать ее из кристаллизатора за затравку-захват. По мере удаления отливку разрезают на мерные заготовки. Таким способом получают заготовки из чугуна для деталей гидроаппаратуры, направляющих прессов и металлорежущих станков, а из медных сплавов – для втулок, гаек, корпусов гидро- и пневмоаппаратуры.

4.3. Литье намораживанием

4.3.1. Литье непрерывным намораживанием непосредственно из расплава

Существует большое количество способов литья, для которых характерна одна общая черта: последовательное затвердевание части жидкого металла – намораживание. Затвердевающая корочка обильно питается жидким расплавом, в ней не образуется усадочных дефектов, неметаллические включения и газовые пузыри оттесняются фронтом кристаллизации и не попадают в тело отливки, которое обладает повышенными плотностью и прочностью. К таким

в чаше закрыты шаровыми стопорами 1. Расплав заливают в литниковую чашу, затем поднимают шаровые стопоры. Скорость опускания стола с формой, расход расплава через трубки из литниковой чаши и скорость отвода теплоты от расплава формой рассчитывают так, чтобы обеспечивалась последовательная кристаллизация отливки.

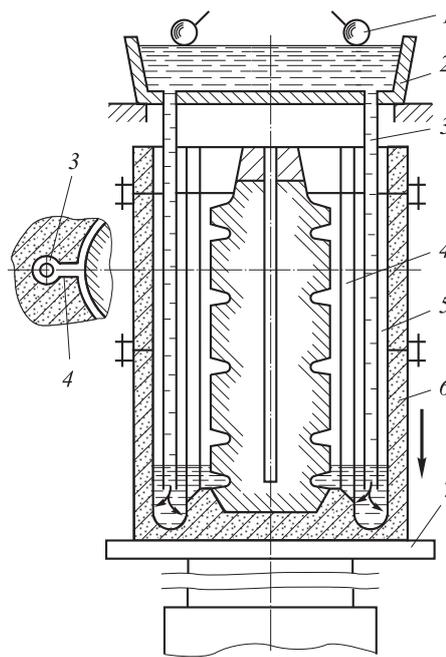


Рис. 4.9. Литье с последовательным заполнением формы:

1 – шаровой стопор; 2 – литниковая чаша; 3 – трубка для подвода расплава в форму; 4 – щелевой питатель; 5 – колодец; 6 – литейная форма; 7 – стол

Такой способ позволяет получать плотные отливки без усадочных дефектов.

Литье в подвижный кристаллизатор реализовано в агрегате НЛП-АК (рис. 4.10), предназначенном для производства трехгранной алюминиевой проволоки для кабельной промышленности. Производительность агрегата составляет 1,5 т/ч.

4.4. Менее распространенные способы литья

4.4.1. Жидкая штамповка

Сущность процесса. Жидкая штамповка позволяет в значительной мере компенсировать усадку расплава при кристаллизации благодаря уменьшению объема полости формы. Расплав заливают в неразъемную или разъемную металлическую форму, достаточно прочную, чтобы выдержать давление, передаваемое на отливку поршнем (рис. 4.11, а).

Малые модели собирают пайкой в блок совместно с элементами литниковой системы. К средним и крупным моделям, которые будут заливаться индивидуально, припаивают восковые элементы литниковых систем. Количество литников должно обеспечивать качественное заполнение формы металлом.

Для изготовления художественных отливок из медных сплавов с принудительной заливкой применяют блок-формы. После перемешивания формовочной смеси с водой смесь подвергают вакуумированию, затем ее заливают в опоку, где заранее размещен блок моделей. Опоку устанавливают в вибровакуумную установку и подвергают обработке в течение 5...10 мин для наиболее полного удаления из смеси воздушных включений.

После формовки и отвердевания смеси форму выдерживают на воздухе в течение 1...3 ч.

В состав формовочных смесей входят гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), который твердеет и придает прочность смеси при замешивании с водой, и различные огнеупорные материалы на кварцевой основе. Наиболее распространена гипсодинасовая формовочная смесь, в которой огнеупорным компонентом служит динас, измельченный до размера зерен 0,08 мм и содержащий до 96 % SiO_2 .

Для выплавления из формы модельного состава применяют электрические печи с температурой нагрева до 150 °С. Форму помещают в нагретую печь литниковой воронкой вниз. Расплавленный модельный состав вытекает в расположенную внизу емкость, полость формы освобождается. Часть модельного состава впитывается в форму. Нагрев до 700 °С форм при прокаливании проводят с помощью программного устройства «ПРОТЕРМ» по специальному режиму, при этом модельный состав должен полностью выгорать. Плавку сплавов осуществляют преимущественно в печах с электрическим нагревом с использованием графитовых, керамических или кварцевых тиглей. Формы заполняют с помощью прогретых ковшей или в установках с центробежной заливкой форм, при которой на металл создается внешнее давление, что позволяет изготовить тонкостенные отливки за счет увеличения скорости течения металла по каналам формы.

Для разупрочнения охлажденные формы помещают в воду, после чего блок отливок поступает на участок отрезания литников и контроля качества отливок.

Последующие операции изготовления отливок – отделка поверхности с помощью галтовки, шлифовки, термическая обработка, травление, нанесение защитных или декоративных покрытий.

4.5. Электрошлаковое литье

Заготовки деталей машин получают приготовлением расплава и его заливкой тем или иным способом литья в литейную форму. В процессе заливки и охлаждения в литейной форме расплав взаимодействует с воздухом и мате-

5. НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЛИТЬЯ

5.1. Поиск новых структур процессов литья

5.1.1. Общие сведения

Исторический опыт показывает, что с развитием общества происходит и развитие технологий. Усложняющаяся структура общества потребовала создания новых приспособлений и машин, что, в свою очередь, привело к появлению новых, более сложных технологий. Рост численности населения способствовал возникновению технологий, обеспечивающих повышение производительности и тиражирование изделий. Одновременно с развитием таких технологий решались вопросы снижения затрат на производство изделий, т. е. повышения эффективности.

Новые технологии привели не к исчезновению старых, а к их усовершенствованию и трансформации. Сосуществование различных технологий можно объяснить многообразием требований к деталям машин, а также экономическими факторами. В зависимости от назначения, уровня требований к качеству детали, материала детали в каждом случае существует оптимальный вариант технологии, наиболее эффективный и соответствующий критерию «минимум затрат – требуемое качество при заданном объеме производства».

Любая вновь появляющаяся технология с течением времени занимает определенное место в ряду других (по объему производства) и решает свои «главные» задачи. Литье по выплавляемым моделям в оболочковые формы обеспечивает получение отливок сложной конфигурации литье в металлические формы позволяет эффективно решать вопросы производительности, литье в песчаные формы характеризуется высокой универсальностью.

Первоначально наиболее широко применяли литье по выплавляемым моделям в оболочковые формы, затем – литье в песчаные формы, позднее – в металлические. Если сопоставить это движение со структурами этих процессов, то очевидно их упрощение – от многооперационного литья по выплавляемым моделям к малооперационному литью в металлические формы.

Исходя из сказанного выше, можно сделать вывод о необходимости повышения эффективности литья по выплавляемым моделям и доведения этого процесса до уровня средне- или малооперационных процессов.

5.1.2. Понятие идеальной технологии

В настоящее время наиболее актуален следующий вопрос: можно ли создать идеальную технологию? Чтобы ответить на него, необходимо выяснить какую технологию можно считать идеальной. Условно за идеальную

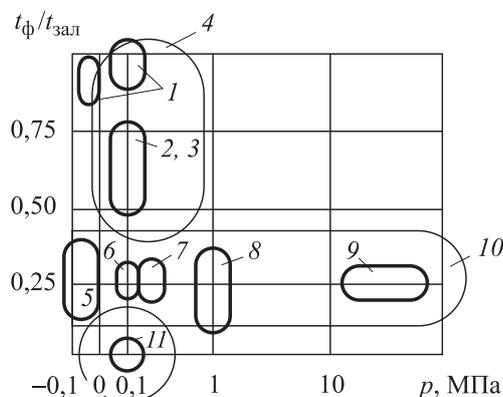


Рис. 5.1. Графическая матрица, отображающая условия существования и поиска новых технологических процессов:

$t_{\text{ф}}, t_{\text{зал}}$ – температуры формы и заливки; p – давление на жидкий металл; 1 – направленная кристаллизация сплава при литье по выплавляемым моделям; 2 – литье по выплавляемым моделям; 3 – литье по выплавляемым моделям при воздействии магнитного поля на расплав; 4 – литье в керамические формы; 5 – литье вакуумным всасыванием; 6 – литье в кокиль; 7 – литье под низким давлением; 8 – центробежное литье; 9 – литье под давлением; 10 – литье в металлические формы; 11 – литье в песчаные формы

ненагретому исходному веществу. Длительность инициирования обычно намного меньше времени сгорания шихты.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез был создан на основе научного открытия явления твердого пламени (или явления волновой локализации твердофазных автотормозящихся реакций), сделанного в 1967 г. в Научном центре Академии наук СССР.

На рис. 5.1 представлена графическая матрица, отображающая условия существования действующих (освоенных) и поиска новых технологических процессов.

5.2. Специальные технологии литья

5.2.1. Общие сведения

Для массового производства отливок литьем в металлические формы создаются и эксплуатируются автоматизированные литейные комплексы, в состав которых входят, например, две машины для литья под давлением, робот, плавно-заливочное устройство, вырубной пресс (или дополнительное устройство для вырубки отливок внутри пресс-формы), печь термической обработки.

Комплекс оснащен контрольно-управляющим процессором, который в каждый момент времени контролирует положение рабочих органов литейного комплекса и его технологические параметры и управляет ими.

Аналогичные комплексы созданы для производства отливок литьем в кокиль, в облицованные кокили, литьем под низким давлением и др.

контроль качества. Целесообразно применение систем проектирования технологий, роботов, новых модельных и связующих материалов.

Высокие требования к качеству отливок, полученных литьем по выплавляемым моделям, обуславливают применение на всех предприятиях средств контроля качества в полном объеме (плавочный и структурный анализы, контроль сплошности металла и трещин, механические испытания), без которых отливки недопустимо эксплуатировать. Существуют так называемые директивные технологии, которые являются законом для предприятия.

Одно из направлений работ в области литья по выплавляемым моделям – сокращение длительности технологического цикла изготовления отливок без ущерба их качеству.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана созданы новые способы получения керамических форм. Это самый длительный этап процесса литья по выплавляемым моделям. Теплоимпульсный способ сушки позволяет снизить длительность изготовления пятислойной формы до 2 ч. Получить пятислойную форму можно также за 1 ч в случае сжигания растворителей после нанесения последнего слоя покрытия. Способы опробованы в лабораторных и промышленных условиях при литье деталей из чугуна и стали. Отливки признаны годными.

5.3. Литье по моделям из фотополимерных материалов

Сущность процесса. Литье по моделям из фотополимерных материалов, или лазерная стереолитография, предназначено для изготовления опытных партий отливок деталей различного назначения в автомобиле- и авиастроении, в ракетной, космической и медицинской технике, а также для получения художественных изделий.

Литье по моделям из фотополимерных материалов основано на полимеризации, фотоинициированной лазерным излучением либо излучением ртутных или люминесцентных ламп. Сущность этой технологии – создание с помощью иницирующего (например, лазерного) излучения в жидкой реакционно-способной среде активных центров (радикалов, ионов, активированных комплексов). Взаимодействуя с молекулами мономера, они вызывают рост полимерных цепей, т. е. полимеризацию, вследствие которой происходит изменение фазового состояния среды и образование в обработанной области твердого полимера.

Особенности технологического процесса. Технология литья по моделям из фотополимерных материалов предусматривает создание с помощью системы автоматического проектирования (САПР) трехмерной электронной модели будущей отливки, которая разбивается на тонкие слои. Затем на лазерной стереолитографической установке эти слои реально воссоздаются и соединяются воедино. В результате выстраивается физический объект в виде мастер-модели из фотополимера для литья по выплавляемым моделям, которую вместе с литниковой системой формируют в гипсодинасовой смеси. Форму

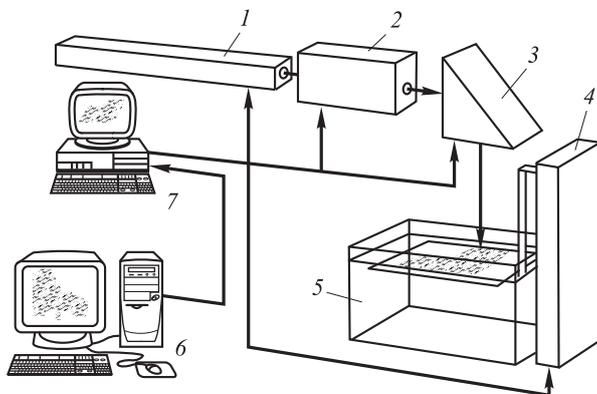


Рис. 5.2. Установка для изготовления моделей с использованием лазерной стереолитографии:

1 – He–Cd-лазер; 2 – акустико-оптический затвор; 3 – двухкоординатный сканер; 4 – элеватор; 5 – емкость с жидким фотополимером; 6 и 7 – управляющая ЭВМ и ЭВМ для контроля за процессом

прокаливают до полного удаления мастер-модели. Для обеспечения высокого качества отливок заливку форм расплавом можно осуществлять на установке для центробежного литья. Затем форму разрушают, отделяют литниковую систему, производят зачистку отливок.

Преимущества процесса – резкое (в 5–10 раз) сокращение времени на разработку и внедрение новых изделий; значительное уменьшение времени и средств на технологическую подготовку производства, полное исключение ручного труда при изготовлении мастер-модели; выполнение сложных деталей (моделей) и оснастки, спроектированных в различных САПР; достижение высокой точности изготавливаемых отливок.

Установка для изготовления моделей с использованием лазерной стереолитографии приведена на рис. 5.2. Техническая характеристика установки: отклонения размеров моделей – не более 0,1 мм; габариты модели – до 250×250×250 мм; масса модели – не более 5 кг. Отливки могут быть изготовлены из любого литейного материала.

5.4. Использование условий космического пространства для литья деталей специального назначения

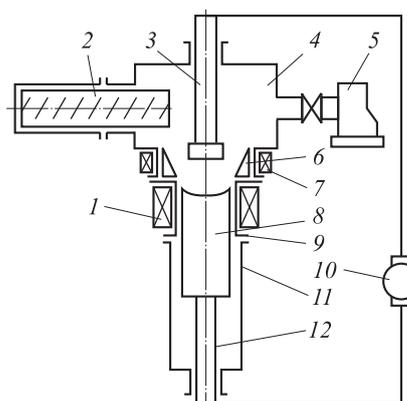
5.4.1. Общие сведения

Космонавтика – совокупность отраслей науки и техники для исследования космического пространства и внеземных объектов с использованием космических летательных аппаратов. Космонавтика включает в себя проблемы теории космических полетов, научно-технического, научного, медико-биологического, юридически-международного характера. Началом освоения космического пространства можно считать запуск в СССР первого искусственного спутника Земли 4 октября 1957 г. Первый космический полет с участием человека состоялся 12 апреля 1961 г., первая высадка людей на Луну – 21 июля 1969 г. Для

Электронная плавка существенно упрощается при давлении $p \rightarrow 0$, т. е. в условиях невесомости. После электронной плавки снижается твердость и повышается пластичность металла.

Рис. 5.7. Плазменная печь:

1 – соленоид; 2 – бункер для кусковой шихты; 3 – электрод-плазмотрон; 4 – камера печи; 5 – вакуумный насос; 6 – кольцо-экран; 7 – отклоняющая магнитная система; 8 – слиток; 9 – кристаллизатор; 10 – источник питания; 11 – камера-холодильник; 12 – механизм вытягивания слитка



Плазменные печи (рис. 5.7) успешно используют для переплава тугоплавких металлов и сталей в целях повышения их качества. Они представляют собой печи с нерасходуемым электродом-плазмотроном, достоинствами которых являются стабильность разряда в газовом потоке, хорошая регулируемость мощности, относительно большая (по сравнению с нерасходуемыми электродами) стойкость катодов за счет охлаждения их газом, возможность получения высоких температур, высокая концентрация энергии. В качестве плазмообразующих газов применяют азот, водород, аргон, гелий и их смеси, а для титана – только благородные газы.

При $g \rightarrow 0$ и $p \rightarrow 0$ необходимо создавать новые установки, позволяющие реализовать этот метод для выплавки специальных сплавов.

5.5. Производство монокристаллов

5.5.1. Методы выращивания монокристаллов

Кристаллы получают методом вытягивания из расплава, пересыщенного раствора и пара. Кроме того, существует метод электроосаждения, а также ряд других специальных методов. В настоящее время наибольшее значение имеют методы вытягивания монокристаллов из расплава.

Метод Бриджмена – Стокбаргера заключается в медленном опускании тигля с расплавом через сравнительно холодную диафрагму. Тигель выполнен так, чтобы кристаллизация начиналась в его суженной части. В результате образуется несколько затравочных кристаллов, один из которых опережает в росте остальные и остается единственным кристаллом (рис. 5.8). В верхней части печи температура на $50 \dots 80 \text{ }^\circ\text{C}$ выше, а в нижней части – на $50 \dots 80 \text{ }^\circ\text{C}$ ниже точки плавления соответствующего вещества. Платиновая перегородка между частями печи препятствует распространению теплоты вдоль трубки и тем самым повышает температурный градиент. Вещество, содержащееся в

$$\sigma_{к.м} = \sigma_{а.в} V_{а.в} + \sigma_{осн} (1 - V_{а.в} - V_{п}),$$

где $\sigma_{к.м}$ – прочность композиционного материала; $\sigma_{а.в}$ – прочность армирующего волокна; $V_{а.в}$ – объем армирующего волокна; $\sigma_{осн}$ – прочность основы композиционного материала; $V_{п}$ – объем пор в композиционном материале.

В промышленности разработаны и используются следующие способы изготовления фасонных отливок из композиционных материалов:

- соединением твердых волокон (длинных или коротких) и жидкого сплава в литейной форме;
- направленным затвердеванием сплавов эвтектического состава, когда созданы условия формирования двухфазной структуры сплава, при этом одна из фаз кристаллизуется в виде тонких протяженных нитей со свойствами, отличными от свойств основы.

Конструирование структуры армированной отливки проводится по схеме, приведенной на рис. 5.13.

5.6. Использование нанотехнологий в процессах литья

5.6.1. Общие сведения

Одним из важных направлений совершенствования литейных технологий и принципиального улучшения качества литых деталей является использование результатов исследований в области нанотехнологий.

Использование нанотехнологий позволяет манипулировать отдельными атомами и молекулами веществ, перемещать их в микропространстве, соединять элементы в определенном порядке. Для наблюдения за этими процессами применяют растровые электронные туннельные микроскопы с увеличением до 7 млн раз.

В настоящее время существуют два направления исследований в области нанотехнологий.

1. Исследования в области FLOU-3D (течение расплава в каналах литейной формы), показывающие, что в определенный период течения металла в его головной части образуются наночастицы, визуально не затемняющие поток в оптическом диапазоне наблюдения (это не связано с кристаллизацией металла вблизи стенок канала и не затрудняет его течения).

Проблема заключается в более глубоком изучении этого явления, в частности, в связи с химическим составом сплава и со степенью его эвтектичности. Необходимо научиться управлять поведением металлических наночастиц и таким образом повышать качество отливок.

2. Технологии рео- и тиксолитья, сущность которых состоит в образовании и удержании твердофазных частиц в расплаве для получения максимальной сплошности отливки. Такими способами управляют и размерами зерен в твердой фазе при их измельчении.

ЛИТЕРАТУРА

- Баландин Г.Ф.* Литье намораживанием. М.: Машгиз, 1962. 261 с.
- Баландин Г.Ф.* Основы теории формирования отливок. Затвердевание и охлаждение отливки. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. 360 с.
- Бедель В.К., Тимофеев Г.И.* Литье под низким давлением. М.: Машиностроение, 1968. 259 с.
- Белов В.М., Рожнов С.П.* Установки литья под низким давлением // Литейное производство. 1997. № 10. С. 26.
- Белопухов А.К.* Технологические режимы литья под давлением. М.: Машиностроение, 1985. 267 с.
- Борисов Г.П.* Давление в управлении литейными процессами. Киев: Наукова думка, 1988. 272 с.
- Виноградов В.Н.* Литейные формы: Альбом. М.: Машиностроение, 1997. 108 с.
- Галдин Н.М., Чистяков В.В., Шатуновский А.А.* Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок. М.: Машиностроение, 1992. 256 с.
- Гуляев Б.Б.* Теория литейных процессов. М.; Л.: Машиностроение, 1976. 213 с.
- Зеленов В.Н., Киселенко Л.Е.* Смазка пресс-форм литья под давлением. М.: Машиностроение, 1983. 144 с.
- Иванов В.Н., Зарецкая Г.М.* Литье в керамические формы по постоянным моделям. М.: Машиностроение, 1975. 134 с.
- Куманин И.Б.* Вопросы теории литейных процессов. М.: Машиностроение, 1976. 215 с.
- Литье* в кокиль / Под ред. А.И. Вейника. М.: Машиностроение, 1980. 415 с.
- Литье* по выплавляемым моделям / Под общ. ред. В.А.Озерова. М.: Машиностроение, 1994. 448 с.
- Литье* под давлением / М.Б. Беккер, М.А. Заславский, Ю.Ф. Игнатенко и др. М.: Машиностроение, 1990. 400 с.
- Литье* тонкостенных конструкций / Ю.А. Степанов, Э.Ч. Гини, Е.А. Соколов и др. М.: Машиностроение, 1966. 254 с.
- Машины* литья под давлением / Под ред. Б.Е. Розенберга. М.: Машиностроение, 1973. 285 с.
- Моисеев Н.Н.* Математика ставит эксперимент. М.: Наука, 1979. 222 с.
- Норенков И.П.* Введение в автоматическое проектирование технических устройств и систем. М.: Высшая школа, 1980. 308 с.
- Рубцов Н.Н.* История литейного производства в СССР. М.: Машгиз, 1962. 287 с.
- Рыжков Н.Ф., Гини Э.Ч.* Литье методом вакуумного всасывания. М.: Машиностроение, 1982. 96 с.
- Специальные* способы литья: Справочник / Под общ. ред. В.А. Ефимова. М.: Машиностроение, 1991. 736 с.
- Стебаков Е.С., Тарутин В.Я.* Литье выжиманием. М.: Машгиз, 1962. 252 с.
- Степанов Ю.А., Баландин Г.Ф., Рыбкин В.А.* Технология литейного производства. Специальные виды литья. М.: Машиностроение, 1983. 287 с.

Цветное литье: Справочник / Под общ. ред. Н.М. Галдина. М.: Машиностроение, 1989. 528 с.

Штамповка жидкого металла (литье с кристаллизацией под давлением) / Под ред. А.И. Батышева. М.: Машиностроение, 1979. 199 с.

Шуляк В.С., Рыбаков С.А., Григорян К.А. Производство отливок по газифицируемым моделям / Под ред. В.С. Шуляка. М.: МГИУ. 2001. 310 с.

Юдин С.Б., Левин М.М., Розенфельд С.Е. Центробежное литье. М.: Машиностроение, 1972. 279 с.

Учебное издание

Гини Энрико Чельсович
Зарубин Александр Михайлович
Рыбкин Валерий Аверьянович

Специальные технологии литья

Редактор *А.С. Водчиц*
Технический редактор *Э.А. Кулакова*
Корректор *Е.В. Авалова*
Художник *Н.Г. Столярова*
Компьютерная верстка *А.Ю. Ураловой*
Компьютерная графика *В.А. Филатовой*

Подписано в печать 19.03.10. Формат 70×100/1/16.
Усл. печ. л. 29,9 + 0,65 цв. вкл. Тираж 500 экз. Заказ

Оригинал-макет подготовлен
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 77.99.60.953.Д.003961.04.08 от 22.04.08 г.

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5.
E-mail: press@bmstu.ru
<http://www.baumanpress.ru>