



*The peculiarity of production and classification of alloys by technological complexity of production are given.*

А. П. МЕЛЬНИКОВ, М. А. САДОХА, НП РУП «Институт БелНИИлит»

УДК 621.74

## ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОТЛИВОК ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Несмотря на широкое развитие конкурирующих технологий (порошковой металлургии, применение композиционных материалов, пластически деформированных и сварных заготовок, а также изделий из пластмасс), роль литейного производства в современном машиностроении не только не уменьшается, а наоборот, возрастает.

При складывающейся динамике цен на энергоносители и материалы это обусловлено рядом несомненных преимуществ литейного производства по сравнению с другими технологическими переделами.

1. Отливки геометрически максимально приближены к деталям.

2. Отходы металла в стружку у литых заготовок в 1,5–2,0 раза меньше, чем у деталей, изготовленных из проката. При этом более 30% общего выпуска отливок применяются без механической обработки. Коэффициент использования металла в заготовке (КИМ) для литых заготовок составляет в среднем 60%, в то время как у поковок – 30%. Современные литейные технологические процессы позволяют повысить КИМ литых заготовок до 90–100%.

3. Суммарная энергоемкость при изготовлении деталей из литых заготовок в 2–6 раз меньше, чем при использовании других технологий.

4. Применяемые в литейном производстве способы формообразования отличаются большой экономичностью и универсальностью. Литьем можно получать заготовки практически любой конфигурации и из любых сплавов без существенных ограничений по массе и габаритным размерам.

5. Имеется возможность в широких пределах повышать эксплуатационную прочность заготовок за счет перераспределения массы металла, применения различных ребер, бобышек, приливов

и т.п. Литые заготовки обладают, как правило, большей жесткостью, чем сварные.

6. Литые заготовки в отличие от всех других видов заготовок имеют более низкую себестоимость.

7. Для литейной технологии характерна органическая ориентированность на организацию замкнутого поточного автоматизированного производства.

В настоящее время существует несколько десятков методов получения отливок. Их классификацию можно провести по разным критериям. По возможности многократного использования литейных форм можно выделить методы литья в разовые, полупостоянные и постоянные формы.

Разовая форма предназначена для получения отливок при однократной заливке сплава в нее. После затвердевания и охлаждения отливки форма разрушается. В полупостоянные формы можно производить несколько последовательных заливок сплава. Постоянные формы, изготавливаемые чаще всего из металлических сплавов, предназначены для многократного использования. В зависимости от вида сплава и стойкости форм в них осуществляют от нескольких сотен до десятков тысяч заливок.

Учитывая многообразие способов литья и принципов, на которых они основаны, можно выделить следующие классификационные признаки способов литья:

- 1) тип формы;
- 2) основа материала формы;
- 3) природа связующих добавок;
- 4) тип оснастки;
- 5) уплотнение смеси;
- 6) упрочнение формы;
- 7) воздействие на жидкий расплав;
- 8) заливка сплава;
- 9) силовое воздействие на расплав в процессе заливки и кристаллизации;

10) поверхностное или объемное упрочнение сплава в отливке.

Признаки 3–6 относятся к формам, изготавливаемым из дисперсных материалов.

Признак 4 отличает различные виды литья по видам оснастки, применяемой для изготовления формы: наличие и тип опок, их количество; материал и тип моделей (деревянная, металлическая, выплавляемая, растворимая, выжигаемая, газифицируемая и т.д.); наличие и тип шаблонов, контрольных сечений, стержневых ящиков и т. п.

Для уплотнения смеси (признак 5) применяют разнообразные методы, ударные воздействия инструментом, придание кинетической энергии порциям смеси (метание), уплотнение встряхиванием, пескодувное и пескострельное уплотнение, прессование, импульсное и взрывное воздействие, вакуумирование и т. д.

Учитывая большие затраты энергии и материалов на создание формы, следует признать перспективным применение методов, основанных на специальных принципах уплотнения смеси, не требующих больших затрат материалов и энергии. К ним, например, можно отнести вакуумно-пленочную формовку и литье в замороженные формы. В этом случае обеспечивается многократность применения смеси и полное отсутствие специальных связующих материалов.

Особое место занимает технология формообразования с применением жидких самотвердеющих смесей (ЖСС), исключающих операцию уплотнения смеси.

Для упрочнения форм применяют методы теплового, химического и физического воздействия. При тепловом воздействии происходят процессы сушки, окисления масляных связующих, поликонденсации песчано-смоляных смесей, затвердевания жидкого стекла в жидкостекольных смесях и т. д. Упрочнение за счет протекания химических процессов происходит в холоднотвердеющих песчано-смоляных смесях (ХТС) с применением катализаторов, в жидкостекольных смесях при продувке их углекислым газом, в металлофосфатных, цементных, этилсиликатных и других смесях. Для упрочнения смесей применяют прокаливание, обжиг, вакуумирование, воздействие магнитных полей.

В настоящее время для получения необходимых эксплуатационных свойств отливок применяют разнообразные способы воздействия на жидкие металлические расплавы: термовременную обработку, модифицирование, ввод дисперсных инокуляторов (суспензионное литье), перемешивание расплава, продувку газами, обработку его флюсами и шлаками, вакуумирование, воздействие магнитных и электростатических полей и т. д.

Подавляющее большинство отливок получают свободной заливкой сплава из ковша под воздействием гравитационного поля. Однако непрерывно

увеличивается роль процессов, основанных на специальных способах заливки: под воздействием регулируемого перепада давлений – литье под низким давлением (ЛНД), литье вакуумным всасыванием (ЛВВ), литье с противодавлением (ЛПрД) и под поршневым или компрессионным высоким давлением до 15 МПа – литье под давлением (ЛПД), литье с помощью электромагнитных насосов.

Особое место занимают непрерывные процессы получения отливок, при которых осуществляется свободная заливка в неподвижную форму-кристаллизатор в условиях непрерывного вытягивания из нее затвердевающей отливки при непрерывном подводе сплава в форму из разливочного ковша. Для формирования отливок в этих процессах применяют разного вида кристаллизаторы, формирующие устройства или валки.

При некоторых способах литья процессы заливки и формирования отливки совмещаются во времени. К ним относится литье намораживанием, наплавкой и выжиманием. При литье выжиманием подвижная часть формы деформирует затвердевшую часть расплава и выжимает жидкую фазу. После совмещения подвижной и неподвижной частей формы в полости между ними окончательно формируется отливка. Для получения отливок способом наплавки (электрошлаковое литье) источником жидкого металла служит электрод, который плавится за счет тепла, выделяющегося при протекании тока от электрода через слой шлака между ним и наплавляемой отливкой. Этим способом получают отливки наиболее ответственного назначения.

По способу силового воздействия на кристаллизующийся расплав можно выделить:

- совокупность обычных методов литья в гравитационном поле без дополнительных силовых воздействий;
- ЛПД, где формирование отливки осуществляется под высоким поршневым или компрессионным давлением;
- литье под регулируемым давлением, при котором перепады прилагаемых к расплаву давлений относительно невелики (не более 0,01 МПа);
- центробежное литье, где формирование отливки осуществляется в поле центробежных сил, возникающих при вращении формы;
- жидкую штамповку, при которой залитый в форму (матрицу) расплав в процессе кристаллизации деформируется подвижной частью формы (пуансоном);
- методы литья с применением наложения на кристаллизующийся расплав вибрации, ультразвуковых колебаний и магнитно-гидродинамических воздействий.

Для обеспечения поверхностного и объемного упрочнения отливок применяют их поверхностное и объемное армирование порошками, волокнами,

конструкционной арматурой, например, трубками для принудительной циркуляции в будущей детали охлаждающей жидкости, обеспечивающей необходимый термический режим ее эксплуатации.

Каждый самостоятельный способ литья отличается от других хотя бы по одному из перечисленных выше критериев.

В настоящее время зафиксировано более 50 принципиально отличающихся друг от друга способов литья, которые применяются на практике.

Технологический процесс изготовления отливки должен соответствовать определенным техническим требованиям к деталям и литым заготовкам. Технические требования регламентируются чертежом детали, техническими условиями, государственными и другими стандартами. В них устанавливаются требования к химическому составу и механическим свойствам сплавов, геометрической форме и размерам отливок, состоянию внешней и внутренней поверхности, получению в отливках соответствующих структур как по крупности зерна, так и по фазовому составу, требования к способам выявления и исправления поверхностных и внутренних литейных дефектов. Вместе с этим ставится задача получения отливок с минимальным припуском на механическую обработку и минимальной их стоимостью.

Согласно ГОСТ 15467-79, под качеством продукции понимают совокупность свойств, обеспечивающих удовлетворение определенных потребностей в соответствии с ее назначением. Для количественной оценки свойств отливок, определяющих их качество, используют различные показатели качества. Номенклатура показателей качества устанавливается соответствующими стандартами или техническими условиями.

По ГОСТ 4.439-86 для оценки качества отливок общего назначения рекомендуется использовать следующие показатели:

- квалификационные (марку сплава; массу отливки, класс точности, группу сложности);
- показатели назначения (механические свойства, параметры макро- и микроструктуры);
- качества поверхности;
- технологичности и экономного использования металла (припуски на механическую обработку, допуски на необрабатываемые размеры отливки);
- экономические показатели (себестоимость, экономический эффект).

К этим показателям могут быть добавлены специальные характеристики, связанные со специфическими условиями эксплуатации отливки: ударная вязкость при пониженных температурах, коэффициент термического расширения (КТР), магнитные характеристики, герметичность и т.д.

Номенклатура показателей качества, используемая для оценки качества конкретной отливки, зависит от ее назначения. В соответствии с

ГОСТ 977-88 все отливки из конструкционных легированных и нелегированных сталей делятся на три группы в зависимости от их назначения:

1) отливки общего назначения, для которых обязательно контролируемыми показателями являются внешний вид, размеры, химический состав;

2) отливки ответственного назначения с обязательным контролем внешнего вида, размеров, химического состава и статических механических свойств;

3) отливки особо ответственного назначения, у которых, кроме указанных для второй группы показателей, контролируется ударная вязкость.

Обычно группу отливки, марку сплава и дополнительные контролируемые показатели конструктор указывает на чертеже детали.

Отливки из алюминиевых сплавов в зависимости от назначения и предъявляемых к ним требований подразделяют на три группы (СТБ 1256-2001).

1. Первая группа (1Г) – отливки неответственного назначения для деталей, не рассчитываемых на прочность, конфигурация и размеры которых определяются конструктивными и технологическими соображениями. Для этих отливок предусмотрен выборочный контроль размеров, наружный осмотр и контроль химического состава.

2. Вторая группа (2Г) – отливки ответственного назначения, несущие статические нагрузки для деталей, не рассчитываемых на прочность. К состоянию литой поверхности и качеству металла предъявляются повышенные требования. Для этих отливок предусмотрен выборочный контроль размеров, наружный осмотр и контроль химического состава, контроль механических свойств и специальные виды контроля, указанные в чертежах (макроструктура, герметичность, рентгеновское просвечивание и т.д.).

3. Третья группа (3Г) – отливки особо ответственного назначения, несущие знакопеременные нагрузки с повышенными требованиями по прочности и плотности для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при динамических и знакопеременных нагрузках. Отливки подвергаются механической обработке с жестким ограничением размеров. К состоянию литой поверхности и качеству металла предъявляются высокие требования. Для этих отливок предусмотрены контроль размеров, наружный осмотр и контроль химического состава, контроль механических свойств и специальные виды контроля, указанные в чертежах (макроструктура, герметичность, рентгеновское просвечивание и т.д.).

Химический состав и механические свойства сплавов должны соответствовать требованиям государственных или отраслевых стандартов.

Качество отливок в значительной мере определяется уровнем их дефектности. По ГОСТ 14567-79 дефектом называют каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям.

В соответствии с ГОСТ 19200-80 дефекты отливок из чугуна и стали делятся на следующие группы:

- несоответствие по геометрии (недолив, неслитина, обжим, подутость, перекокс, стержневой перекокс, разностенность, стержневой залив, коробление, незалив, зарез, вылом, прорыв металла, уход металла);
- дефекты поверхности (пригар, спай, ужимина, нарост, залив, засор, плена, просечка, окисление, поверхностное повреждение, складчатость, грубая поверхность, газовая шероховатость);
- несплошности в теле (горячая и холодная трещины, межкристаллическая трещина, газовая, ситовидная, усадочная, песчаная, шлаковая раковины, залитый шлак, графитовая, усадочная, газовая пористости, рыхлота, непровар жеребеек, вскип, утяжина);
- включения (металлическое и неметаллическое, королек);
- несоответствие по структуре (отбел, половинчатость, ликвация, флокен).

В литейных цехах с различным уровнем производства брак отливок колеблется от 1 до 10%,

а для сложных отливок иногда может достигать 50–70%.

Величина допусков на размеры отливок зависит от технологии последующей обработки и тесно связана с комплексом требований к готовому изделию. Допуски на размеры и массу отливок в интервале изменения номинальных размеров от 4 до 10 000 мм регламентированы ГОСТ 26645-85, который устанавливает 16 классов точности (с 1 по 16) и шесть промежуточных классов с индексом Т (3Т, 5Т, 7Т, 9Т, 11Т и 13Т). Для механически обработанных деталей установлено 19 квалитетов точности, обозначаемых буквами IT с индексом 01; 0; 1; 2; ...; 17 (например, IT11).

Класс точности отливки и допуски на размеры зависят от ее сложности. Для отливок из алюминиевых и магниевых сплавов предусмотрены шесть групп сложности, каждая из которых характеризуется совокупностью значений семи параметров, приведенных в таблице. Отливки относят к той или иной группе сложности по наибольшему (не менее 4) числу указанных в таблице параметров.

#### Параметры отливок из алюминиевых и магниевых сплавов различных групп сложности

| Параметр отливки                        | Группа сложности |          |          |         |                   |         |
|---|------------------|----------|----------|---------|-------------------|---------|
|   | 1                | 2        | 3        | 4       | 5                 | 6       |
| Масса без литников и прибылей, кг       | 30               | 15       | 8        | 30      | 15                | 8       |
| Габаритные размеры, мм                  | 400–1600         | 400–1000 | 250–1000 | 100–400 | 100–250           | До 100  |
| Толщина стенки, мм                      | 4,5–7,0          | 4,5–6,0  | 4–6      | 1,5–5,0 | Не ограничивается |         |
| Число размеров, определяющих отливку    | До 200           | 150–200  | 100–150  | До 100  |                   |         |
| Класс точности размеров (ГОСТ 26645-85) | 6–13 Т           | 5–13 Т   |          | 3–13 Т  |                   |         |
| Число стержней, шт.                     | До 15            | До 10    | До 10    | До 8    | До 5              | Нет     |
| Категория ответственности               | I                | I        | I, II    | I, II   | II, III           | II, III |

Чугунные и стальные отливки разделяются на пять групп сложности (прейскурант №25-01 от 16 марта 1990 г.).

К первой группе относятся отливки простой формы (плоские, круглые или полусферические). Их наружные и внутренние поверхности должны быть гладкими. На наружных поверхностях возможно наличие невысоких ребер, бобышек, выступов и углублений. Отливки выполняются без стержней или с применением простых стержней.

Ко второй группе относятся отливки в виде сочленения простых тел. Наружные поверхности этих отливок плоские и криволинейные с наличием ребер, буртов, бобышек, кронштейнов и фланцев с отверстиями и углублениями простой формы. Отдельные части отливок выполняются стержнями. Их внутренние полости имеют простую конфигурацию.

К третьей группе относятся отливки открытой коробчатой, полусферической, цилиндрической и другой формы. Наружные поверхности отливок

криволинейные и плоские с наличием нависающих частей, ребер, кронштейнов, бобышек, фланцев с отверстиями и углублениями сложной конфигурации. Их внутренние полости большой протяженности расположены в одном или двух ярусах со свободными широкими выходами полостей.

К четвертой группе относятся отливки закрытой или частично открытой формы. Наружные поверхности этих отливок криволинейные и плоские с кронштейнами, фланцами, патрубками. Многие части поверхности выполняются стержнями. Внутренние части имеют сложную конфигурацию.

К пятой группе относятся отливки закрытой коробчатой формы. Значительная часть их поверхностей выполняется стержнями.

Анализ приведенных выше данных свидетельствует о том, что существующие в настоящее время нормативные документы определяют прежде требования к качеству и потребительским (служебным) свойствам отливок, но никак не

регламентируют технологическую сложность их получения и не обеспечивают объективный подход к данному аспекту. Косвенно преискуронт №25-01 от 16 марта 1990 г. содержит некоторые элементы субъективной оценки сложности литья, но лишь с позиции стоимости его производства.

Для инженеров-технологов важно иметь объективные критерии оценки технологической сложности получения отливок с целью выбора оптимальных технологических решений при производстве, выбора применяемых материалов, оборудования и т.п.

Если рассматривать отливку как объект производства, то она обладает рядом объективных параметров, которые могут быть измерены, подсчитаны и т.д. Желательно при анализе технологической сложности отливки оперировать именно этими данными с целью получения объективной оценки.

Так, все отливки обладают массой без литников и прибылей ( $M$ ), габаритными размерами пространства ( $a, b, c$ ), в которое отливка вписывается, плотностью материала отливки ( $\rho$ ), стенками наименьшей и наибольшей толщины ( $s_{\min}, s_{\max}$ ), внутренними полостями, для оформления которых необходимо использовать несколько ( $N$ ) стержней.

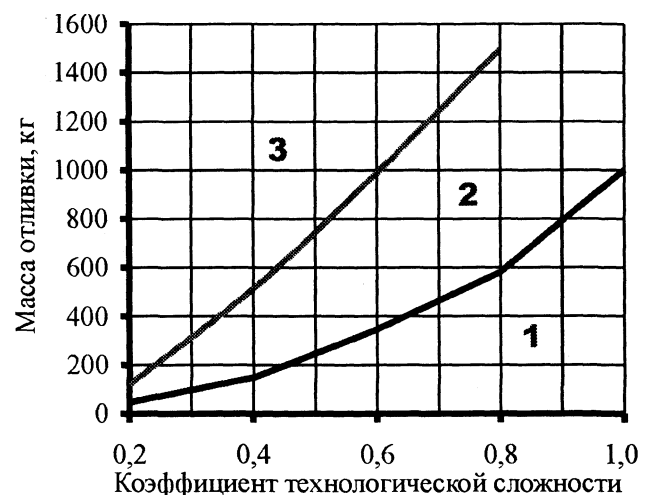
Для оценки отливки с точки зрения изготовления ее предлагается расчетный коэффициент технологической сложности отливки ( $K_{\text{сл}}$ ), формула для расчета которого включает в себя все основные характеристики отливки, определяющие трудность или простоту ее изготовления:

$$K_{\text{сл}} = \frac{M}{(abc)\rho} \frac{s_{\min}}{s_{\max}} \frac{1}{1+N}$$

Анализ формулы показывает, что при изготовлении простых отливок габаритные размеры отливки совпадают с габаритными размерами пространства ( $a, b, c$ ), в которое отливка вписывается, равномерные стенки ( $s_{\min}=s_{\max}$ ), стержни не используются ( $N=0$ ), коэффициент технологической сложности отливки ( $K_{\text{сл}}$ ) будет равен 1 (отливка типа "кирпич").

По мере усложнения отливки  $K_{\text{сл}}$  уменьшается и стремится к 0 в случае наиболее сложных в технологическом отношении отливок.

После анализа широкой гаммы типовых отливок, реально производимых на предприятиях, было признано целесообразным предложить градацию технологической сложности для чугунных отливок, приведенную на рисунке.



Градация технологической сложности для чугунных отливок: 1 – зона простых отливок; 2 – зона отливок средней сложности; 3 – зона особо сложных отливок