

---

## ЧТО ТАКОЕ ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

### ◆ Сущность литейного производства

При всем разнообразии приемов литья, сложившихся за многовековой период развития этого технологического процесса, суть его практически не изменилась. Да и не могла измениться, как не может измениться температура плавления железа. Чтобы получить отливку, металл, во-первых, нужно расплавить, сделать жидким, текучим. Жидкость, как известно, стремится принять форму сосуда, в который налита. Поэтому, во-вторых, покуда металл жидкий, его нужно за-

лить («литьё» же!) в ту форму, которая нам нужна, и в ней остудить. Вот и всё. Почти. Вообще-то к литейному производству относят и следующий технологический этап, необходимый во многих случаях — температурную обработку отливок (закалку, отжиг).

Далее эти три принципиальных этапа могут подразделяться на множество различных процессов, в зависимости от технологии литья. Суть от этого не изменится. Схема раз и навсегда такова: твердое тело — (плавка) — жидкость — (формовка) — твердое тело — (термообработка) — твердое тело с другими свойствами, в свя-

зи с изменением внутренней структуры. Это и считается испокон литейным производством.

То, что получается после затвердевания металла в форме — называется *отливка*. Отливку нужно очистить — и вот она, заготовка для дальнейшей механической обработки или уже готовая деталь. Отливки широко применяют в машиностроении, строительстве и других отраслях.

### ◆ Как расплавить?

Чтобы расплавить металл, нужно нагреть его до определенной температуры выше температуры плавления. Для

чугуна это около 1200° С (зависит от хим. состава). Учитывая, что в процессе литья металл должен застыть уже в формах, а не в разливочном ковше, его (металл, а не ковш) следует «перегреть». Кроме того, в *шихте* могут быть компоненты с более высокой температурой плавления. С другой стороны, чем выше температура, тем больше нужно энергии, тем дороже плавка. И еще, при слишком высокой температуре заливки формы хуже заполняются, случаются другие неприятности, например, происходит обильное газовыделение, пригорает формовочная смесь. Наконец, от температуры расплава зависят характеристики процесса остывания, кристаллизации, которые и определяют свойства полученных отливок. Поэтому выбор «правильной» температуры — это непростой вопрос, который нужно решать отдельно для каждого материала, для каждой технологии формовки, и даже иной раз в зависимости от формы и размера отливок. Точно проконтролировать температурный режим плавки можно не в любой технологии. Реальные температуры расплава чугуна для заливки — порядка 1400° С. (Для сравнения, характерные доменные температуры — 1500—1700° С.)

Энергию металлу должен передать энергоноситель — или углеводородное сырье, или электроэнергия. Соответственно, и печи бывают принципиально двух типов.

«Классическая» плавильная технология — это вагранка, вертикальная шахта-печь. Она, как правило, работает на коксе, хотя в последнее время получили распространение коксогозовые и газовые вагранки. Для интенсификации процесса плавки может применяться *горячее* (400—500° С) дутье воздухом, обогащенным кислородом. Но чаще встречаются вагранки «на холодном дутье».

Производительность вагранки в зависимости от ее размеров составляет от 1 до 30 т/ч, максимально достижимая температура — 1400—1420° С. Производительность печи считается по весу жидкого металла. Вес отливок меньше, поскольку часть металла уходит в систему *литников* (это такие каналы в форме, по которым течет металл, ее заполняя) и *прибылей* (это не только разница между доходами и расходами, но и «излишки» литейной формы, нужные для ее правильного заполнения). Литники и прибыли потом отделяют и возвращают в шихту. *Металлозавалка* вагранки включает в себя чугунные чушки, лом (он нужен и для «продувки» завалки — чтобы воздух поступал, и для

регулирования содержания углерода), возвратные отходы (включая отбракованные отливки) и ферросплавы (модификаторы) для создания необходимого химсостава. В печь грузятся также кокс и флюсы (напр., известняк).

Плюсы вагранки — относительная дешевизна литья, высокая производительность. Главный же минус, наверное, в том, что многие параметры расплава: химический состав, температуру, — в «классической» вагранке технологически трудно отрегулировать. Если в комплектации шихты допущены ошибки — исправлять их долго и дорого. В результате слишком многое зависит от опыта и компетенции (даже можно сказать — интуиции) нескольких мастеров литейного цеха и взаимодействия между ними. (Температуру расплава, например, можно «на глазок» определять по его цвету — т.н. цвету каления). С управленческой точки зрения при массовом производстве это серьезная проблема.

Для плавки чугуна используются также электрические печи: дуговые и индукционные. В первых металл греется электрической дугой между шихтой и электродом (прямого действия), во вторых — электромагнитным полем (некий их аналог кое-кто может изучить, пройдя на кухню... правда, частоты разные!). Электропечи, особенно индукционные, позволяют обеспечить равномерный нагрев всей массы металла. В электропечах можно избежать вредного воздействия газов, производить плавки в благоприятной среде. И, главное, можно обеспечить точный температурный режим плавки, причем температура не ограничена 1400°С. Поэтому качество металла, который можно получить с помощью электропечи, конечно, значительно выше. Однако, металл выходит дороже (см. Табл. 1). Что же касается производительности электропечей — она весьма разнообразна, но в целом ниже, чем у вагранок. Впрочем, на «АвтоВАЗе» недавно введена в эксплуатацию индукционная печь по выплавке чугуна производительностью 16 тонн в час. Много ли в природе подобных вагранок?

На некоторых заводах вагранку «дополняет» электропечь (дуплекс-процесс), где и осуществляются догрев и «тонкая настройка» важных параметров расплава (а базовый нагрев ведется в вагранке, что экономичнее). Для многих производств это, видимо, самый оптимальный вариант технологии плавки.

<sup>1</sup> В инструкции СВЧ-печи четко сказано: не надо помещать туда металлические предметы!

Табл. 1. Оценка относительной стоимости чугунных отливок

Тип плавильного агрегата	Относительная стоимость 1 т чугуна
Газовая вагранка	1,0
Коксовая вагранка	1,3—1,5
Дуговая печь переменного тока	2,0
Дуговая печь постоянного тока	1,8
Индукционная печь	2,0

Еще несколько важных терминов в режиме «толкового словаря».

Для *футеровки* внутренней поверхности печей чаще всего используют *шамот* — материал, включающий в себя глинозем Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с температурой плавления более 2000° С. Огнеупорный слой вагранки обновляют после каждой плавки — выкладывают шамотным кирпичом. Чем выше температура — тем, в целом, выше износ огнеупоров. Однако, затраты на огнеупорные материалы составляют очень малую долю в себестоимости литья.

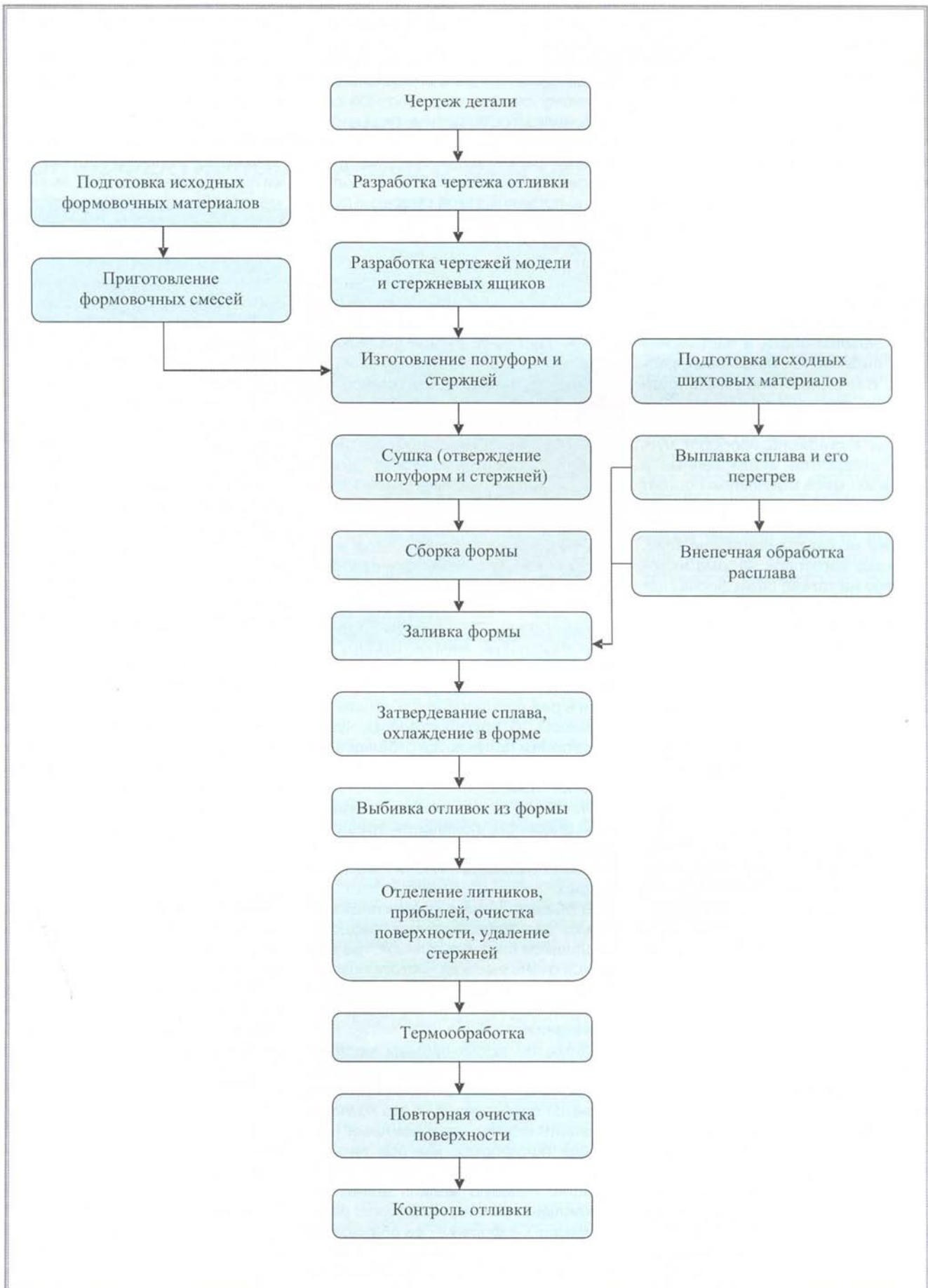
Важным параметром печей является *угар*. Это когда часть денег, затраченных на покупку металлического сырья, в прямом смысле «вылетает в трубу». В вагранках потери на угар могут составлять 5—7% металла — это в первую очередь зависит от формы (толщины) шихтовых материалов. Например, стружку применять не стоит — она «угорит» почти вся. В электропечах угар значительно меньше.

*Шлак* — это «накись», «пенка» на металле, состоящая из оксидов примесей. Его нужно убирать — иначе огромная отбраковка отливок обеспечена.

#### ◆ Литье в землю

Чтобы придать жидкому металлу нужную форму, используют различные технологии. Самая распространенная (по некоторым оценкам, до 80% веса отливок) — литье в землю. Раньше заливали металл в сделанные углубления просто в грунте, в почве — отсюда и название. Сегодня *землей* называют специальные формовочные смеси, а формовка несколько более технологична. Но суть технологии та же: сначала сделать модель, затем выдавить ею углубление в земле, а потом залить в него металл. Для крупных отливок форму делают прямо в полу литейного цеха по шаблонам, для мелких — в формовочных ящиках — *опоках* по моделям.

Литье в землю считается самой простой технологией, оно состоит из... короче, вот простенькая схема.



Идея, наверное, почерпнута у детей, во все времена любивших строить замки из песка (пока папа охотился на мамонта): делать формы так, чтобы после температурного удара горячим металлом они легко рассыпались — как подсохший песок.

**Модели** (деревянные, пластиковые, железные) изготавливают в инструментальных цехах заводов, повторяя форму отливок. «Облепленные» утрамбованной «землей» — формовочной смесью, они создают в опоке полость — одноразовую форму. **Стержни** же нужны для изготовления отливок с отверстиями. Они тоже лепятся из «земли», правда, немного другого состава, а после заливки опоки и застывания металла выбиваются из отливки, рассыпаясь. В модели нужно учесть усадку металла при кристаллизации. Поэтому ее делают по размеру чуть больше детали, а стержень, наоборот, чуть меньше отверстия. Формовочные и стержневые смеси в основном состоят из кварцевого песка определенной зернистости и жароупорности.

В опоке может отливаться не одна, а несколько заготовок. Форма включает в себя не только сами формы деталей, но и систему литников, прибылей, отверстий для вывода газов, образующихся при кристаллизации.

Литье в землю — это еще и тяжелейшие условия труда: на плавке и заливке, на формовке (даже машинной, не говоря уж о ручной), и особенно на выбивке и обрубке отливок. При всем при этом точность и чистота поверхности невысоки, да и дешевизна весьма относительна, она связана с неадекватно низкой, как правило, зарплатой рабочих. Худо и с экологией, что ныне становится все более важным обстоятельством. Видимо, литье в землю, во всяком случае для массового производства мелких отливок, — это уже вчерашний день. Которым, правда, многие до сих пор живут.

### ◆ **Специальные виды литья**

Специальные способы литья позволяют получать отливки более точных размеров с хорошим качеством поверхности, уменьшить потери от брака; значительно снизить или исключить расход формовочных материалов, а также сократить производственные площади, улучшить санитарно-гигиенические условия и повысить производительность труда. В пересчете на вес отливка, как правило, получится дороже, но во многих случаях это компенсируется высоким качеством. Очень важно, что большинство операций при спе-

циальных способах литья легко поддается механизации и автоматизации.

**Литье в разовые оболочковые формы** по сути схоже с литьем в землю, но здесь не нужны опоки, благодаря иному составу формовочной смеси. К мелкому кварцевому (или иному) песку добавляется фенольная термоактивная смола, твердеющая при температурах порядка 200° С. Модель нужно посыпать такой смесью и подогреть, затем вынуть из полученной полуформы-обложки.

Эта технология позволяет получить более точную поверхность, чем при литье в «классическую» землю, состоящую, грубо говоря, из песка и глины. Многие операции легко механизуются и автоматизируются.

**Литье в кокиль** имеет смысл при достаточно большой серийности, поскольку кокиль довольно дорог. Кокиль — это многоразовая металлическая форма, в которой можно изготовить несколько тысяч отливок (износ сильно зависит от материала кокиля и отливки).

Основная особенность литья в кокиль происходит от высокой теплопроводности металлической формы (в десятки раз большей, нежели «земля»). С одной стороны, это создает мелкозернистую микроструктуру отливок (потому что при кристаллизации сразу много ее центров включаются в сей процесс), что повышает их прочность. С другой стороны, чугунные отливки получаются отбеленными (графит не успевает выделиться), и требуют отжига.

Из-за того, что кокиль твердый, есть опасность появления трещин в отливках, сложные тонкостенные заготовки отливать таким методом опасно.

В общем, литье в кокиль подходит только для массового производства не слишком сложных отливок, где требуется очень высокая чистота поверхности. К счастью, технологический процесс кокильного литья можно легко механизировать.

**Литье по выплавляемым моделям** отличается тем, что модель из разовой формы не вынимается, поскольку тоже является одноразовой. А это позволяет делать формы неразъемными (т.е., не две полуформы, как при литье в землю), причем более сложной конфигурации. Разовую модель делают из легкоплавкого материала (воск, парафин, и т.п.), а форму — ее облицовкой слоями песка и связующих веществ. Получается нечто вроде тонкостенной керамики. Потом модель вытапливают

горячим воздухом или горячей водой. Потом заливают металл, а когда он застывает — форму разрушают.

Точность размеров и чистота поверхности отливок, сделанных по выплавляемым моделям, таковы, что позволяют сильно сократить объем механической обработки или даже вовсе отказаться от нее. И хотя сами отливки получаются дорогими, экономия на мехобработке может это компенсировать. Таким образом, показания к применению данной технологии таковы: сложная конфигурация, твердый сплав — т.е., те случаи, когда мехобработка затруднительна и затратна.

Развитием идеи «одноразовости» модели можно считать **литье по выжигаемым моделям**. Здесь модель делается не из парафина, а из пенополистирола, который почти в 100 раз легче воды, легко режется горячей проволокой и легко склеивается. Технология выжигания похожа на выплавление, за исключением того, что выжигается модель самым расплавленным металлом. Пожалуй, данный способ литья имеет наименьшие ограничения по конфигурации отливок, он легко автоматизируется. Эта технология считается сегодня одной из наиболее перспективных.

Сущность **центробежного литья** ясна из названия способа: металл заливают во вращающуюся форму. Таким образом делают трубы, а вообще он может применяться для деталей, имеющих форму тела вращения с отверстием вдоль оси. Поскольку металл, прижатый к форме центробежной силой, оказывается под давлением, более легкие газы и шлак вытесняются из него на поверхность, к оси вращения. Отливка получается плотной, мелкозернистой. Кроме того, можно делать биметаллические отливки, заливая в форму сначала один металл, затем другой. Остается только пожалеть, что не все детали и заготовки имеют форму полого тела вращения.

Впрочем, существует и технология **литья под давлением** для изготовления заготовок иной, не округлой формы. Но при литье чугуна она не используется.

### ◆ **Заключение**

В научных статьях положено делать какое-нибудь глубокомысленное заключение. Но у нас статья не научная, а обзорная, поэтому в заключении мы предлагаем читателю самостоятельно изучить один важный вопрос, оставшийся за пределами нашего обзора. Вот он: с помощью какой литейной технологии изготавливают свои изделия г-н З. Церетели?