

# Литье металлов по выжигаемым формам из пластика REC Cast

Использование выплавляемых моделей – достаточно популярный способ литейного производства. Метод отличается сложностью технологического процесса и высокими трудозатратами на подготовительные процессы. Поэтому он используется там, где необходимо точно соблюсти размеры и обеспечить высокое качество поверхности деталей. Так отливают турбинные лопатки и высокопроизводительный инструмент, зубные протезы и украшения, а также скульптуры сложной конфигурации. Сущность литья по выплавляемым моделям состоит в том, что форма для отливки является неразъемной, модель из легкоплавких материалов в ходе формовки не извлекается, а выплавляется. Это обеспечивает тщательность соблюдения размеров и рельефа. В оставшуюся от модели полость и заливается металл. По завершении остывания форма разрушается и изделие извлекается. При отливке больших серий себестоимость изделия снижается.

## Преимущества метода

Главный плюс литья по выплавляемым моделям — тщательность передачи формы и низкая шероховатость поверхности. Кроме того, в наличии другие достоинства:

- Доступно производство деталей из сплавов, слабо подверженных механической обработке.
- Снижается необходимость в дальнейшей механической обработке.
- Отливаются изделия, которые иными методами пришлось бы изготавливать частями и собирать воедино.
- При крупных сериях достигается снижение удельной трудоемкости (в расчете на одно изделие) и его себестоимости.
- Возможность механизации и частичной автоматизации подготовительных операций самого литья.

Эти достоинства выдвигают метод в число наиболее популярных и применяемых в современной металлургии, особенно в сочетании с современными прогрессивными методами заливки.

## Плюсы отлитых деталей

Достоинством метода производства изделий по моделям является возможность использовать экономически выгодную неразрушающую технологию для изготовления номенклатуры единичной, серийной или массовой продукции с высокими требованиями по точности размеров и чистоте отделки. Выплавляемые

легкоплавкие модели для деталей мелкой формы, сложной конфигурации и крупных изделий **изготавливаются из органических материалов:**

1. парафина;
2. церезина;
3. стеарина;
4. торфяного битума;
5. полистирола;
6. канифоли;
7. буроугольного воска;
8. полиэтилена;
9. озокерита и пр.

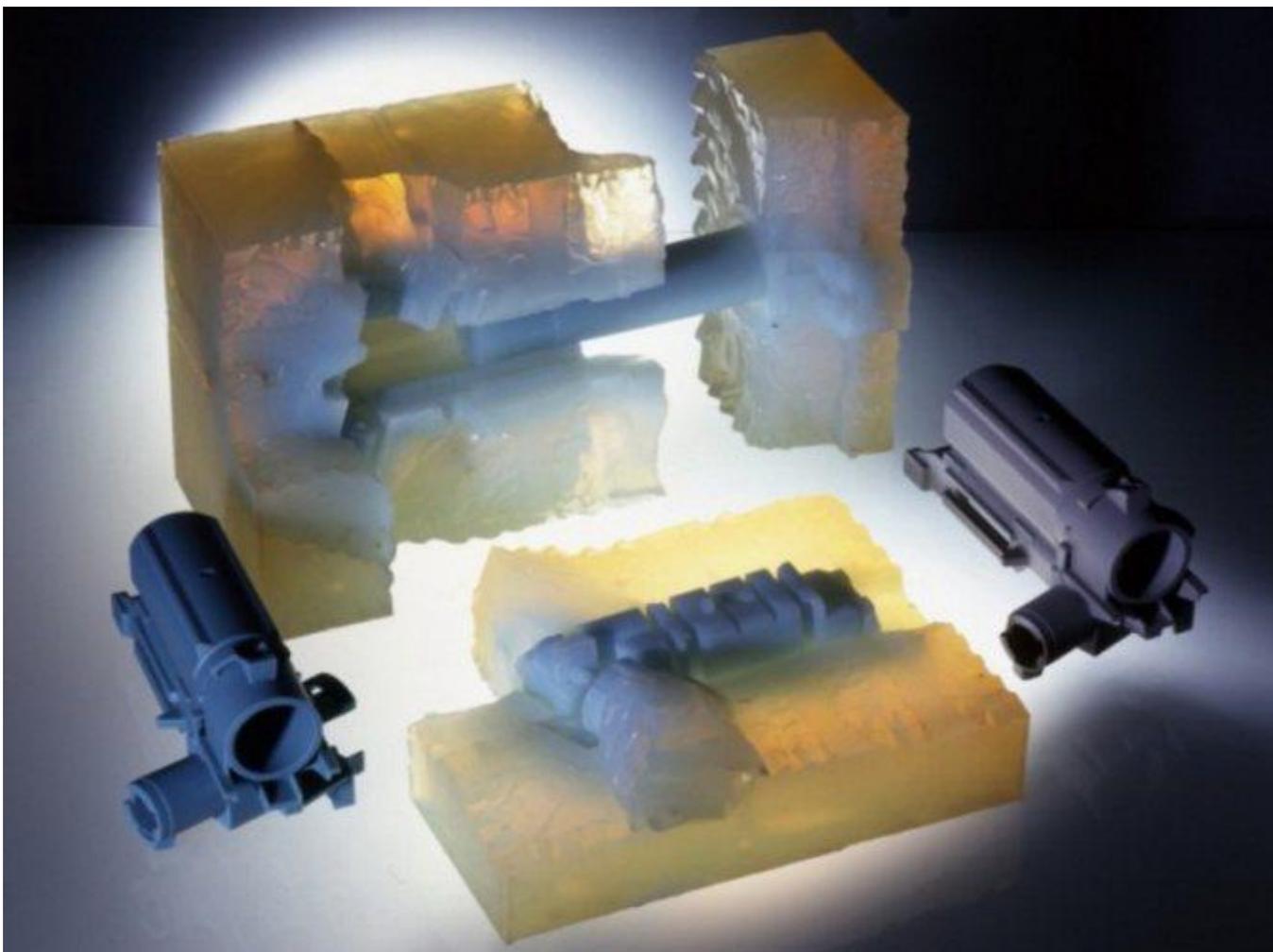
При выборе модельного состава учитывается комплекс физических свойств материала. **Выплавляемые модели должны соответствовать следующим требованиям:**

1. плавкостью при температуре от 600 С до 1000 С;
2. минимальной усадкой и расширением;
3. хорошей текучестью;
4. механической прочностью;
5. минимальным показателем зольности и прилипания к предметам и рукам;
6. химической инертностью;
7. экологической безопасностью;
8. возможностью повторного использования;
9. хорошей адгезией с облицовочной жидкостью;
10. возможностью механизации и автоматизации процесса;
11. экономным расходом металла.

Технологический процесс по выплавляемым моделям позволяет изготавливать детали из легированной и углеродистой стали, цветного сплава или чугуна. Способом литья металла в оснастку изготавливается кокиль, штамп, пресс-форма, стержневая или формовочная оснастка, детали автомобилей и стрелкового оружия. Получение отливок в разъемной керамической форме (шликере) **производится в несколько этапов:**

1. заливка в опоку суспензии;
2. отверждение формы;

3. извлечение полученной модели из полусферы;
4. термическое прокаливание полуформы;
5. сборка и заливка полуформ расплавленным металлом.

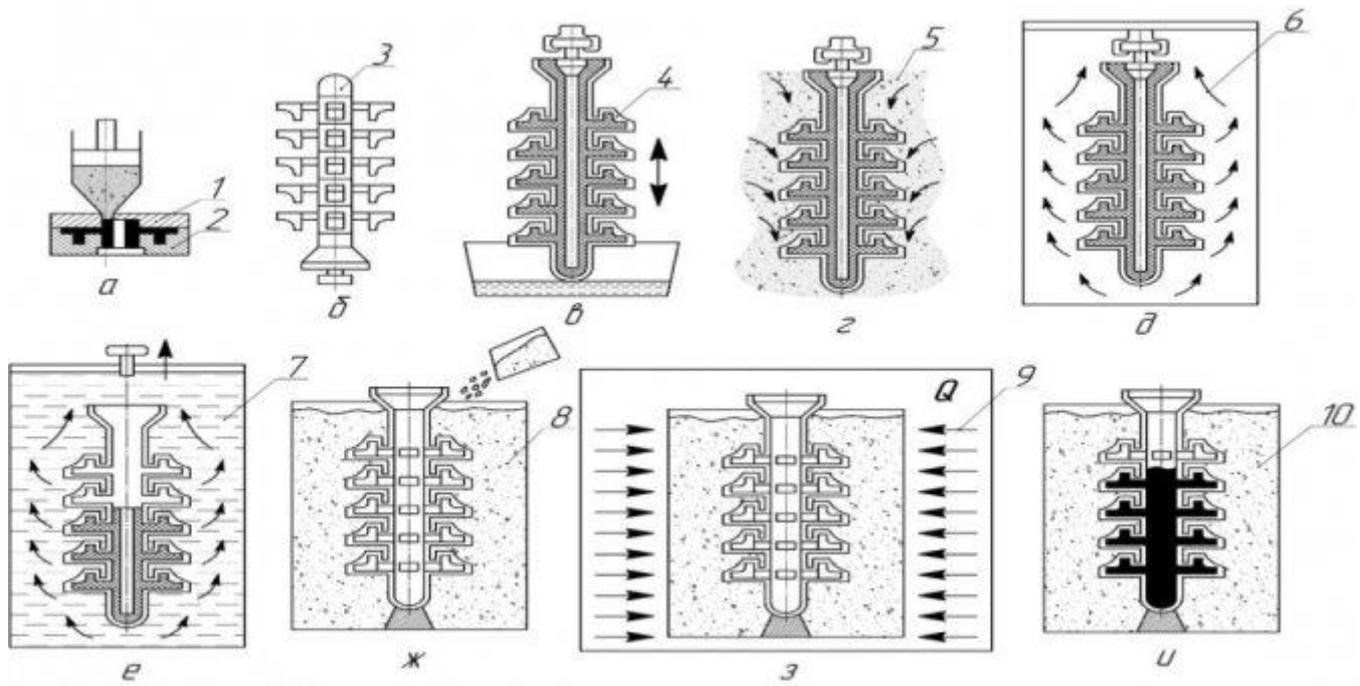


## Недостатки литья по выплавляемым моделям

Несомненные преимущества способа, казалось бы, должны были обеспечить его доминирование среди других способов. Однако, несмотря на популярность метода литья по выплавляемым моделям, недостатки сдерживают его широкое распространение. Основной недостаток заключается в сложности многоэтапного технологического процесса. Он требует достаточно сложного и дорогостоящего технологического оборудования для подготовительных этапов. Для несложных изделий, выпускаемых небольшими сериями, данный метод имеет более высокую себестоимость.

Для экономически эффективного применения литья по выплавляемым моделям преимущества и недостатки метода сопоставляются, решение о его выборе принимается на основе оценки соотношения цена/качество. Поэтому и применяется он в основном для самых ответственных и дорогостоящих изделий, которые затруднительно получить другим способом, например турбинных лопаток, скульптур, высокоскоростных инструментов и т. п. Еще одна область применения

— крупносерийные отливки, на которых эффект масштаба позволяет добиться значительного снижения себестоимости.



T, °C  
1600

1539 A

1500

1400

1300

1250

1200

1100

1000

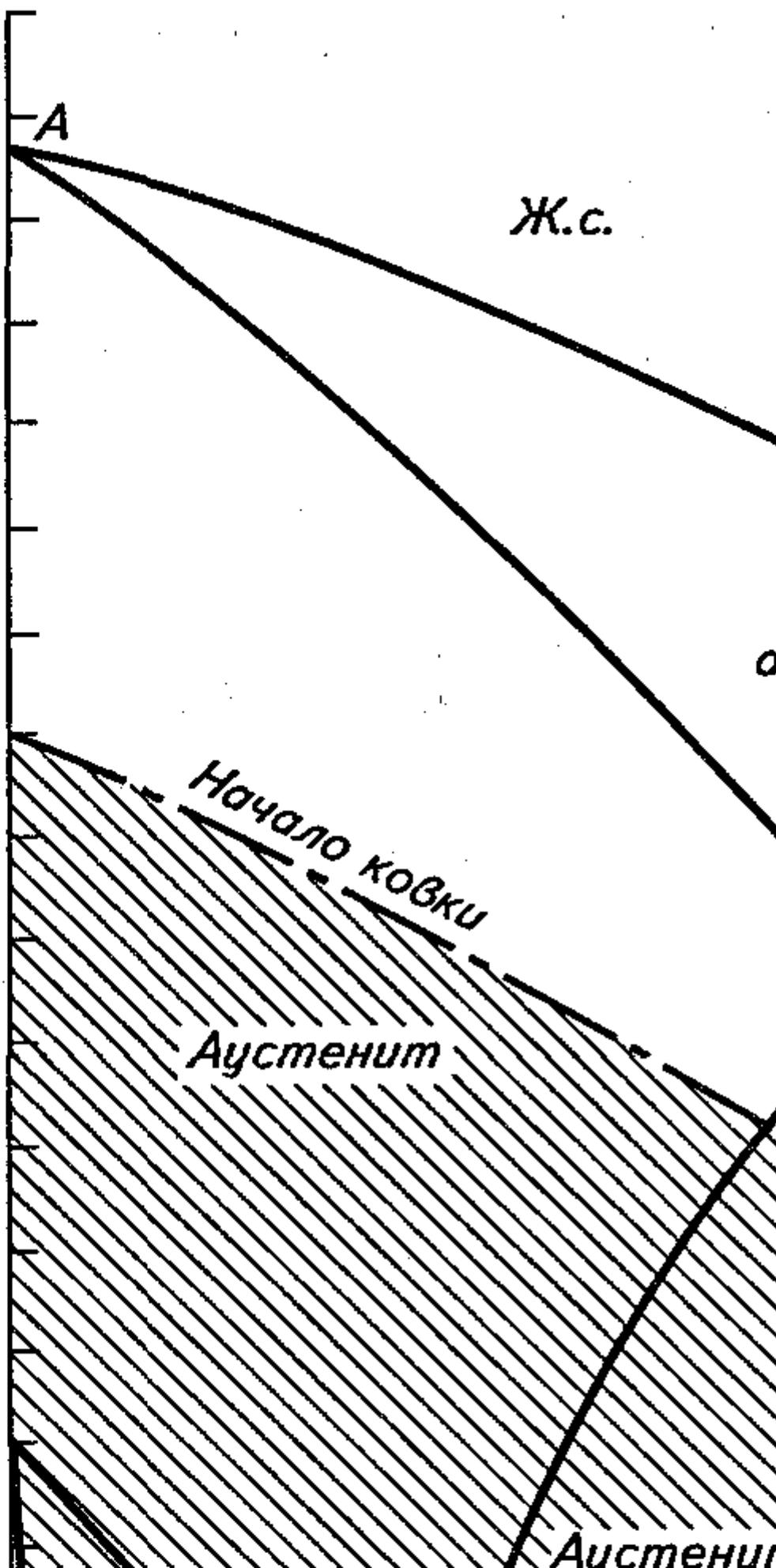
G  
900

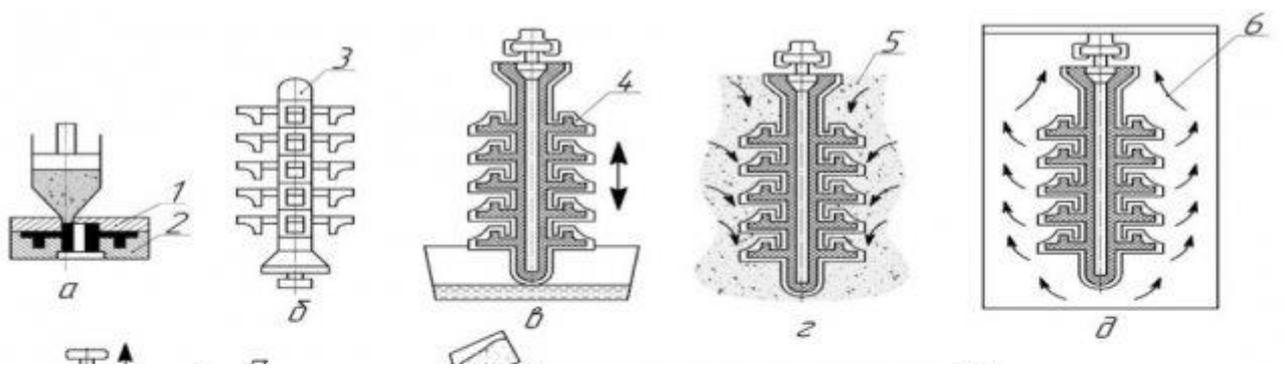
Ж.с.

Начало ковки

Аустенит

Аустенит

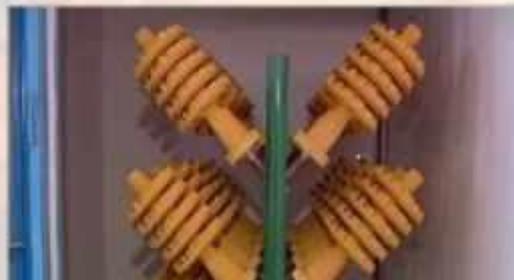




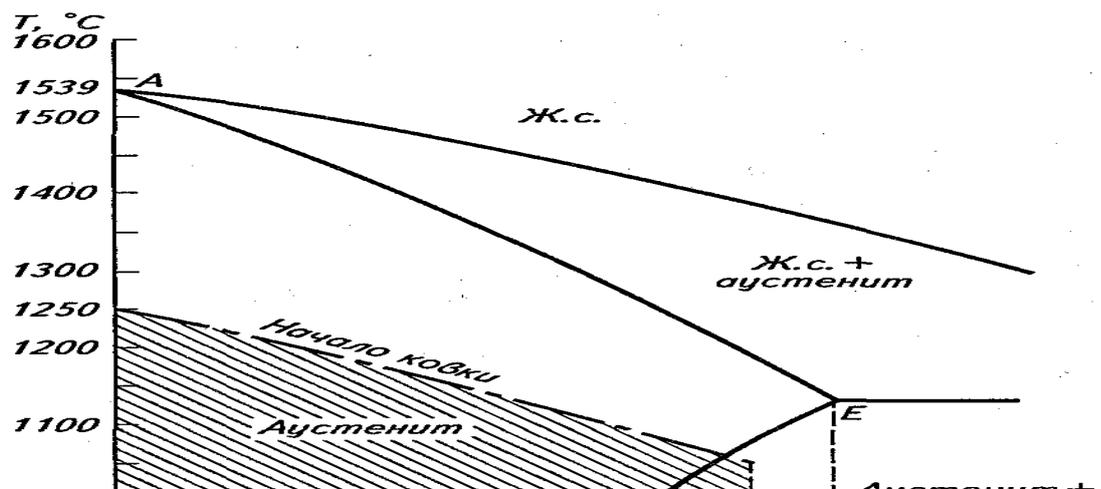




# ЛИТЬЁ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕ



Методом литья по выплавляемым моделям можно изготавливать отливки весом от нескольких граммов до десятков килограммов с очень высокой точностью



## Оборудование для литья

При выполнении работ, связанных с литьем по выплавляемым моделям, нужны знания и специальное оборудование. Это оригинальные и компактные системы, необходимые для качественного заполнения литейной формы с оптимальной скоростью и получения металла необходимой плотности. Их работа исключит образование пустот и неметаллических включений, что значительно повысит качество и эксплуатационные характеристики будущих изделий.

Каждая литая деталь – это оригинальная конструкция, требующая наличия самостоятельной литниково-питающей системы (ЛПС) для отдельной отливки. Вместе с этим они имеют много общего – размеры стенок, узлов, соединений. Это дает возможность для использования типичных конструкций ЛПС и формирования стандартных методов расчета.

В процессе производства используются автоматы для приготовления модельного состава и изготовления элементов. Это агрегаты для приготовления смесей, линии для охлаждения пресс-форм, установки для приготовления покрытия, бойлерклавы для удаления составов, оборудование для обжига керамических форм, гидравлические молоты и т.д.

## Технология

Технология литья по выплавляемым моделям — это многоэтапный производственный процесс, который отличается сравнительно высокой

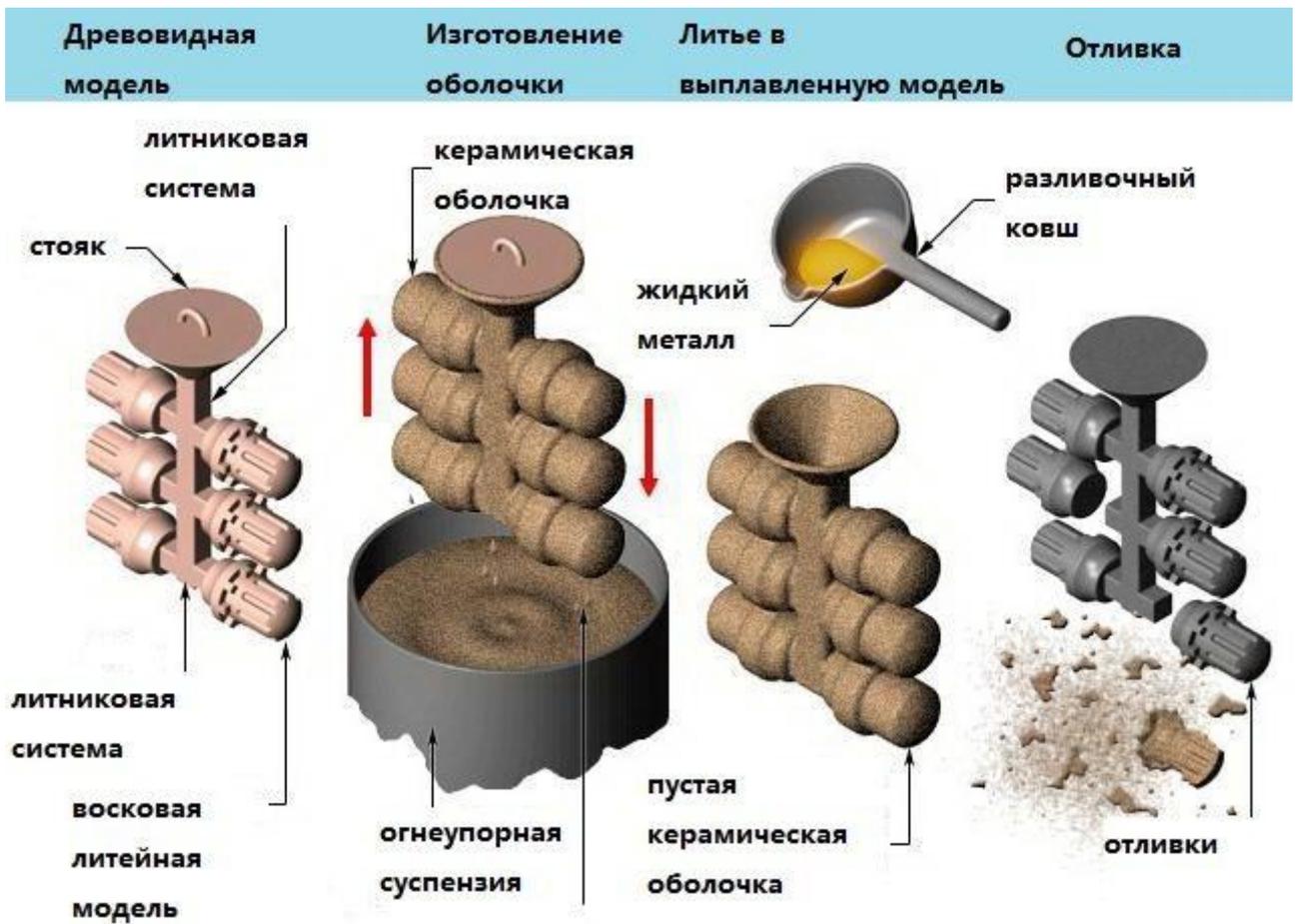
трудоемкостью. На первом этапе выполняют мастер-модель, она станет эталоном для изготовления рабочих моделей и после прохождения всех этапов конечного изделия. Для производства мастер-модели используют как специальные модельные составы, так и традиционные — гипс или дерево. Материал мастер-модели должен сочетать в себе прочность и легкость обработки.

Далее технология литья по выплавляемым моделям предусматривает создание пресс-формы, в которую и будут отливаться все рабочие модели. Пресс-формы изготавливают из гипса, резины, силикона, реже из металла. Конструктивно она должна обязательно быть разъемной и рассчитанной на многократное использование. Пресс-форму заполняют модельным составом, после его отверждения ее разбирают и извлекают очередную рабочую модель.

При производстве уникальных деталей или небольших тиражей этапы создания мастер-макета и пресс-формы пропускают, а макет (или несколько) делают, формируя материал вручную.

Следующий этап процесса литья по выплавляемым моделям — изготовление вокруг макета (или блока макетов) отливочной формы. Эти матрицы конструктивно уже неразборные и одноразовые, что позволяет добиться тщательности соблюдения размеров и шероховатости изделия. В современной промышленности применяются два вида форм — традиционные песчано-глиняные для литья в землю и оболочковые формы — для производства точных и дорогостоящих деталей.

После завершения формы макет из нее выплавляют путем нагрева или продувки перегретым паром. Оболочковые формы дополнительно укрепляют путем прогрева до 1000 °С.



В финальный этап процесса входит собственно заливка изделия, его охлаждение в естественных условиях либо по специальной методике в термостате, разрушение формы и очистка изделия. Способ позволяет получать высококачественные отливки весом от нескольких грамм до десятков килограмм.

## Как осуществляется процесс

При серийном производстве мелких или крупных деталей разрабатывается эскиз и чертеж изделия, выполняется макет и пресс-форма, подбирается материал из металла, гипса, огнеупорной глины. **Производственный процесс выполняется в следующей последовательности:**

1. сборка разъемной литейной формы;
2. разогретая воскообразная масса легкоплавкого вещества (парафин, стеарин, воск) заливается в отверстие формы под давлением 2,5–3 атм;
3. после охлаждения заготовки соединяются в блоки методом пайки с литниковой системой.

**Принцип литья по выплавляемым моделям** заключается в изготовлении материала на основе неразъемной формы, обеспечивающей высокую точность готового продукта. Выбранный способ литья помогает получить детали с

толщиной стенок 0,5 мм из стали тугоплавкого сплава, не поддающегося механической обработке.

Готовый продукт подвергается облицовке суспензией, в состав которой входит кварц пылевой фракции и жидкое стекло или этилсиликат.

**Облицовочная жидкость**, для приготовления которой используется этилсиликат, содержащий в составе 32 или 40%  $\text{SiO}_2$ , наносится в несколько слоев. В процессе гидролиза суспензии принимает участие этиловый спирт. Каждый последующий слой облицовки обсыпается мелким промытым песком из кварца или порошком измельченного маршалита, высушивается, после чего цикл повторяется от 5 до 11 раз. Модельный состав вытапливается паром, горячей водой или прогревом.

**Формирование формы** занимает от 2 часов до 2 суток, в конечном результате получается твердая оболочка толщиной до 3 мм, после чего пресс-форма переходит на участок выплавки модели из формы методом разогревания в термическом шкафу при температуре  $+1200\text{ C} \dots +1500\text{ C}$  или в горячей воде  $900\text{ C}$ . После удаления наполнителя форма помещается в опоку и засыпается сухим порошком из кварца, циркона, электрокорунда или магнезита.

На следующем производственном этапе подготовленная форма переносится в термическую печь для выжигания остатков легкоплавкой массы и последующей закалки при температуре  $\sim 9000\text{ C}$  в течение 4 часов. После завершения прогрева форма заполняется расплавленным металлом, оставляется до охлаждения, отливка удаляется из литниковой системы, подвергается термической обработке и финишной очистке. Хранят модели в термостате или в холодной проточной воде.

Особенностью огнеупорной суспензии является изменение физического состояния облицовочного раствора при изменении рецептуры. Если в подготовленную чистую суспензию ввести водный раствор щелочи, то запускается процесс затвердения, благодаря которому появляется возможность получения основы для изготовления разъемной керамической формы.



## Модельные составы

Материал для производства макета должен обладать определенными свойствами. Он должен иметь такие свойства, как:

- Пластичность в твердой фазе. Необходима для точного повторения формы будущего изделия и коррекции его при необходимости.
- Прочность. Модель должна выдерживать без деформаций процесс формирования формы вокруг нее.
- Легкоплавкость. Вытапливание модели не должно требовать больших затрат времени и энергии.
- Текучесть в расплавленном состоянии. Состав должен легко проникать во все углубления и детали рельефа, точно повторяя очертания будущей детали.
- Экономичность. Особо важна для производства крупных серий.

Для модельных составов используют обычно смесь стеарина и парафина. Эти материалы удачно дополняют параметры друг друга, компенсируя недостаточную температуру плавления парафина и излишнюю вязкость стеарина.

Не менее популярными в промышленности являются составы на основе буроугольного воска. Главные его свойства — это влагостойкость, прочность и возможность образовывать очень гладкие покрытия, что особенно ценно для моделирования изделий.

Используются также и составы, состоящие из смеси буроугольного воска, парафина и стеарина.

## Изготовление пресс-форм

Для производства уникальных изделий макет готовят, вырезая из куска модельного материала вручную или по шаблонам. Модели, имеющие форму тел вращения, изготавливают также на токарных станках. В последнее время получает все более широкое распространение метод 3D-печати моделей. Он подходит как для одиночных макетов, так и для небольших серий.



Стоимость современного промышленного 3D-принтера все еще высока, однако благодаря легкости перенастройки с одного изделия на другое он может стать эффективным инструментом изготовления моделей в случае большого количества разнородных заказов малых серий.

Для того чтобы изготовить большое количество одинаковых макетов, изготавливают матрицу из гипса, резины, силикона или металла. Рабочие макеты производят, в свою очередь, путем отливки в матрицу. По конструкции пресс-форма должна быть обязательно разборной, чтобы обеспечить возможность

изготовления заданного количества моделей. Выбранный материал также должен обеспечивать такую возможность, поэтому к нему предъявляются такие требования, как прочность, плотность, низкая шероховатость, химическая инертность по отношению к макету. Вещество пресс-формы должно также обладать минимальной адгезией к макету для обеспечения легкости извлечения готовых макетов и соблюдения размеров. Важное свойство пресс-формы — ее прочность и износоустойчивость, особенно при крупных сериях.

## **Изготовление моделей и блоков**

Широко распространенный способ изготовления выплавляемых моделей — отливка их под малым давлением в пресс-формы. Нагнетание жидкой смеси производится как вручную, с помощью поршневых шприцев, так и механическими, гидравлическими или пневматическими нагнетателями. В случае применения буроугольного воска требуется подогревать трубопроводы подачи состава ввиду его высокой вязкости. Макеты из вспененного полистирола изготавливают методом экструзии на автоматизированных формовочных агрегатах.

Для повышения экономической эффективности и снижения трудоемкости в случае серийного производства небольших отливок их макеты объединяют в блоки. Над блоками формируют литниковые системы, присоединяя отдельные макеты к литникам посредством ручного паяльника. В случае единичных отливок или малых серий модели изготавливают вручную.



При формировании литниковых систем необходимо обеспечить не турбулентное течение расплава, равномерное заполнение всех элементов матрицы. При

набивке формы из ПГС нужно также следить за равномерным заполнением всех проемов между литниками и недопущением их повреждения.

## Изготовление формы

В рассматриваемом способе литья по выплавляемым моделям встречается два основных вида форм:

- Песчано-глиняные смеси (ПГС).
- Оболочковые.

Формы для литья по выплавляемым моделям из ПГС применяют большей частью при производстве небольших серий изделий, не требующих очень высокой точности. Процесс их изготовления достаточно трудоемкий и требует высокой, а зачастую — уникальной квалификации модельщиков и формовщиков. Частичной механизации поддаются лишь отдельные операции, такие как приготовление и засыпка формовочной смеси, ее трамбовка.

Оболочковые формы, напротив, применяются для выпуска деталей, требующих особой точности изготовления. Процесс их изготовления более сложный и продолжительный, но лучше поддается механизации.

## Литье в землю

Это самый ранний освоенный человечеством способ обработки металлов. Он освоен нашими предками одновременно с началом применения металлических изделий в качестве оружия, инструментов или утвари, то есть около 5 тысяч лет назад. Отливают расплавленный металл в подготовленную матрицу из смеси песка и глины. Самые ранние места обработки металлов как раз возникали там, где рядом размещались залежи металлов в виде самородков и россыпей. Характерный пример — всемирно известный своим чугунным кружевным литьем Каслинский завод на Урале.



Способ литья по выплавляемым моделям применяется для изготовления металлических изделий — как черных, так и цветных. И только для металлов, проявляющих повышенную склонность к реакции в жидкой фазе (таких как титан), приходится делать матрицы из других составов.

Производственный процесс литья в ПГС состоит из следующих фаз:

- изготовление модели;
- подготовка опоки;
- засыпка и уплотнение смеси в опоке;
- отливка металла;
- извлечение и очистка отливки.

Форма из ПГС — однократного применения. Чтобы достать готовое изделие, ее придется разбить. В то же время большая часть смеси доступна для вторичного применения.

В качестве материалов для ПГС применяют составы из преимущественно кварцевых песков различной зернистости и пластичных глин, содержание которых колеблется от 3 до 45 процентов. Так, например, художественные отливки производят с использованием смеси с 10-20 % содержанием глины, для особо крупных отливок содержание глины доводят до 25 %.

Применяют два подвида:

- Облицовочные смеси. Находятся на внутренней поверхности формы и взаимодействуют с расплавленным металлом. Должны быть жаростойкими, способными не разрушаться от разницы температур и возникающих вследствие этого напряжений. У таких смесей мелкое зерно, чтобы тщательно передать детали поверхности. Весьма значима и способность смеси к газопропусканию.
- Наполнительные смеси. Применяются для засыпки между облицовочным слоем и стенками опоки. Должны противостоять весу залитого металла, сохранять форму изделия и способствовать своевременному и полному отводу газов. Производятся из более дешевых сортов песка, подлежат повторному использованию.

Если же литевые газы выходят не через массы формовочной смеси, а через литниковую систему, в отливке возникают дефекты, ведущие к браку.

Традиционная технология литья в землю детально проиллюстрирована в ленте А. Тарковского «Андрей Рублев». В новелле «Колокол» юноша Бориска, сын умершего мастера, по сюжету возглавляет литейную артель и отливает церковный колокол.

## **Литье в керамические формы**

Так, называют метод получения отливок в том числе и с крупными размерами, обладающих высокой точностью в одноразовых формах выполненных из керамики. Их изготавливают из подвижных смесей, используя для этого постоянную модель.

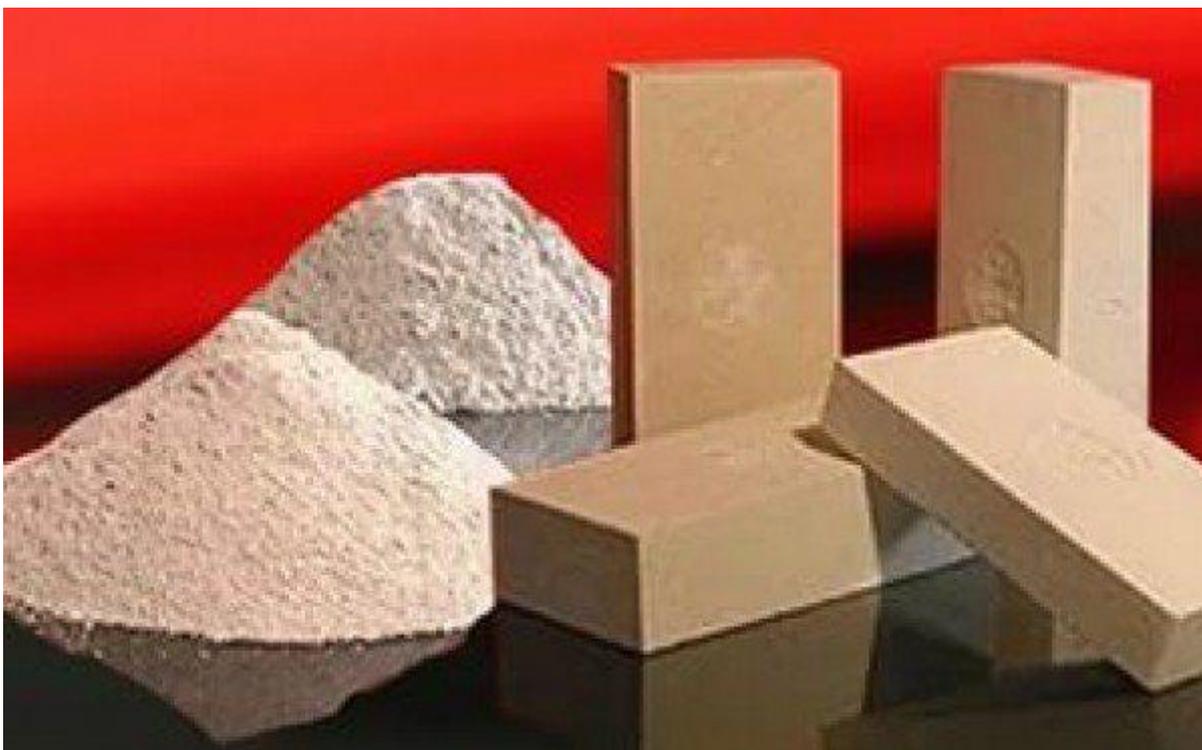
Модель после получения формы не утилизируют и ее можно использовать для получения новых форм.



### Литье в керамические формы

В состав этой смеси входят огнестойкие порошки разной фракции, и растворов этилсиликата и огеливателя. После тщательного перемешивания ее выливают в заранее подготовленную оснастку. Там она затвердевает, пройдя через эластичное состояние. После выполнения этой операции форму снимают и отправляют в печь для прокаливания. Во время этого процесса происходит сгорание спиртовых паров и в результате этого в форме происходит формирование микротрещин. Металлический расплав заливают в холодную форму, но иногда, это определяет марка расплава, ее подогревают до 900 градусов Цельсия. Такой метод применяют для получения штампового инструмента, технологической прессовой оснастки, компонентов литейных форм и пр. Существует несколько наименований литья в керамические формы – шоу-процесс, уникаст-процесс и керамкаст-процесс. Разница между первыми двумя заключается только во времени получения патента. Последний процесс, включает в себя элементы технологии первых двух. Оболочковые формы для последнего процесса производят при помощи разъемных моделей с тонкими стенами, которые выполнены из искусственного каучука.

Керамическую оболочку выполняют точно так же, как и для литья по выплавляемым моделям. При сборке формы, эластичные детали просто вытягивают, а литники или выплавляют или выжигают. Для изготовления стержней используют такой способ – в ящик для формовки стержней заливают суспензию и через некоторое время ее сливают. На поверхности ящика останется слой суспензии, засыпаемый огнеупором. Те частицы, которые не прилипли, удаляют из ящика. После чего, снова заливают суспензию и посыпают ее порошком. Эту операцию повторяют несколько раз до тех пор, пока стержень не получить необходимые размеры.



Огнеупоры

## **Литниково-питающая система при литье по выплавляемым моделям**

Плотность отливок в первую очередь зависима от способа заливки и строения литниково–питающей системы. Учитывая то, что металлический расплав подают в разогретую форму, получение отливок высокого качества сопровождается рядом сложностей.

Во время заливки формы расплав должен заполнить полости, расположенные в форме равномерно, но при этом необходимо как-то компенсировать усадку, сопровождающую затвердевание металла. Эту задачу решают путем использования системы литников и прибылей, формируемых при изготовлении модели. Практика литейного дела представило множество знаний о системах подобного типа.

Все дело в том, что принципы, заложенные в технологию литья в песчаные формы во многом сходны с принципами литья по выплавляемым моделям.

Хранилище жидкого металла называют прибылью. Ее размещают так, чтобы была возможность компенсации объема металла, расходуемого на усадку. Прибыль должна быть размещена таким образом, чтобы металл оставался в жидком состоянии дольше, чем в рабочей части формы. То есть, прибыль служит для подпитки отливки во время ее затвердевания.



Миксер для временного хранения жидкого металла

Прибыль выполняют из тех же материалов, которые применяют для изготовления формы и поэтому она охлаждается так же как и другие части системы. Для обеспечения более позднего остывания прибыли изготовление моделей выполняют таким образом, чтобы, она остывала несколько медленнее. Для замедления процесса остывания иногда применяют материалы с меньшей теплопроводностью.

## **Литье в оболочковые формы**

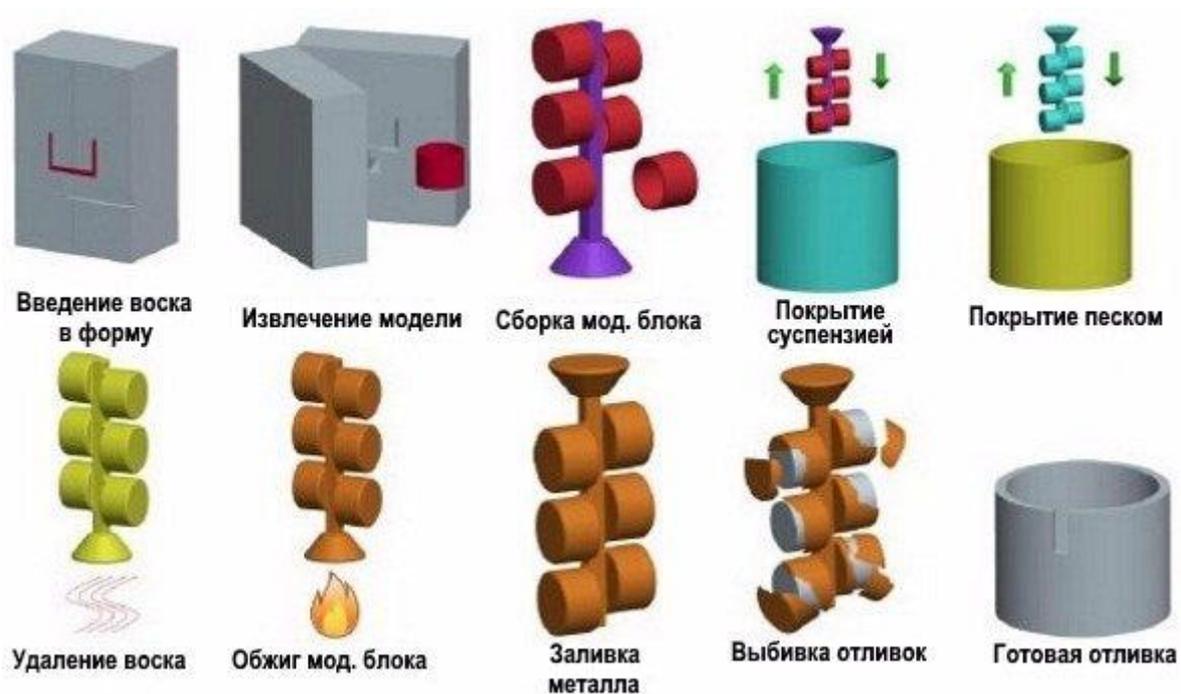
Способ литья в оболочковых формах по выплавляемым моделям характеризуется наилучшей передачей размеров изделия и низкой шероховатостью поверхности. Модель делается из легкоплавких составов, например буроугольного воска. На литейных предприятиях также широко применяют состав парафин-стеарин в равных долях. В случае отливок больших размеров в модельный материал включают соли, предохраняющие макет от деформаций. Способом погружения в раствор модель покрывают в 6-10 слоев высокотемпературной суспензией.



Связующим выступают гидролизованные силикаты, в качестве жаростойкой обсыпки берут кристаллики электрокорунда или кварца. Материалы для производства оболочковых форм отличаются высокой прочностью, низкой гигроскопичностью и отличной газопроницаемостью.

Макет сушат в атмосфере газообразного аммиака. На следующем этапе форму прогревают до  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ , чтобы удалить парафиновую модель. Остатки смеси удаляют перегретым паром под большим давлением. Далее форму прокаливают при температуре до  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что ведет к ее окончательному закреплению и удалению веществ, могущих выделиться в виде газов в процессе отливки.

Оболочку помещают в подобие опоки, которую засыпают стальной дробью. Это помогает сохранить конфигурацию при заполнении формы расплавом и одновременно улучшает условия охлаждения отливки. Заливка расплава происходит в разогретые до  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  формы. После охлаждения изделия по специальной программе в термостате форму разрушают, извлекают и очищают отливку.



Главное достоинство этого метода литья — высокая точность передачи размеров изделия и низкая шероховатость поверхности.

Дополнительные плюсы метода:

- Отливка деталей из сплавов, плохо поддающихся механической обработке.
- Отливка изделий, которые иначе придется отливать по частям и далее собирать воедино.

Недостатки данного способа литья по выплавляемым моделям – малый коэффициент использования металла и повышенная трудоемкость.

## Литье по газифицируемым моделям

Литье по газифицируемым моделям в сочетании с такими технологическими процессами, как вакуумная формовка, литье под низким давлением и др., является одним из новейших способов производства отливок. Эта технология решает важнейшую задачу литейного производства – повышение точности отливок до уровня литья по выплавляемым моделям при минимальных издержках производства по сравнению с литьем по многократным моделям в песчано-глинистые формы (рис. 2 а

).

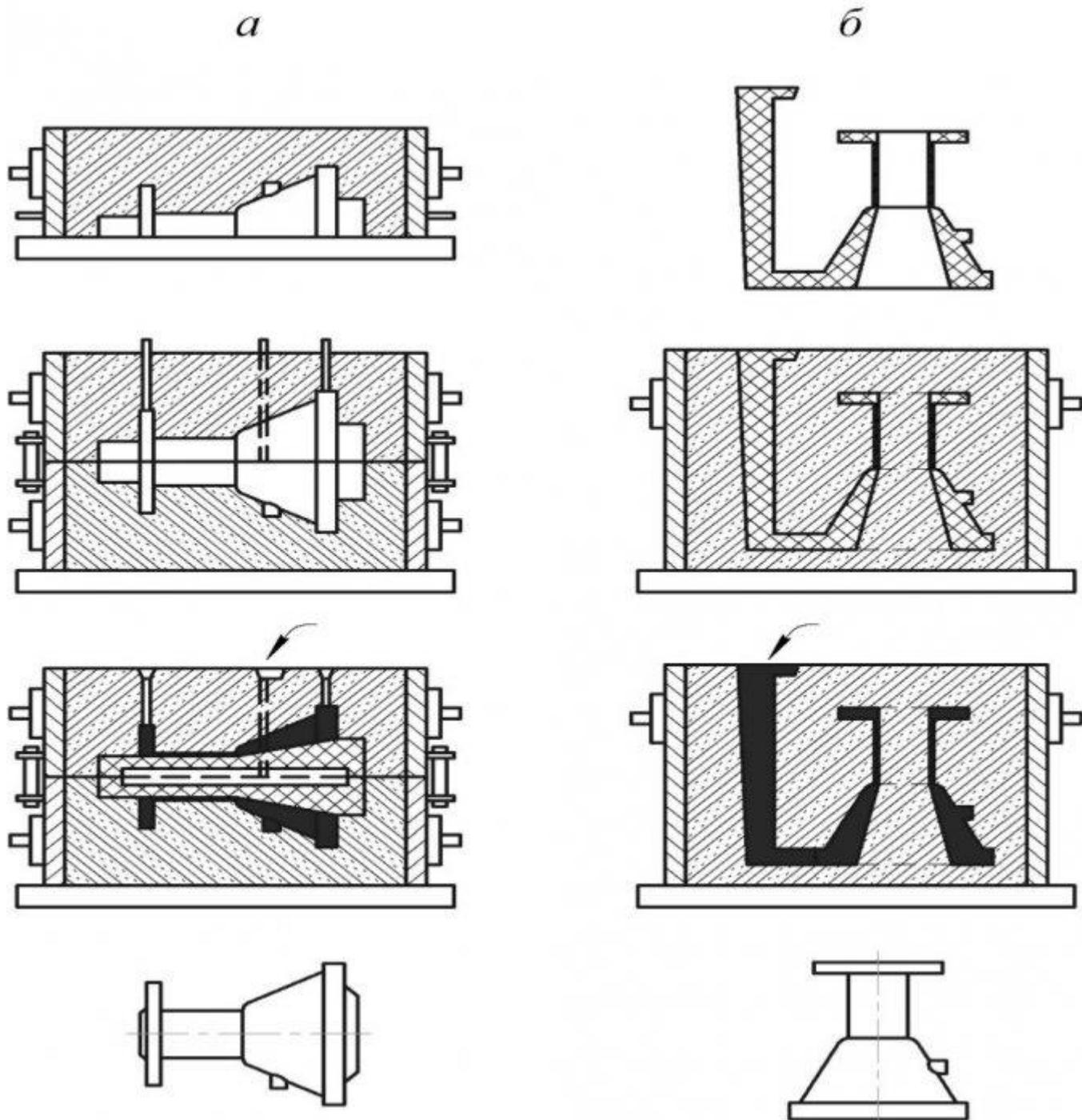


Рисунок 2 — Схемы процессов получения отливок: а – литьем по разъемной многоразовой модели; б – литьем по разовой газифицируемой модели

Отличительной особенностью литья по газифицируемым моделям является то, что модель удаляют не до заливки металла, а в процессе заливки формы металлом, который вытесняя (замещая) «испаряющуюся модель» из формы, занимает освободившееся пространство формы.

Суть способов литья по газифицируемым моделям заключается в следующем (рис. 2 б).

Разовые пенополистироловые модели изготавливают либо засыпкой в специальные металлические формы (массовое и крупносерийное производство) суспензионного гранулированного полистирола, либо механической обработкой нормализованных пенополистироловых плит (мелкосерийное, единичное производство). Сложные модели делают по частям. Отдельные части модели и литниковую систему соединяют в единый блок склеиванием или сваркой.

Собранную модель окрашивают слоем огнеупорной краски и сушат на воздухе. В итоге получается огнеупорная газопроницаемая оболочка, прочно связанная с пенополистироловой моделью.

Готовую модель устанавливают в специальную опоку-контейнер, засыпают зернистым огнеупорным наполнителем без связующего, уплотняют его вибрацией, закрывают металлической крышкой с отверстиями.

При изготовлении сложных отливок, контейнер после подачи опорного материала, закрывают сверху полиэтиленовой пленкой и создают разрежение 0,04–0,05 МПа (вакуумная формовка).

Приготовленную форму заливают жидким металлом. Модель газифицируется, а полость заполняется жидким металлом.

После затвердевания и охлаждения отливки опоку-контейнер переворачивают, наполнитель высыпается, отделяясь от отливки, а отливка поступает на дальнейшую обработку.

## **Модельные материалы**

В качестве материала для изготовления газифицируемых моделей служит вспенивающийся полистирол. Порообразователем чаще всего служит изопентан. При нагреве до 27,9

°С изопентан закипает и превращается в газ, а при 80-90 °С оболочка размягчается и под действием давления газа деформируется. Этот процесс называется «вспениванием гранул полистирола». При вспенивании гранул в замкнутом объёме они спекаются в монолитную пену — пенополистирол — точно воспроизводя конфигурацию формы, ограничивающей его рост.

## **Изготовление газифицируемых моделей**

Процесс получения моделей в массовом и крупносерийном производстве состоит из двух стадий: предварительное вспенивание в свободном состоянии исходных гранул полистирола и окончательное вспенивание гранул в замкнутой полости пресс-формы.

Предварительная тепловая обработка необходима для получения газифицируемой модели с заданной объемной массой, которая определяет прочность модели и качество поверхности.

Подготовленные гранулы засыпают или задувают сжатым воздухом в смазанную специальной смазкой рабочую полость пресс-формы (рис. 3 а). Нагрев гранул осуществляют методом «теплого удара». Перегретый пар с температурой 125-135 °С под давлением 0,2- 0,35 МПа подают непосредственно в пресс-форму, заполненную гранулами полистирола (внутренний тепловой удар). Просачиваясь между гранулами, турбулентный поток пара интенсивно вытесняет воздух, находящийся в порах, и равномерно по всему объему нагревает полимерный материал, который окончательно вспенивается. Образующийся конденсат под действием расширяющихся гранул отжимается к стенкам пресс-формы и удаляется через специальные дренажные отверстия.

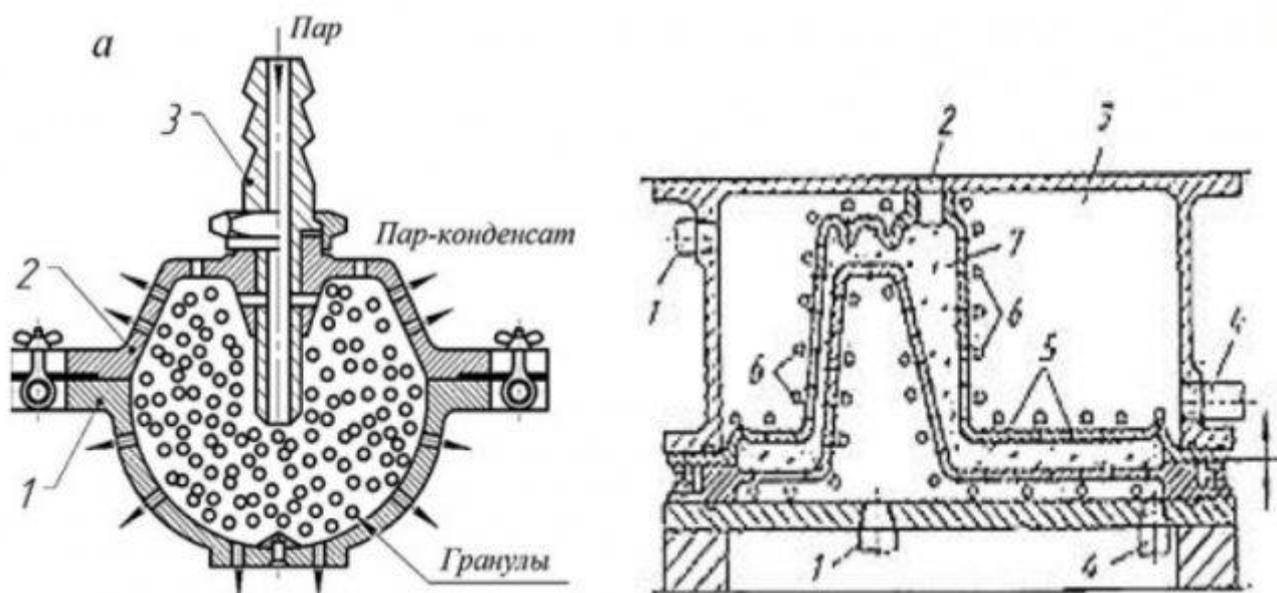


Рисунок 3 — Пресс-формы для изготовления газифицируемых моделей внутренним (а) и внешним (б) тепловыми ударами: а – 1, 2 – нижняя и верхняя части пресс-формы; 3 – инжектор; б – 1 – штуцер для подачи пара; 2 – отверстия для заполнения пресс-формы гранулами пенополистирола; 3 – камера; 4 – отвод пара; 5 – венты; 6 – форсунки; 7 – модель из пенополистирола

При внешнем тепловом ударе (рис. 3 б) пресс-форма окружена рубашкой, образующей камеру 3, в которую подается пар. Через венты 5 пар поступает в пресс-форму, предварительно заполненную гранулами пенополистирола. Пар нагревает гранулы, в результате чего происходит их расширение и формирование модели.

Технологический процесс изготовления моделей внешним тепловым ударом обеспечивает их высокое качество. На основе этого способа создано высокопроизводительное оборудование. Это позволило использовать процесс

литья по газифицируемым моделям в крупносерийном и массовом производстве взамен традиционных методов литья.

## **Изготовление литейных форм без связующего**

В крупносерийном и массовом производстве отливок по газифицируемым моделям используются сыпучие формовочные материалы: кварцевые, циркониевые пески, шамот, магнезит, электрокорунд. Их использование позволяет получать отливки при минимальных затратах на изготовление и выбивку форм, регенерацию формовочного материала.

Процесс формовки осуществляют следующим образом (рис. 4). На дно опоки-контейнера насыпают слой сухого песка толщиной 100...150 мм и уплотняют вибрацией. Затем в опоку устанавливают модель или блок моделей и заполняют опоку песком при одновременной вибрации.

Опока-контейнер имеет в стенках отверстия для выхода газа. Для обеспечения высокой газопроницаемости желательно, чтобы частицы песка имели угловатую форму.

Формы для получения массивных и сложных отливок изготавливают из формовочных смесей, которые должны иметь повышенную газопроницаемость и пластичность. Из-за низкой прочности пенополистировых моделей встряхивание опоки с целью уплотнения смеси недопустимо.

Наиболее предпочтительны самоотвердеющие жидкоподвижные смеси, которые имеют необходимую прочность, газопроницаемость и позволяют уменьшить опасность деформации модели при формовке.

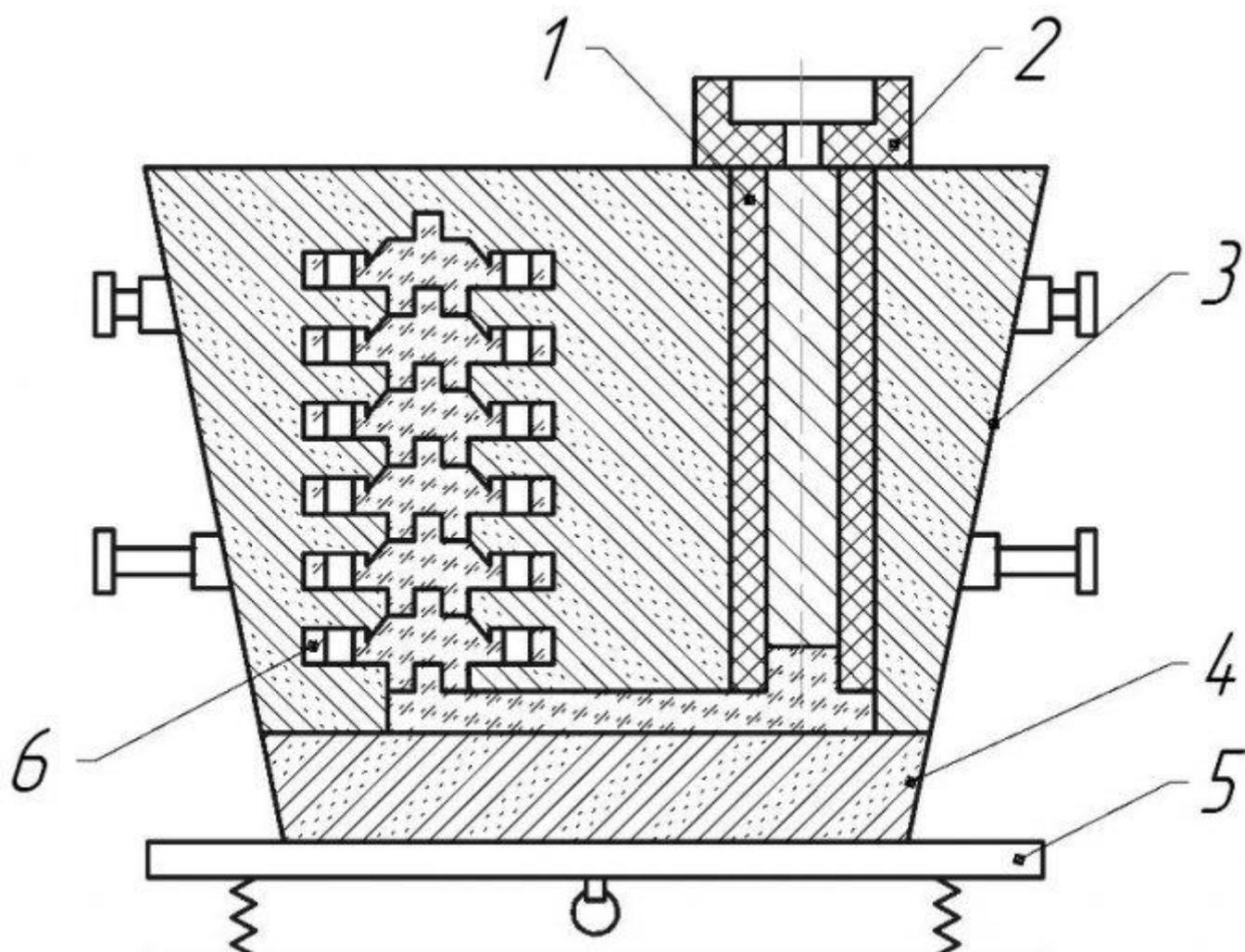


Рисунок 4 — Изготовление формы с пенополистироловой моделью без связующего: 1 – керамический стояк; 2 – чаша; 3 – опока-контейнер; 4 – предварительная засыпка; 5 – вибратор; 6 – блок моделей

## Точное литье

Точное литье по выплавляемым моделям — так называют и технологию, и саму конечную продукцию. Высокая точность литья обеспечивается тем, что в процессе подготовки формы нет необходимости извлекать из нее макет изделия. При использовании традиционного метода производство матрицы для отливки — сложный и весьма трудоемкий многоэтапный процесс. Особенно это актуально в случае отливки деталей сложной конфигурации, с выемками, впадинами и внутренними полостями.

Например, при отливке чугунной или медной вазы, имеющей переменную кривизну поверхности, приходится применять немало ухищрений. Так, сначала набивают нижнюю половину опоки, потом модель извлекают, переворачивают и трамбуют верхнюю половину. Модель приходится делать составной, ручки вазы выполняют из двух элементов, их вытаскивают через модельную полость в два приема — сначала нижний элемент, потом верхний. Все эти многочисленные переворачивания и протаскивания не могут положительно влиять на целостность поверхности формы и в конечном счете на точность соблюдения размеров

отливки и качества ее поверхности. Кроме того, остается проблема точного совмещения частей опок и надежного крепления их друг к другу.

Изготовление литья по выплавляемым моделям лишено этих недостатков, оно не требует столь высокой квалификации модельщиков и существенно сокращает трудоемкость подготовительных к литью операций. Особенно ярко это проявляется при больших тиражах отливок.

Метод позволяет достигать 2-5-го класса точности по ГОСТ 26645-85. Это позволяет отливать такие высокоточные изделия, как турбинные лопатки, режущий инструмент, включая высокопроизводительные фрезы и сверла, ответственные высоконагруженные кронштейны, небольшие высоконагруженные детали транспортных средств, станков и других сложных механизмов.

Высокая точность соблюдения размеров и высокий класс поверхности сводят к минимуму потребность в дальнейшей механической обработке отливки, что позволяет экономить металл и снижать себестоимость продукции.