

Большая часть металлов присутствует в природе в виде руд и соединений.

Руда́ — вид полезных ископаемых, природное минеральное образование, содержащее соединения полезных компонентов (минералов, металлов) в концентрациях, делающих извлечение этих компонентов экономически целесообразным.

Они образуют оксиды, сульфиды, карбонаты и другие химические соединения. Для получения чистых металлов и дальнейшего их применения необходимо выделить их из руд и провести очистку.



Железная руда



Марганцевая руда



Свинцовая руда



Золотая руда

После извлечения руд они, как правило, подвергаются обогащению, то есть разделению металлов и минералов друг от друга по разнице их физических и/или химических свойств.

В процессах обогащения используют отличия минералов полезного компонента и пустой породы в плотности, магнитной восприимчивости, смачиваемости, электропроводности, крупности, форме зёрен, химических свойствах и др.

При этом из исходного минерального сырья выделяют один или несколько полезных компонентов — рудный концентрат(ы), промпродукты и отвальные хвосты.

Из добытой и обогащённой руды металлы извлекаются, как правило, с помощью **химического** или **электролитического** восстановления.

В пирометаллургии для преобразования руды в металлическое сырьё используются высокие температуры, в гидрометаллургии применяют для тех же целей водную химию. Используемые методы зависят от вида металла и типа загрязнения.

Когда металлическая руда является ионным соединением металла и неметалла, для извлечения чистого металла она обычно подвергается **выплавлению** — нагреву с восстановителем. Многие распространенные металлы, такие, как железо, плавят с использованием в качестве восстановителя углерода. Некоторые металлы, такие как алюминий и натрий, не имеют ни одного экономически оправданного восстановителя и извлекаются с применением электролиза.

Среднее содержание **железа** в земной коре – 5,0 %, оно является одним из наиболее распространенных элементов и входит в состав большого числа минералов (более 300).

Главные промышленно-ценные минералы железа – оксиды и гидроксиды, в меньшей степени – карбонаты; это магнетит, титаномагнетит и гематит, а также мартит, гётит, гидрогётит (лимонит) и сидерит.

Основные минералы железных руд

Минерал	Химическая формула	Содержание железа, %
1	2	3
Магнетит	Fe_3O_4	72,4
Магномагнетит	$(\text{Mg}, \text{Fe}) \text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	65–68
Титаномагнетит*	–	55–67
Гематит	Fe_2O_3	70,0
Гётит	HFeO_2	62,9
Гидрогётит (лимонит)	$\text{FeO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	52,0–62,9
Сидерит	FeCO_3	48,3



магнетит



гематит



сидерит

Существует **3 вида** железорудной продукции, использующиеся в чёрной металлургии:

сепарированная железная руда (обогащённая методом сепарации рассыпчатая руда).

Имеет низкое (менее 20%) содержание железа



аглокуда (спечённая, окускованная путём термической обработки).

Имеет среднее содержание железа



окатыши (сырая железосодержащая масса с добавлением флюсов (обычно, известняка); формируется в шарики диаметром около 1—2 см).
Имеет высокое (выше 55%) содержание железа



Производство черных металлов из железной руды — сложный технологический процесс, который состоит из двух стадий. На первой стадии получают **чугун**, а на второй — его перерабатывают в **сталь**.

Чугуном называется сплав железа с углеродом (2... 6,67 %), кроме них в состав сплава могут входить кремний, марганец, сера, фосфор и др.

Исходными материалами для производства чугуна являются

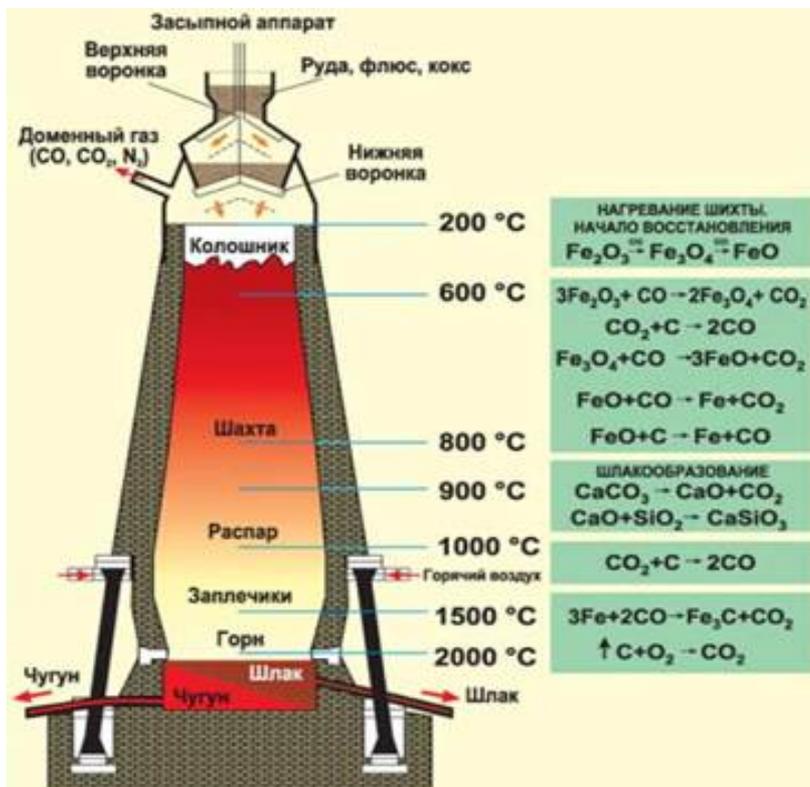
- **железные руды**,
- **топливо**
- **флюсы**.

Наиболее часто применяемые **железные руды**: красный (Fe_2O_3), магнитный (Fe_3O_4), бурый ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), шпатовый (FeCO_3) железняки, содержащие 30...70 % железа и пустую породу из различных природных химических соединений (SiO_2 , Al_2O_3 и др.) и вредные примеси (серы, фосфора).

Топливом служит кокс — продукт сухой перегонки (без доступа воздуха) коксующихся каменных углей.

Флюсы (плавни) — известняки, доломиты, кварц, песчаники применяют для понижения температуры плавления пустой породы и перевода ее и золы топлива в шлак.

Основным способом производства чугуна из руд в настоящее время является **доменный процесс**, заключающийся в восстановлении железа из руд (оксидов) при высокой температуре и отделении его от пустой породы руды.

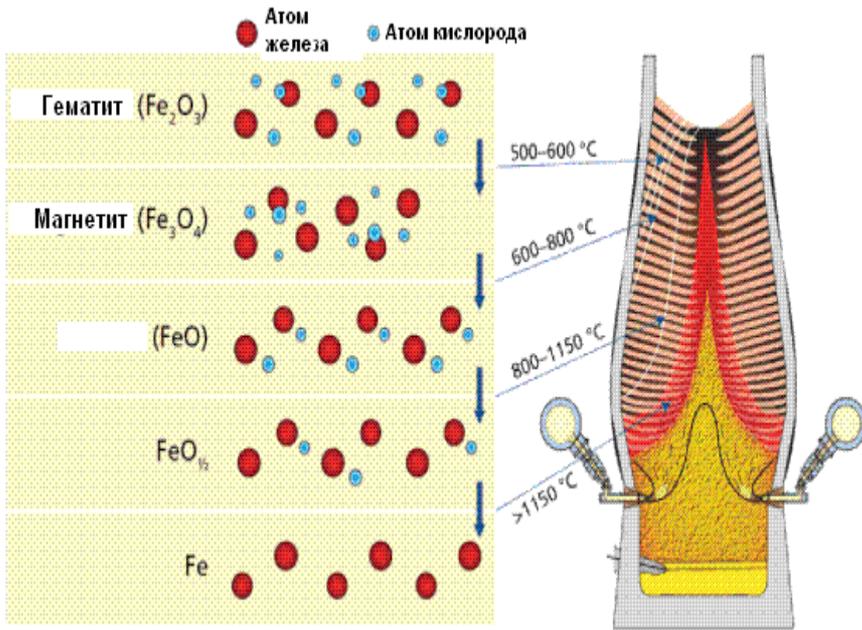


Чугун выплавляют в доменных печах (9.2) объемом до 5000 м³, куда руду, кокс и флюсы загружают чередующимися слоями, опускающимися вниз печи под влиянием собственной массы.

В нижнюю часть печи — горн через отверстия — фурмы подают под давлением нагретый воздух, необходимый для поддержания горения топлива.

Кокс, сгорая в верхней части горна, образует CO₂, который затем поднимается вверх по печи и, встречая на своем пути раскаленный кокс, переходит в оксид углерода CO. Оксид углерода восстанавливает оксиды железа до чистого железа по схеме Fe₂O₃ → Fe₃O₄ → FeO → Fe.

На уровне фурм развивается температура около 2000 °С. По мере удаления вверх температура снижается, и у колошников доходит до 270 °С. Таким образом в печи на разной высоте устанавливается разная температура, благодаря чему протекают различные химические процессы перехода руды в металл.



В верхней части горна, где приток кислорода достаточно велик, кокс сгорает, образуя диоксид углерода и выделяя большое количество тепла.

Диоксид углерода, покидая зону обогащенную кислородом, вступает в реакцию с коксом и образует монооксид углерода — главный восстановитель доменного процесса.

Поднимаясь вверх монооксид углерода взаимодействует с оксидами железа, отнимая у них кислород и восстанавливая до металла:

Полученное в результате реакции железо каплями стекает по раскаленному коксу вниз, насыщаясь углеродом, в результате чего получается сплав, содержащий 2,14 — 6,67 % углерода. Такой сплав называется чугуном. Кроме углерода в него входят небольшая доля кремния и марганца. В количестве десятых долей процента в состав чугуна входят также вредные примеси — сера и фосфор. Кроме чугуна в горне образуется и накапливается шлак, в котором собираются все вредные примеси

Сталь получается в результате освобождения некоторой части углерода методом окисления чугуна.

К сталям относится сплав железа с углеродом, где содержание углерода не должно превышать 2,14%.

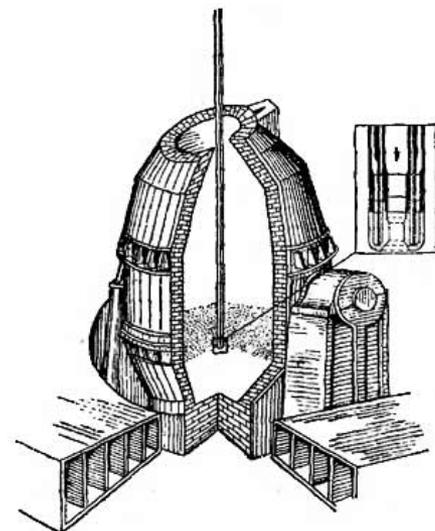
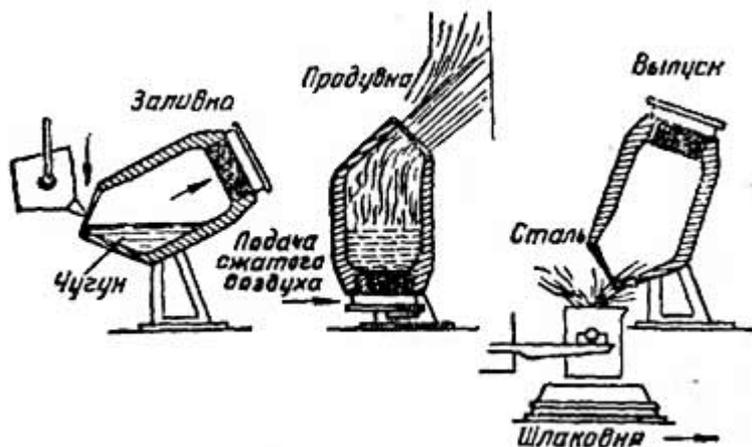
Основные способы получения стали:

- конверторный,
- мартеновский
- электроплавка.

Конверторный способ основан на продувке сжатым воздухом расплавленного чугуна. При продувке кислород воздуха вступает в реакцию с примесями чугуна и окисляет их, в результате чего получается сталь. Тепло, выделяющееся при окислении, обеспечивает нагрев стали до температуры около 1600 °С.

Конверторный способ включает несколько разновидностей:

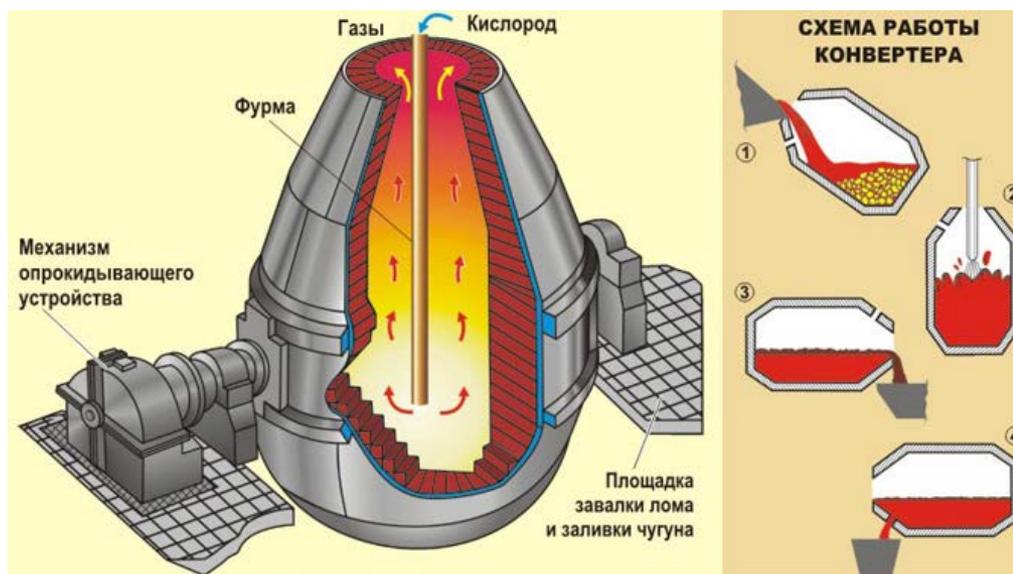
- Конверторные процессы с донным воздушным дутьем (бессемеровский и томасовский процессы)
- Кислородно-конверторный процесс с продувкой кислорода сверху и снизу



В конвертер заливают и при температуре 1250 – 1300 °С и продувают его воздухом. За время продувки окисляются углерод, кремний и марганец чугуна и из образующихся оксидов формируется кислый шлак. После того, как углерод окислился до заданного содержания, продувку заканчивают. Металл сливают через горловину в ковш, одновременно раскисляя его.

Особенностью этого конвертера является то, что воздух подводится к нему *не через днище*, а *через боковую стенку*; это способствует лучшему сгоранию окиси углерода и повышению температуры стали.

Кислородно-конверторный способ - продувка расплавленного чугуна сжатым кислородом



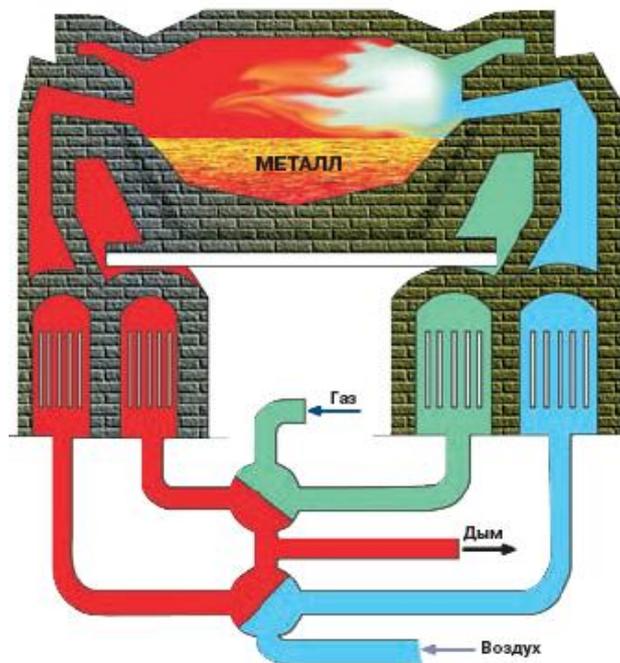
Кислород под давлением подаётся через горловину конвертера. С целью образования шлака, связывающего фосфор, в конвертер в начале плавки добавляют известь. Примеси чугуна (кремний, марганец, фосфор, углерод и другие), взаимодействуя с кислородом, окисляются, выделяя значительное количество тепла, поэтому одновременно со снижением содержания примесей повышается температура металла, и он остаётся в жидком состоянии в течение всей плавки.

Требуемое содержание углерода определяется по времени от начала продувки и по количеству израсходованного кислорода. Продувка обычно длится 15 - 22 мин. По завершению продувки, конвертор наклоняется на определённый угол (при помощи поворотного механизма) и сталь, через отверстие для розлива стали, вытекает в формы.

Мартеновский способ вызван к жизни необходимостью перерабатывать стальной лом и отходы производства. Требовалось создать печь, в которой температура была бы настолько высокой, чтобы можно было плавить сталь и железо.

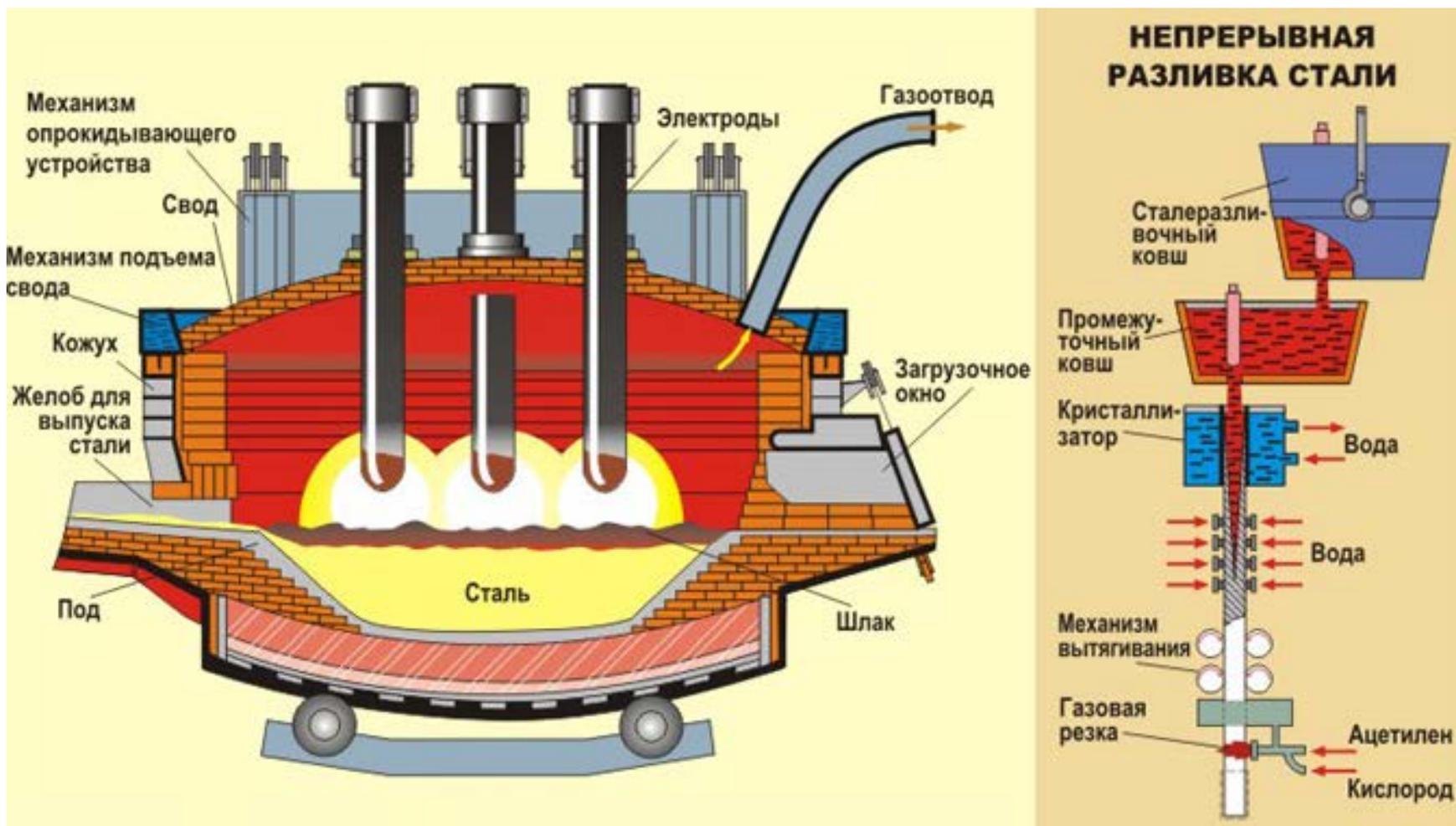
Основной принцип действия — вдувание раскаленной смеси горячего газа и воздуха в печь с низким сводчатым потолком, отражающим жар вниз, на расплав. Нагревание воздуха происходит посредством продувания его через предварительно нагретый регенератор (специальная камера, в которой выложены каналы огнеупорным кирпичом).

Нагрев регенератора до нужной температуры осуществляется очищенными горячими печными газами. Происходит попеременный процесс: сначала нагрев регенератора продувкой печных газов, затем продувка холодного воздуха.



Электродуговой метод

Тепло, требуемое в этом процессе, создается электрической дугой, находящейся между угольными электродами и металлической ванной.



Литьем (или литейным производством) называют метод производства, при котором изготавливают фасонные заготовки деталей путём заливки расплавленного металла в заранее подготовленную литейную форму,

Физическая сущность процесса литья определяется тремя важнейшими понятиями: «**жидкотекучесть**», «**кристаллизация**», «**усадка**».

Жидкотекучесть – способность материала заполнять форму в жидком состоянии. Жидкотекучесть зависит от вязкости и удельной теплоты плавления материала, а также от теплопроводимости и начальной температуры пресс-формы.

Кристаллизация – образование и рост кристаллов в затвердевающем металле.

Усадка - свойство литейных сплавов уменьшать объём при затвердевании и охлаждении. Усадочные процессы в отливках протекают с момента заливки расплавленного металла в форму вплоть до полного охлаждения отливки.

Различают объёмную и линейную усадку, выражаемую в относительных единицах.

Линейная усадка - уменьшение линейных размеров отливки при её охлаждении от температуры, при которой образуется прочная корка, способная противостоять давлению расплавленного металла, до температуры окружающей среды. Линейную усадку определяют соотношением, %:

$$\varepsilon_l = \frac{l_{\phi} - l_{отл}}{l_{отл}} \cdot 100\%$$

где l_{ϕ} и $l_{отл}$ - размеры полости формы и отливки при комнатной температуре

Объёмная усадка - уменьшение объёма сплава при его охлаждении в литейной форме при формировании отливки. Объёмную усадку определяют соотношением, %:

$$\varepsilon_{об} = \frac{V_{\phi} - V_{отл}}{V_{отл}} \cdot 100\%$$

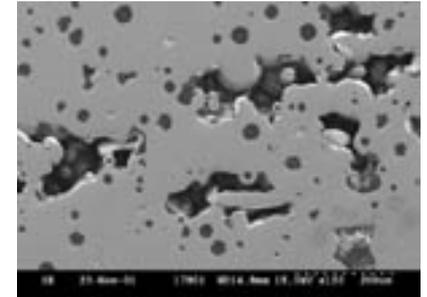
где V_{ϕ} и $V_{отл}$ - объём полости формы и отливки при температуре 20°C. Объёмная усадка приблизительно равна утроенной линейной усадке.

Усадка в отливках проявляется в виде:

- **усадочные раковины** - сравнительно крупные полости, расположенные в местах отливки, которые затвердевают последними;



- **усадочная пористость** - скопление пустот, образовавшихся в отливке в обширной зоне в результате усадки в тех местах отливки, которые затвердели последними без доступа к ним расплавленного металла;



- **трещины**;



- **коробление** - изменение формы и размеров отливки под влиянием напряжений, возникающих при охлаждении.



Литьем (или литейным производством) называют метод производства, при котором изготавливают фасонные заготовки деталей путём заливки расплавленного металла в заранее подготовленную литейную форму,

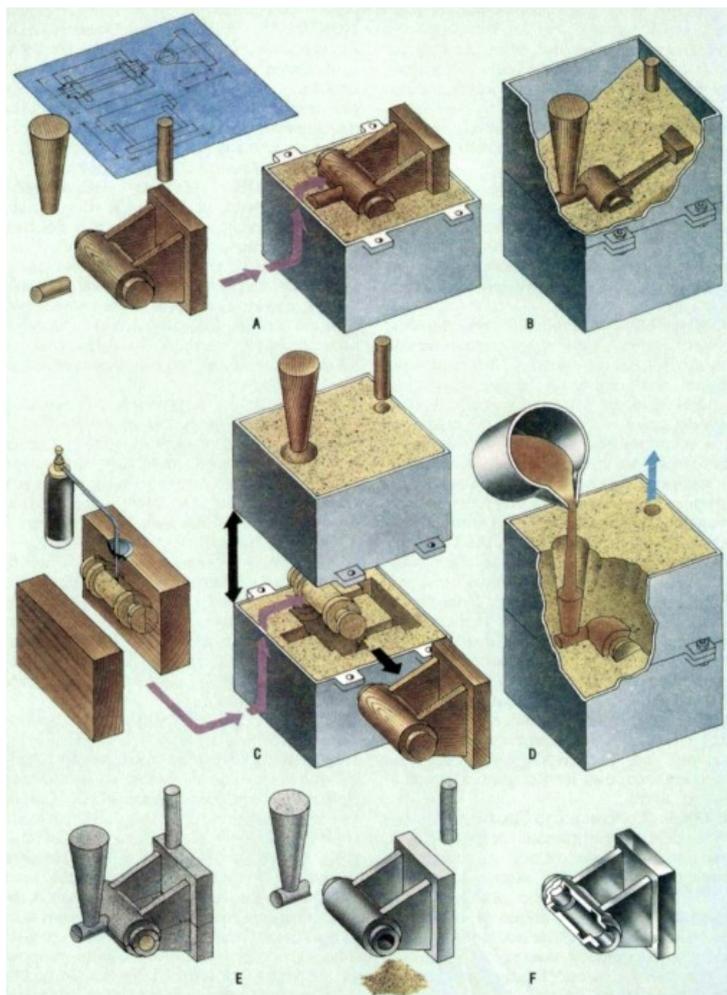
Классификация литья

- Литьё в песчаные формы
- Литьё в кокиль
- Литьё под давлением
- Литьё по выплавляемым моделям
- Литьё по газифицируемым моделям
- Центробежное литьё
- Литьё в оболочковые формы

Литье в песчаные формы

метод литья металлов и сплавов, при котором расплавленный металл заливается в форму, сделанную из плотно утрамбованного песка. Для того, чтобы песчинки были крепко связаны между собой, песок смешивают с глиной, водой и другими связующими веществами.

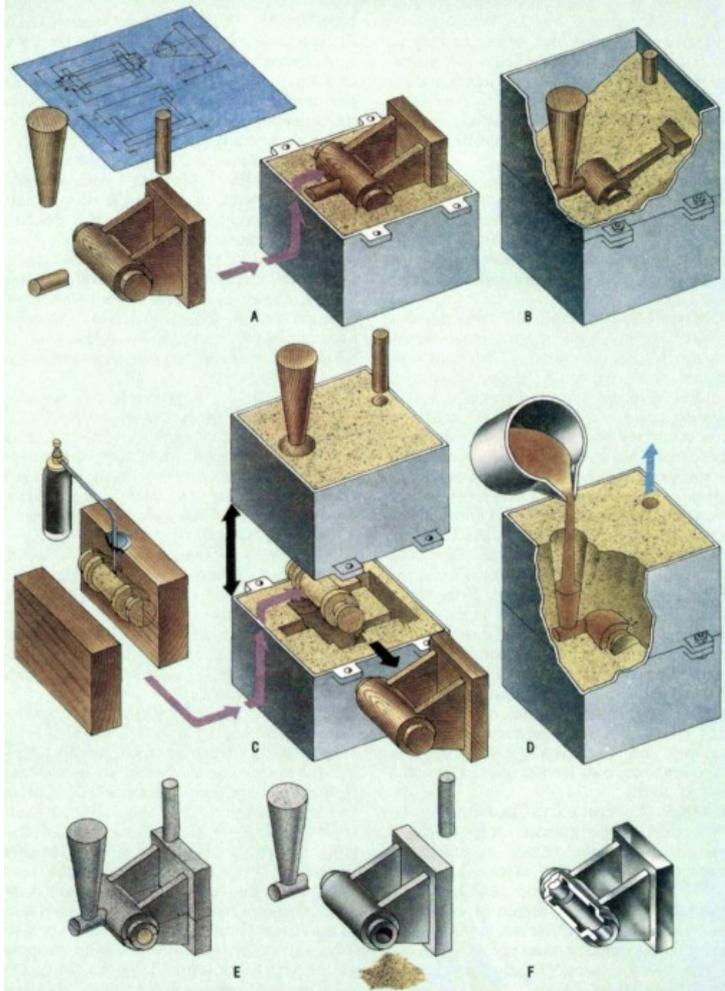
Этот метод применяется для литья из стали, меди, бронзы и алюминия.



А - в соответствии с чертежами, делается деревянная модель изделия, затем она утапливается в песок в нижней части стального корпуса вплоть до ее самого широкого поперечного сечения.

В - монтируется верхняя часть формы. К нижнему корпусу за жимами прикрепляется верхний, образуя цельную коробку, а затем туда еще досыпается и утрамбовывается песок, таким образом, чтобы он покрыл всю модель целиком. В необходимых местах фиксируются литник и выпор.

С - отдельно делают внутренний литейный стержень из песка для того, чтобы можно было создать полость внутри будущей отливки. Песок форм, который первоначально был смешан с силикатом натрия, образует силикагель, когда через него прокачивается углекислый газ. Этот гель имеет консистенцию сиропа и связывает песок. Затем корпус формы раскрывают и убирают деревянную модель. Стержень помещают в корпус формы, и форму опять собирают.



D - деревянный литник и выпор убираются. Расплавленный металл вливается в высушенную форму через конусообразный литник. Вытесняемый воздух выходит через выпор.

E - после охлаждения корпус формы раскрывается и достается отливка.

F - литник и выпор отрезаются, а песок выбивается. В готовой отливке показана полость, образованная на месте стержня.

Литье в песчаные формы наиболее распространенный способ литья. Им изготавливают 80% отливок, т.к. этот способ простой и дешевый.

Самый крупный недостаток: отливки не имеют точных механических размеров, нужно давать припуск на механическую обработку и усадку.

Возможные дефекты отливок, причины и меры по их устранению

- Недоливы и спаи. Образуются от не слившихся потоков металла, затвердевающих до заполнения формы. Возможные причины: холодный металл, питатели малого сечения.
- Усадочные раковины – закрытые внутренние полости в отливках с рваной поверхностью. Возникают вследствие усадки сплавов, недостаточного питания. Устраняют с помощью прибылей.
- Горячие трещины в отливках возникают в процессе кристаллизации и усадки металла при переходе из жидкого состояния в твердое при температуре, близкой к температуре солидуса. Склонность сплава к образованию горячих трещин увеличивается при наличии неметаллических включений, газов, серы и других примесей. Образование горячих трещин вызывают резкие перепады толщин стенок, острые углы, выступающие части. Высокая температура заливки также повышает вероятность образования горячих трещин.
- Для предупреждения образования горячих трещин в отливках необходимо обеспечивать одновременное охлаждение толстых и тонких частей отливок; увеличивать податливость литейных форм; по возможности снижать температуру заливки сплава.
- Пригар – трудноудаляемый слой формовочной или стержневой смеси, приварившийся к отливке. Возникает при недостаточной огнеупорности смеси или слишком большой температуре металла.
- Песчаные раковины – полости в теле отливки, заполненные формовочной смесью. Возникают при недостаточной прочности формовочной смеси.
- Газовые раковины – полости отливки округлой формы с гладкой окисленной поверхностью. Возникают при высокой влажности и низкой газопроницаемости формы.
- Перекокс. Возникает из-за неправильной центровки.

Литье в песчаные формы

Преимущества.

- Конфигурация 1...6 групп сложности.
- Возможность механизировать производство.
- Дешевизна изготовления отливок.
- Возможность изготовления отливок большой массы.
- Отливки изготавливают из всех литейных сплавов, кроме тугоплавких.

Недостатки.

- Плохие санитарные условия.
- большая шероховатость поверхности.
- Толщина стенок > 3мм.
- Вероятность дефектов больше, чем при других способах литья.

Литье в кокиль

Процесс заключается в изготовлении отливок из жидкого расплава, свободной его заливкой в многократно используемые **металлические формы** – кокили, обеспечивающие высокую скорость затвердевания жидкого расплава и позволяющие получать в одной форме от нескольких десятков до нескольких тысяч отливок.

Когда полость кокиля заполняется металлом, то газы и воздух выходят через вентиляционную систему, которая образована вентиляционными выпорами, каналами и пробками.

Литьём в кокиль изготавливаются основные алюминиевые детали **ДВС** — поршни, блоки цилиндров, головки и т. д.



Литье в кокиль

Преимущества

- процесс мало операционный,
- операции кратковременны и просты,
- весь процесс может выполняться автоматической установкой,
- кокиль, что важно, можно использовать многократно,
- повышается производительность,
- хорошее качество отливки,
- уменьшение вредных для здоровья операций.

Недостатки

- Сложность изготовления кокилей, их ограниченный срок службы (особенно при литье черных сплавов).
- Неподатливость кокиля и металлических стержней.
- Затруднен вывод газов из полости формы.
- Высокая стоимость кокиля, сложность и трудоемкость его изготовления
- Ограниченная стойкость кокиля, измеряемая числом годных отливок, которые можно получить в данном кокиле. От стойкости кокиля зависит экономическая эффективность процесса.
- Сложность получения отливок с поднутрениями, для выполнения которых необходимо усложнять конструкцию формы - делать дополнительные разъемы, использовать вставки, разъемные металлические или песчаные стержни.

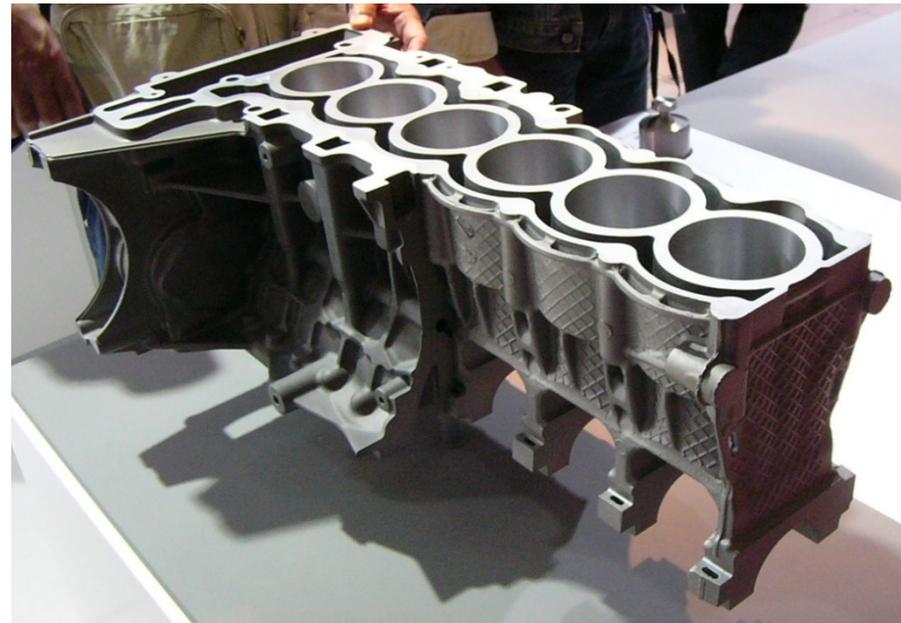
Литье под давлением

Литьё в пресс-формы происходит под давлением от 35 до 700 МПа, обеспечивающим удаление воздушной пористости.

Высокие скорости впуска обеспечивают хорошее качество поверхностей отливки.

Метода литья под давлением получают детали для которых не требуются вообще или нет в технологии изготовления дальнейшей механической обработки.

Расплавленный металл заливается в камеру прессования, а затем под действием прессующего поршня, перемещающегося в этой камере, через литниковые каналы заполняет с высокой скоростью полость формы.



Блок цилиндров двигателя автомобиля BMW, полученный методом литья под давлением из алюминиево - магниевого сплава

Литье под давлением

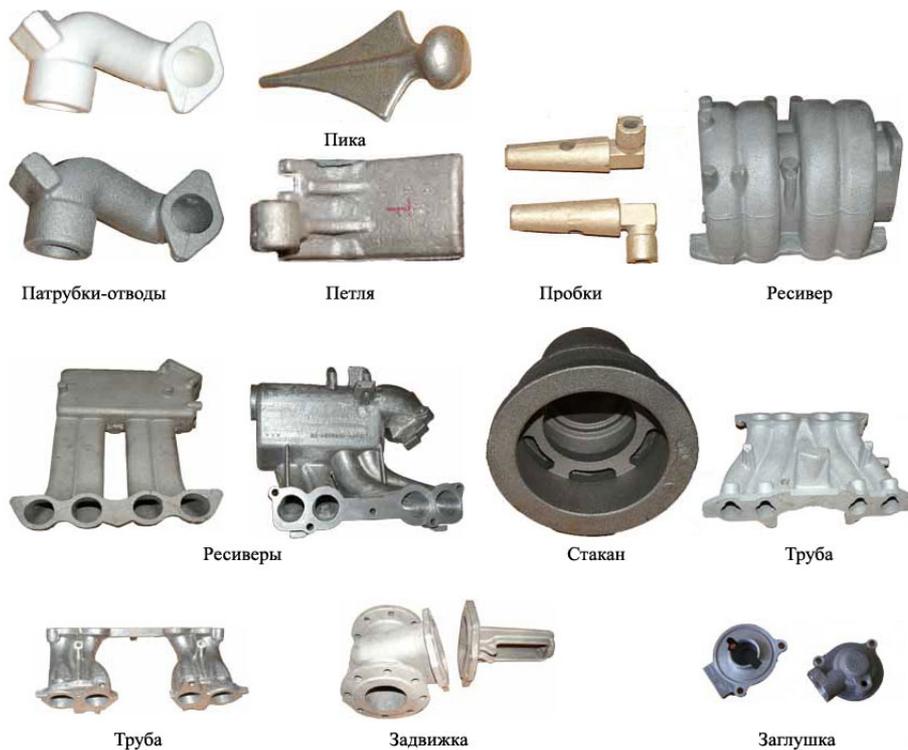
Преимущества

- Высокое качество отливки
Высокая производительность, т.к. металл напрямую идет в пресс форму

Недостатки

- Необходимо соблюдать режимы давления при литье
- Специфические требования технологичности конструкций литых деталей
- Высокая стоимостью пресс-форм
- Литье под давлением позволяет получать сложные по геометрии тонкостенные отливки, близкие по размерам к конечной продукции. Этот способ литья очень производителен при автоматизации процесса. Наиболее широко применяется литье под давлением для изготовления отливок из магниевых, цинковых и алюминиевых.

Литье по выплавляемым моделям



-Сущность процесса заключается в изготовлении отливок заливкой расплавленного металла в тонкостенные, неразъемные, разовые литейные формы, изготовленные из специальной огнеупорной смеси по разовым моделям.

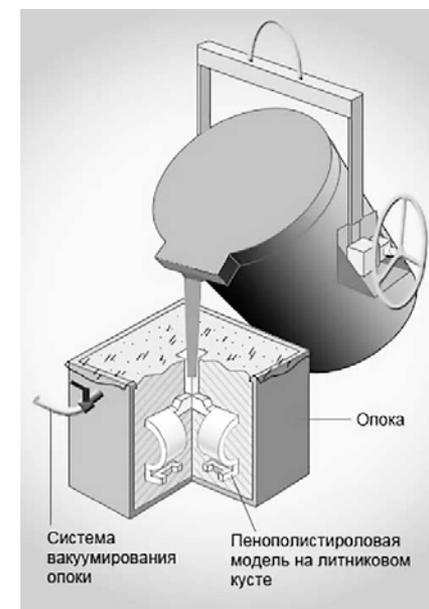
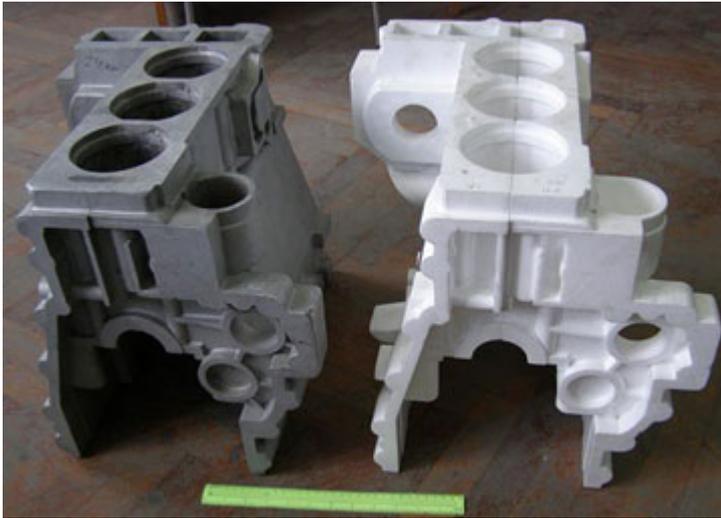
Разовые выплавляемые модели изготавливают в пресс-формах из модельных составов.

Перед заливкой модель удаляется из формы выплавлением, выжиганием и т.д. Для устранения остатков модельного состава и упрочнения форма нагревается и прокаливается.

Заливка осуществляется в разогретые формы для улучшения наполняемости.

Литьё по газифицируемым моделям

Модель будущего изделия изготавливают из материала, который газифицируется при заливке расплавленного металла в литейную форму. Самым распространённым материалом для моделей является пенополистирол.



Для изготовления моделей используется литейный полистирол мелких фракций 0,3 мм — 0,9 мм. (в зависимости от габаритов детали). Полистирол предварительно подвспенивается на паровой ванне и просушивается. В пресс-формы задувается подвспененный полистирол, пресс-формы устанавливают в автоклав и выдерживают до спекания гранул полистирола. Затем охлаждают и достают готовые модели.

Заливка металла производится прямо в полистирольные стояки. Горячий металл выжигает (газифицирует) полистирол и занимает его место. Выделяющиеся газы отсасываются через слой краски в песок вакуумной системой. Металл точно повторяет форму полистирольного блока с моделями.

Литьё в оболочковые формы

Сущность процесса заключается в применении тонкостенных разъемных разовых форм, изготовленных из формовочной смеси.

Формовочные смеси изготавливают из мелкозернистого кварцевого песка, перемешанного с терморезактивной смолой.

Модельную плиту нагревают до температуры 200-250 градусов.

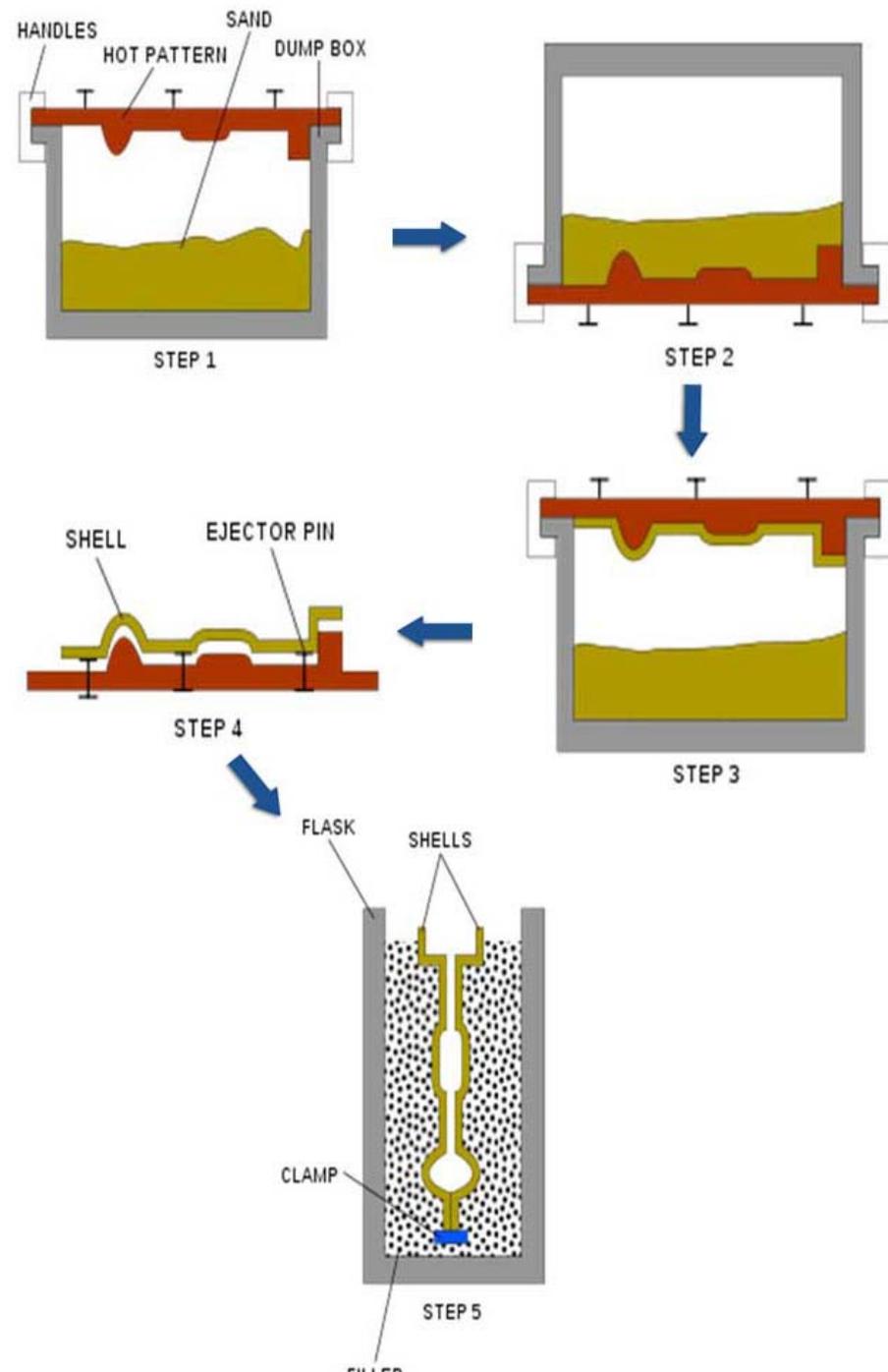
На ее поверхность наносят разделительную смазку.

Формовочную смесь наносят на модельную плиту и выдерживают 10-30 секунд; от теплоты модельной плиты терморезактивная смола переходит в жидкое состояние, склеивая песчинки с образованием песчано-смоляной оболочковой формы (толщиной 5-10 мм) в зависимости от времени выдержки. При этом смола твердеет.

Готовые оболочковые формы снимают с металлической модели и, если они разъемные, то их склеивают.

В собранные оболочковые формы заливают металл.

Основное достоинство способа - Расход формовочной смеси в 8-10 раз меньше, чем при литье в песчаные формы.



Центробежное литьё

Центробежное литьё - способ литья в быстро вращающуюся металлическую форму. Расплавленный металл под действием центробежных сил отбрасывается к стенкам формы и затвердевает, образуя пустотелую отливку (трубку, втулку, кольцо) без стержня. Различают центробежное литьё с разными осями вращения; заливаемые формы - песчаные, металлические, по выплавляемым моделям, оболочковые.

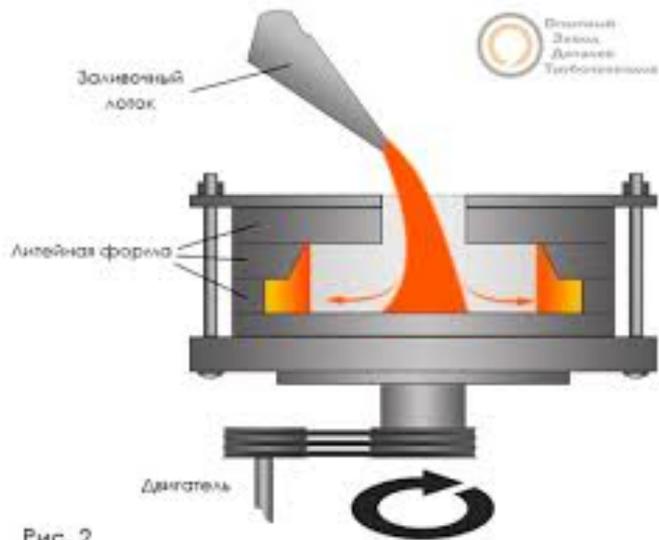


Рис. 2

Внешняя поверхность отливки оформляется формой под действием центробежной силы при $V=3-8$ м/с. Под действием центробежной силы происходит направленное затвердевание металла и вытеснение газовой и усадочной пористости. Качество деталей может сильно пострадать из-за образования усадочных раковин. Отлитый в форму металл начинает затвердевать с наружных слоев, и некоторое время поверхность отливки представляет собой как бы твердую корку, под которой имеется жидкий металл. Она (корка) отделяется от еще расплавленного металла, находящегося в глубине кюветы который, уменьшаясь в объеме, не заполняет целиком всего пространства формы.