КАРАГАНДИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АБИЛКАС САГИНОВА

SAGINOV TECHNICAL UNIVERSITY 1953




Дисциплина

# ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

## Лекция 10

## ОРГАНИЗАЦИЯ И УСЛОВИЯ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

Составитель: доктор технических наук, профессор Нурумгалиев А.Х.

# Лекция 10
# ОРГАНИЗАЦИЯ И УСЛОВИЯ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

**Цель лекции:** Изучить виды разливки стали, ознакомиться с видами сталей по способам разливки.

**План лекции:**

1. Литейные свойства чугуна и стали
2. Способы разливки стали
3. Кристаллизация и строение стальных слитков
4. Спокойная сталь
5. Кипящая сталь
6. Полуспокойная сталь

# Литейные свойства чугуна и стали

Одними из самых важных литейных свойств металлов являются:
**Жидкотекучесть** - способность металла заполнять форму.
С повышением температуры увеличивается жидкотекучесть. Максимальная жидкотекучесть получается при эвтектическом составе сплавов. На жидкотекучесть сплавов оказывает влияние содержание примесей, причем в зависимости от концентрации одного и того же элемента в сплаве жидкотекучесть может как повышаться, так и снижаться.

**Усадка** - свойство сплавов уменьшать свой объем при затвердевании и охлаждении.

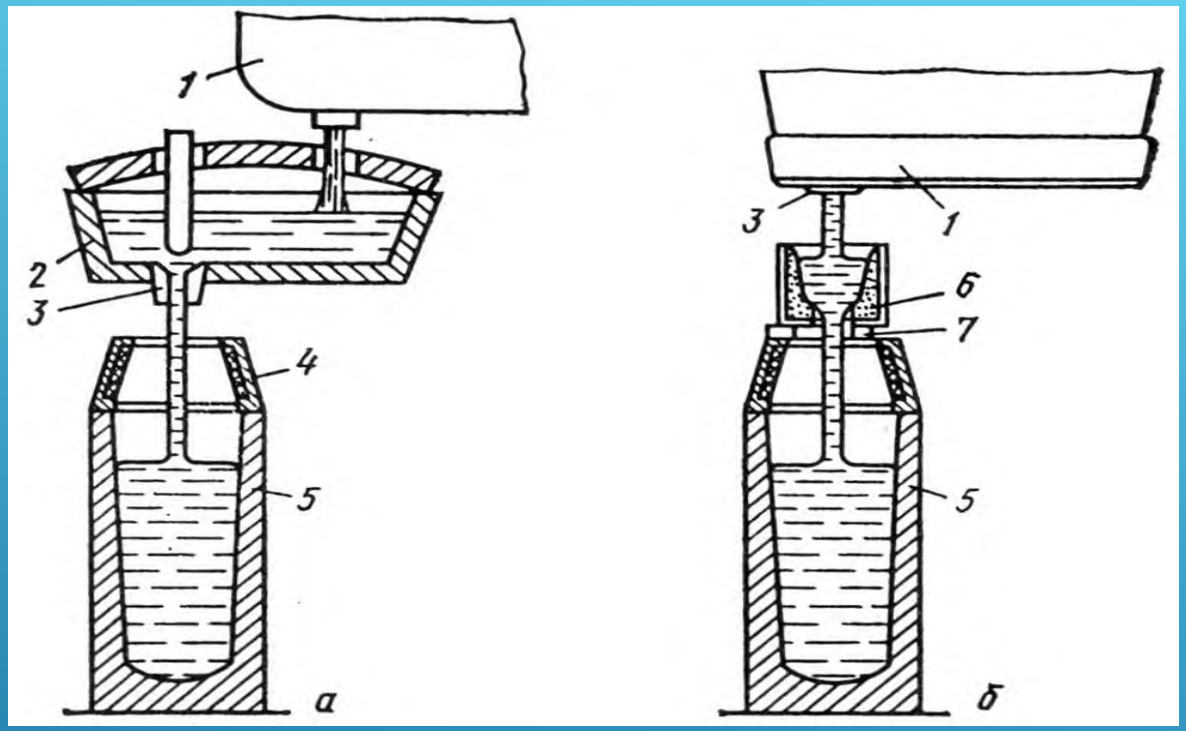
**Линейная усадка** - уменьшение линейных размеров по сравнению с размерами формы. В реальных условиях изготовления отливок наблюдается торможение усадки выступающими частями формы и стержнями. Такое явление называется литейной усадкой и выражается в процентах к первоначальным линейным размерам полости формы. При охлаждении залитого в форму металла его объем может увеличиваться или уменьшаться.

**Объемная усадка** - уменьшение объема в процессе охлаждения, которая примерно равна утроенной линейной усадке. Объемная усадка приводит к образованию **усадочной раковины** - полости, заполненной газом. Величина усадочной раковины ($V_{у.р}$) равна разности между объемом отливки ($V_{отл}$) и объемом твердого металла **($V_{т.м}$):($V_{у.р}$) = ($V_{отл}$) - ($V_{т.м}$).** Для получения плотных отливок применяют **прибыль** - технологический прилив к отливке.

# Способы разливки стали

Применяют два основных способа разливки стали: разливку в изложницы и непрерывную разливку. Разливку в изложницы подразделяют на разливку сверху и сифоном.

При разливке сверху сталь непосредственно из ковша поступает в изложни, устанавливаемые на чугунных плитах - поддонах. После заполнения каждой изложницы стопор или шиберный затвор ковша закрывают, ковш транспортируют к следующей изложнице, вновь открывают стопор (шиберный затвор) и после заполнения сталью новой изложницы цикл повторяют.




**Разливка стали сверху через промежуточный ковш (а) и промежуточную воронку (б): 1 - сталеразливочный ковш; 2 - промежуточный ковш; 3 - стакан; 4 - прибыльная надставка; 6 - промежуточная воронка; 7 - подставка**

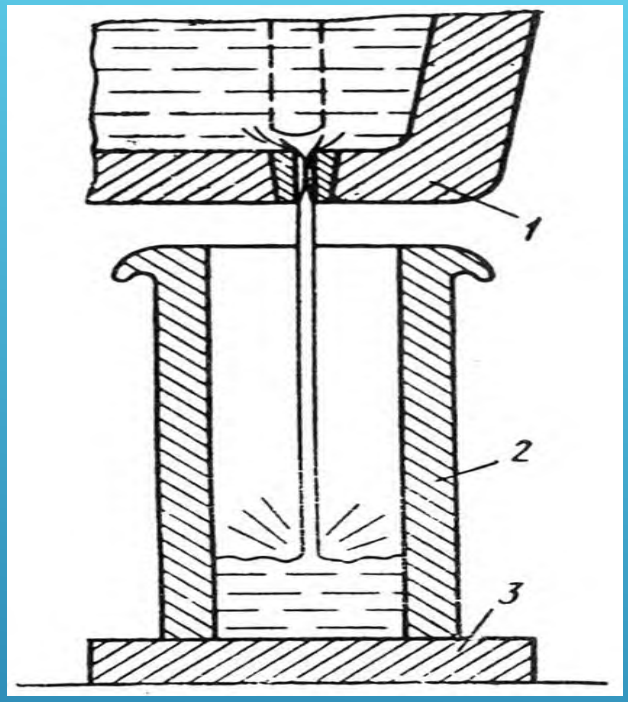



Схема разливки стали сверху

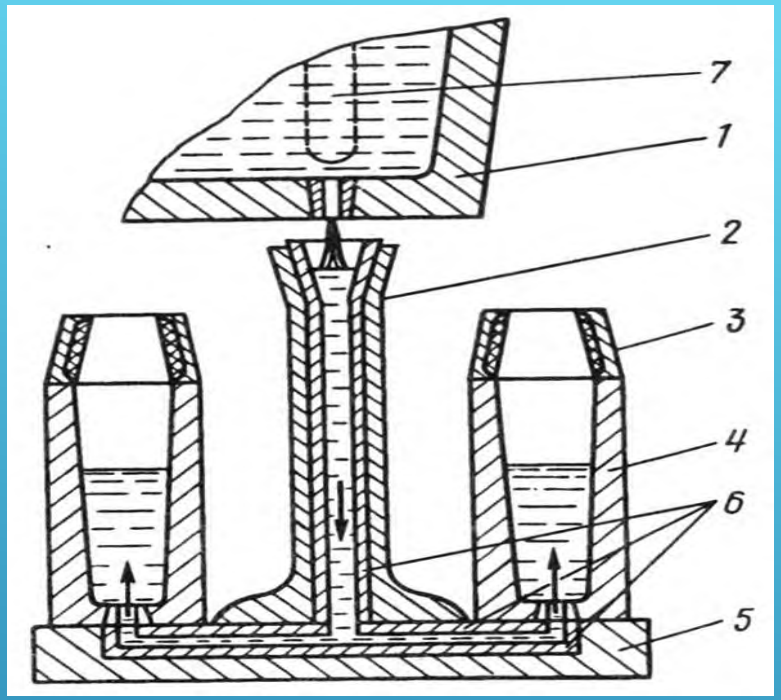



Схема сифонной разливки стали:
1 - сталеразливочный ковш;
2 - центровая; 3 - прибыльная надставка; 4 - изложница;
5 - поддон; 6 - сифонный кирпич;
7 – стопор

## Недостатки сифонной разливки:

- сложность и повышенная стоимость разливки, обусловленные расходом сифонного кирпича, установкой дополнительного оборудования и значительными затратами труда на сборку поддонов и центровых;

- дополнительные потери металла в виде литников (0,7 - 2,5% от массы разливаемой стали) и возможность потерь при прорывах металла через сифонные кирпичи;

- необходимость нагрева металла в печи до более высокой температуры, чем при разливке сверху, так как он дополнительно охлаждается в каналах сифонного кирпича.

## Преимуществами разливки сверху являются:

- более простая подготовка оборудования к разливке и меньшая стоимость разливки;
- отсутствие расхода металла на литники;
- температура металла перед разливкой может быть ниже, чем при сифонной разливке.

## Вместе с тем, разливке сверху присущи следующие недостатки:

• образование пленок на поверхности нижней части слитков, что является следствием разбрызгивания металла при ударе струи о дно изложницы. Застывшие на стенках изложницы и окисленные с поверхности брызги металла не растворяются в поднимающейся жидкой стали, образуя дефект поверхности плены, которые не свариваются с металлом при прокатке, благодаря чему поверхность прокатанных заготовок приходится подвергать зачистке, удаляя участки с дефектами, что ведет к потерям металла;

• большая длительность разливки;

• из за большой длительности разливки снижается стойкость футеровки ковша и в связи с большим числом открываний и закрываний ухудшаются условия работы стопора или шиберного затвора.

# Кристаллизация и строение стальных слитков

## Кристаллизация стали

**Сталь в изложницах кристаллизуется или затвердевает в виде кристаллов древовидной формы - дендритов.** Процесс кристаллизации складывается из двух стадий - зарождения кристаллов и последующего их роста. Различают гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов. Под гомогенным подразумевают образование зародышей кристалла в объеме жидкой фазы, под гетерогенным - уже имеющейся межфазной поверхности.

Гомогенное зарождение происходит следующим образом. В жидком металле вблизи точки кристаллизации вследствие флуктуации энергии, состава и плотности непрерывно образуются группировки атомов с упорядоченной структурой - комплексы или зародыши твердой фазы. Одновременно и непрерывно происходит разрушение большей части из них. С тем, чтобы зародыш стал термодинамически устойчивым, т.е. способным к дальнейшему росту, необходимы определенные условия.

## Условия гомогенного зарождения

Из термодинамики известно, что переход жидкости в твердое состояние и наоборот возможны, если свободная энергия (энергия Гиббса, G) системы при этом уменьшается. Затвердевание или расплавление в процессе изменения температуры объясняются тем, что при температурах, превышающих точку кристаллизации, меньшей удельной свободной энергией обладает жидкая фаза, а при более низких температурах - твердая.

Критический размер это такой, начиная с которого дальнейший рост сопровождается снижением суммарной свободной энергии образования зародыша. Величину критического радиуса зародыша определяют из соотношения

$$r_{КР} = (2\sigma_{Ж-ТВ} T_{КР}) / Q_{КР} \Delta T,$$

где, $\sigma_{Ж-ТВ}$ - межфазное натяжение на границе жидкой и твердой фазы; $T_{КР}$ - температура начала кристаллизации; $\Delta T$ - величина переохлаждения; $Q_{КР}$ - скрытая теплота кристаллизации.

# Рост кристаллов

Зарождающийся кристалл имеет правильно ограненную или близкую к ней форму, определяемую типом кристаллической решетки твердого металла, причем гранями кристалла являются плоскости с наибольшей плотностью упаковки атомов Однако вскоре после зарождения правильный рост возникшего кристалла прекращается и начинается преимущественный рост его вершин, т.е. ветвей дендрита. Объясняется это следующим: количество тепла и примесей сплава, выделяющихся при кристаллизации, будет минимальным у вершин и максимальным у центра граней кристалла, что препятствует дальнейшей кристаллизации у граней. От вершин кристалл, а) вырастают оси А первого порядка (стволы дендрита), на них перпендикулярно направленные оси m второго порядка (ветви), на которых аналогичным образом развиваются оси n третьего порядка и т.д. Появление все новых осей и их постепенное утолщение приводят к формированию сплошного кристалла (дендрита).

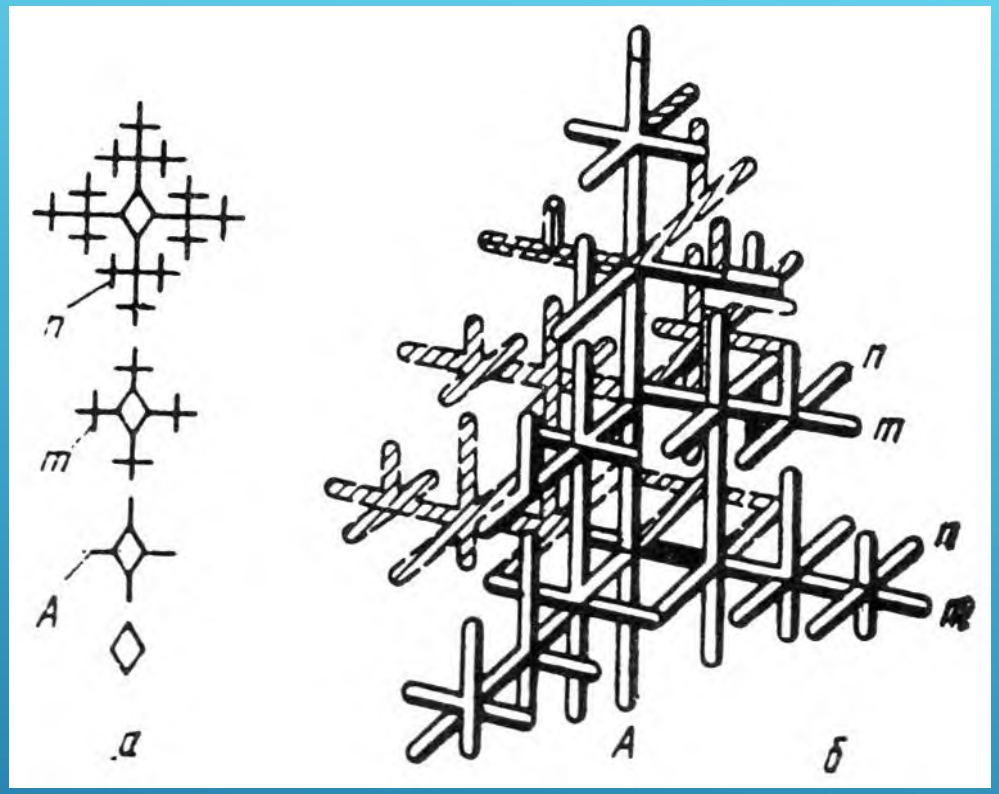



Схема (плоская) роста равноосного дендрита (а) и схема дендрита, выросшего в условиях направленного теплоотвода

## Скорость затвердевания слитка

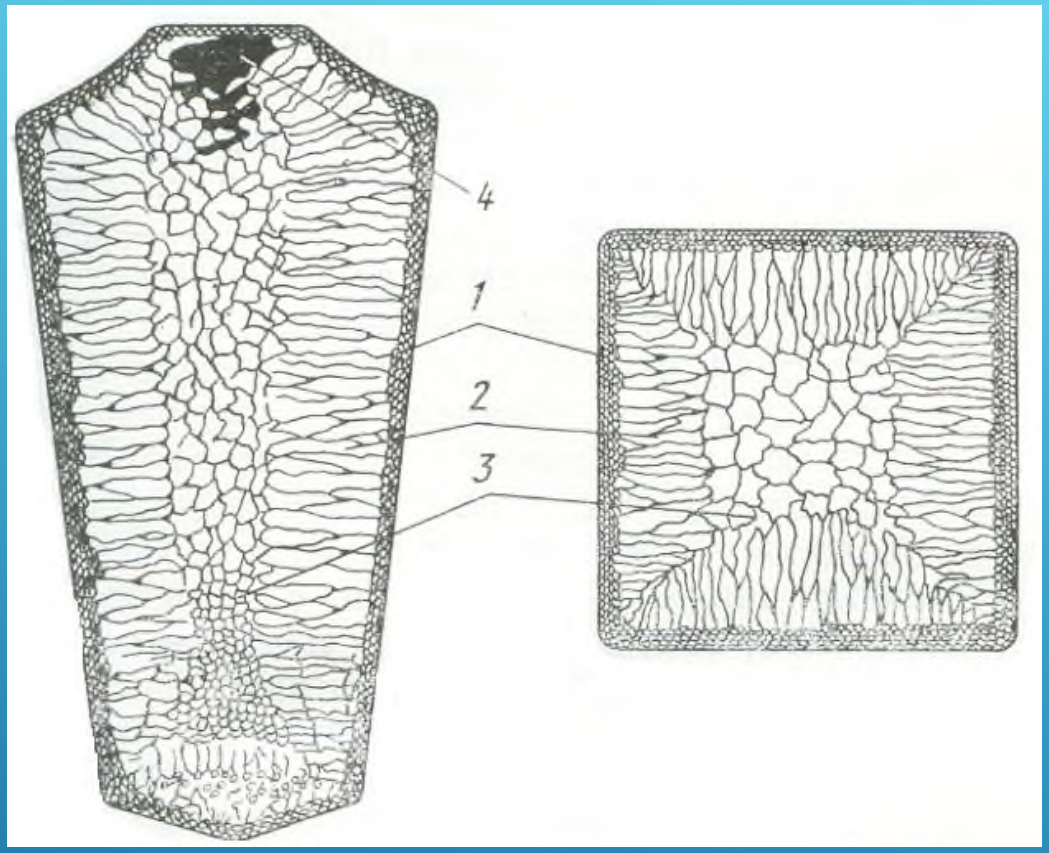
При затвердевании стали в изложнице тепло отводится через ее стенки, поэтому зарождение и рост кристаллов начинаются у стенок изложницы, а толщина затвердевшего слоя непрерывно возрастает в направлении к центру слитка. Толщину затвердевшего слоя металла в изложнице приближенно можно определить по формуле:

$$D = k\sqrt{t_з},$$

Где, D - толщина закристаллизовавшегося металла, см;
$t_з$ - продолжительность затвердевания, мин; k - коэффициент затвердевания, который для спокойной стали в зависимости от ее состава и условий затвердевания изменяется в пределах 2,2 - 2,9 см / мин$^{1/2}$.

Для определения времени затвердевания слитка в чугунной изложнице пользуются формулой $t_{п.з} = 0{,}112R^2$, где $t_{п.з}$ - продолжительность полного затвердевания, мин; R - радиус окружности, вписанной в поперечное сечение слитка, см.

# Спокойная сталь




**Зоны физической неоднородности слитка: 1 - мелкие равноосные кристаллы; 2 - столбчатые кристаллы; 3 - крупные равноосные кристаллы в осевых объемах слитков; 4 - сосредоточенная усадочная раковина**

В начальный соприкосновения жидкого металла с изложницей создается большой градиент температур и образуется множество центров кристаллизации. Из - за огромного количества зародышей, кристаллы мешают друг - другу нормально развиваться, и корковая зона состоит из равноосных и мелких кристаллов.

После образования корки градиент температур снижается вследствие теплового сопротивления, оказываемого коркой, и процесс кристаллизации протекает с образованием мелких столбчатых кристаллов, ориентированных перпендикулярно стенкам изложницы.

В дальнейшем вследствие прогрева стенок изложницы передача тепла уменьшается, и затвердевание жидкой стали замедляется. Начинается формирование второй зоны - зоны столбчатых кристаллов. Кристаллы имеют вытянутую форму и располагаются не перпендикулярно стенкам изложницы, а под некоторым углом к верху, из - за движения газов и ликватов. Столбчатые кристаллы имеют различную длину, которая увеличивается с массой слитка.

# Кипящая сталь

Строение и внешний вид слитков кипящей и полуспокойной стали в значительной мере определяются характером кипения стали в изложнице. Выделение газов из металла вызвано снижением их растворимости с понижением температуры и кристаллизацией, а также взаимодействием свободного кислорода и углерода при их ликвации. В результате взаимодействия кислорода и углерода выделяется газ CO, что вызывает кипение стали. В определенных пределах, с повышением количества выделявшегося газа увеличивается качество слитка.

Часть газа остается внутри слитка в виде пузырей, расположенных в определенной закономерности. В этой связи в слитках кипящей стали отсутствует сосредоточенная усадочная раковина. Наличие пузырьков газа не ухудшает качество слитка т.к. они свариваются при последующей прокатке. Не свариваются лишь те пузырьки, в которые проникает кислород воздуха и их поверхность окисляется. На рисунке 6 приведена структура слитка кипящей стали.

# Структура механически закупоренного слитка

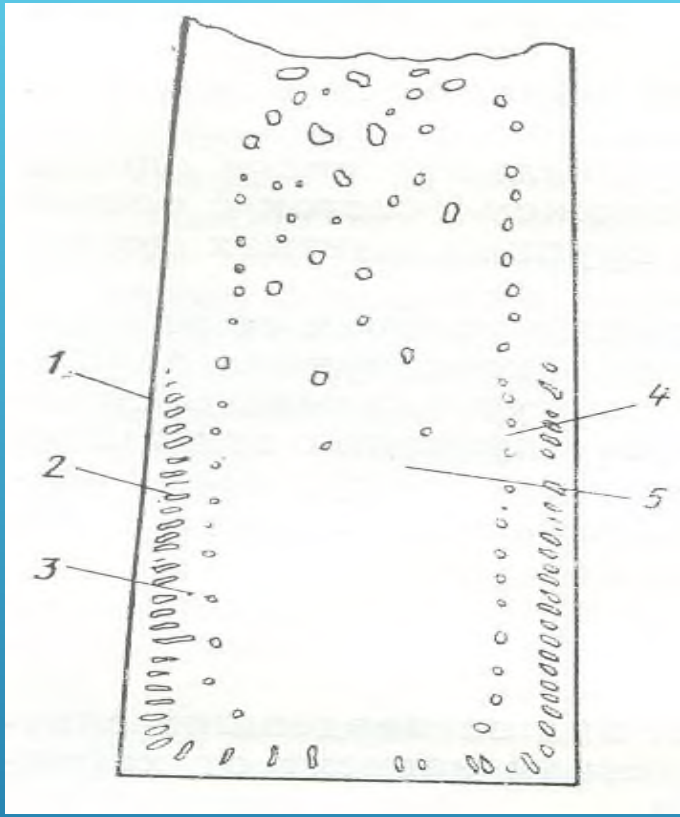
Плотная корковая зона образуется в момент соприкосновения жидкой стали со стенками изложницы в результате быстрого охлаждения и интенсивного выделения газов.

Неполное удаление газа из металла вследствие сдерживания газовых пузырей быстро растущими дендритами вызывает образование зоны сотовых пузырей. Форма пузырей представляет собой прерывистые каналы, вытянутые в направлении отвода тепла.

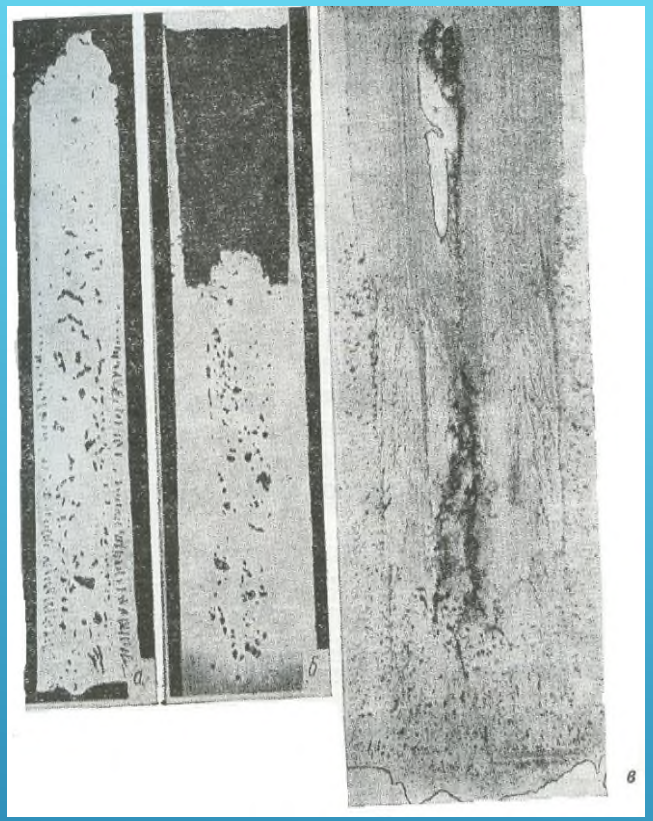
Зарождение и существование газовых пузырей в жидком металле возможно при значительном превышении давления выделяемых газов над внешним:

$$P_{CO} = P_{ат} + \gamma H + 2\sigma / r,$$

где, $P_{ат}$ - атмосферное давление; $\gamma H$ - ферростатическое давление; $2\sigma / r$ - каппилярное давление; $\gamma$ - плотность металла, т / м$^3$; H - высота столба металла, м; $\sigma$ - поверхностное натяжение на границе газ - металл, Н / м; r - радиус пузыря, м.




Характер расположения зон и пузырей в слитке кипящей стали при механическом закупоривании слитка:
1 - корковая зона; 2 - зона сотовых пузырей; 3 - плотная зона; 4 - зона промежуточных пузырей; 5 - центральная зона




Строение слитков кипящей стали: а - рослый; б - с осадкой; в - химически закупоренный

## Промежуточная плотная зона и зона вторичных пузырей

По мере кристаллизации сужается сердцевина слитка, снижается температура и количество выделяющихся газов. Это приводит к затвердеванию зеркала слитка. В первый момент образования корки прекращается образование и выделение газов. В последующем избыток ликватов на фронте кристаллизации приводит к образованию пузырей. Однако эти пузыри уже не удаляются в атмосферу.

## Сердцевина слитка

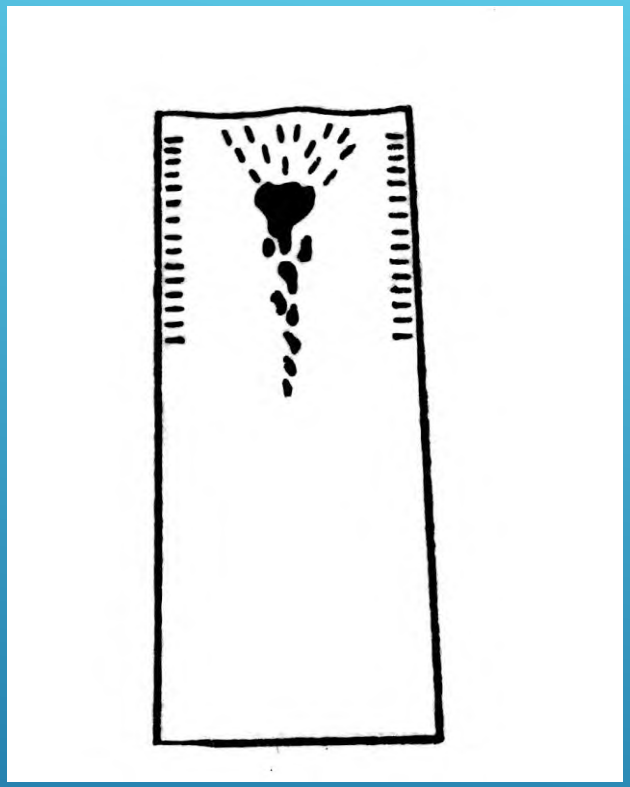
Полная кристаллизация середины слитка, насыщенной примесями происходит медленно. В ней появляется некоторое количество часть которых, может перемещаться вверх. Пузыри имеют круглую форму, размеры которых по мере приближения к головной части слитка увеличиваются.

Верхнюю часть слитка, где, сконцентрированы вредные примеси, удаляют при прокатке (головная обрезь). В рядовых марках стали величина головной обрези составляет 5 - 9%, в качественной увеличивается до 10 - 13%.

## Полуспокойная сталь

Полуспокойная сталь по степени раскисленности занимает промежуточное положение между спокойной и кипящей сталью. Ее раскисляют, как правило, в ковше, вводя силикомарганец, ферромарганец и ферросилиций в количестве, обеспечивающем получение заданного содержания в стали марганца и введение 0,06 - 0,13% Si (по расчету). Различные марки полуспокойной стали содержат 0,05 - 0,5% C; 0,35 - 1,6% Mn и менее 0,12% Si.

Полуспокойную сталь разливают в сквозные расширяющиеся книзу или в бутылочные изложницы. При затвердевании в изложнице наблюдается "искрение" -образование и выделение небольшого количества оксида углерода. Длительность искрения служит показателем оптимальной степени раскисленности стали и должна составлять 10 - 40с.



**Слиток полуспокойной стали**

**Глоссарий:**

1. **Жидкотекучесть** - способность металла заполнять форму.
2. **Усадка** - свойство сплавов уменьшать свой объем при затвердевании и охлаждении.
3. **Линейная усадка** - уменьшение линейных размеров по сравнению с размерами формы.
4. **Объемная усадка** - уменьшение объема в процессе охлаждения, которая примерно равна утроенной линейной усадке.
5. **Усадочная раковина** - полость, заполненная газом.
6. **Прибыль** - технологический прилив к отливке, где при кристаллизации сосредотачивается усадочная раковина.
7. **Дендрит** - кристалл древовидной формы.

## Список литературы

1. Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвиснев А.Н., и др. Металлургия чугуна. М.: Академкнига, 2004. - 774с.
2. Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е. Металлургия чугуна. К.: Вища школа, 1988. - 351с.
3. Явойский В.И., Кряковский Ю.В., Григорьев В.П., и др. Металлургия стали. М.: Металлургия, 1983. - 583с.
4. Борнацкий И.И., Баптизманский В.И., Исаев Е.И., и др. Современный кислородно – конвертерный процесс. М.: Металлургия, 1974. - 264с.
5. Григорян В.А., Белянчиков А.Н., Стомахин А.Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. М.: Металлургия, 1989г.
6. Торговец А.К., Шишкин Ю.И., Артыкбаев О.А. Теория, технология и оборудование внепечной обработки металлов. Алматы: Гылым, 2004. - 273с.