

Лекция № 195

Тема: Строение слитка кипящей стали. Строение слитка полуспокойной стали. Эффективность производства кипящей и полуспокойной стали

План лекции:

1. Строение слитка кипящей стали.
2. Строение слитка полуспокойной стали.
3. Эффективность производства кипящей и полуспокойной стали..

Содержание углерода в кипящей стали обычно не превышает 0,2%, при выпуске металл раскисляют только марганцем. Следовательно, кипящая сталь перед разливкой содержит повышенное количество растворенного кислорода. Такая сталь во время разливки и кристаллизации кипит вследствие протекания реакции самораскисления металла углеродом.

Возможность протекания этой реакции в кристаллизующемся металле обусловлена обогащением жидкой стали перед фронтом кристаллизации углеродом и кислородом в результате ликвационных процессов, а также наличием готовых поверхностей газообразования (стенки изложницы, слой растущих кристаллов).

Таким образом, характерной особенностью процесса кристаллизации слитка кипящей стали является обильное выделение газов из металла, которое начинается с момента соприкосновения жидкой стали с поверхностью изложницы и продолжается до затвердевания верха слитка. Интенсивность газовой выделению обусловлена соотношением концентраций углерода, кислорода и марганца в металле, скоростью и температурой разливки и другими технологическими факторами.

Кроме CO, из кипящего металла выделяются водород и частично азот. В соответствии с рассмотренным механизмом растворенные в стали газы диффундируют в полости пузырьков CO и выносятся с ними в атмосферу. Газы, выделяющиеся из слитка кипящей стали, содержат в основном оксид углерода. Диоксид углерода CO₂ образуется, по-видимому, по вторичным реакциям.

Обильное газовыделение сопровождается возникновением циркуляционных потоков. Металл движется вверх возле фронтов кристаллизации и опускается в центральной зоне слитка. Вследствие выноса более горячего металла на поверхность и интенсивного кипения зеркало металла в слитке долго остается открытым.

На продольном темплете слитка кипящей стали можно всегда обнаружить следующие характерные зоны:

1) плотную наружную корочку, состоящую из равноосных и столбчатых кристаллов, толщина корочки (10—15 мм) зависит от состава металла и условий разливки;

2) зону *сотовых пузырей*, распространяющуюся от плотной корочки к центру слитка на 30— 70 мм. Эта зона занимает нижнюю часть слитка, обычно до половины его высоты.

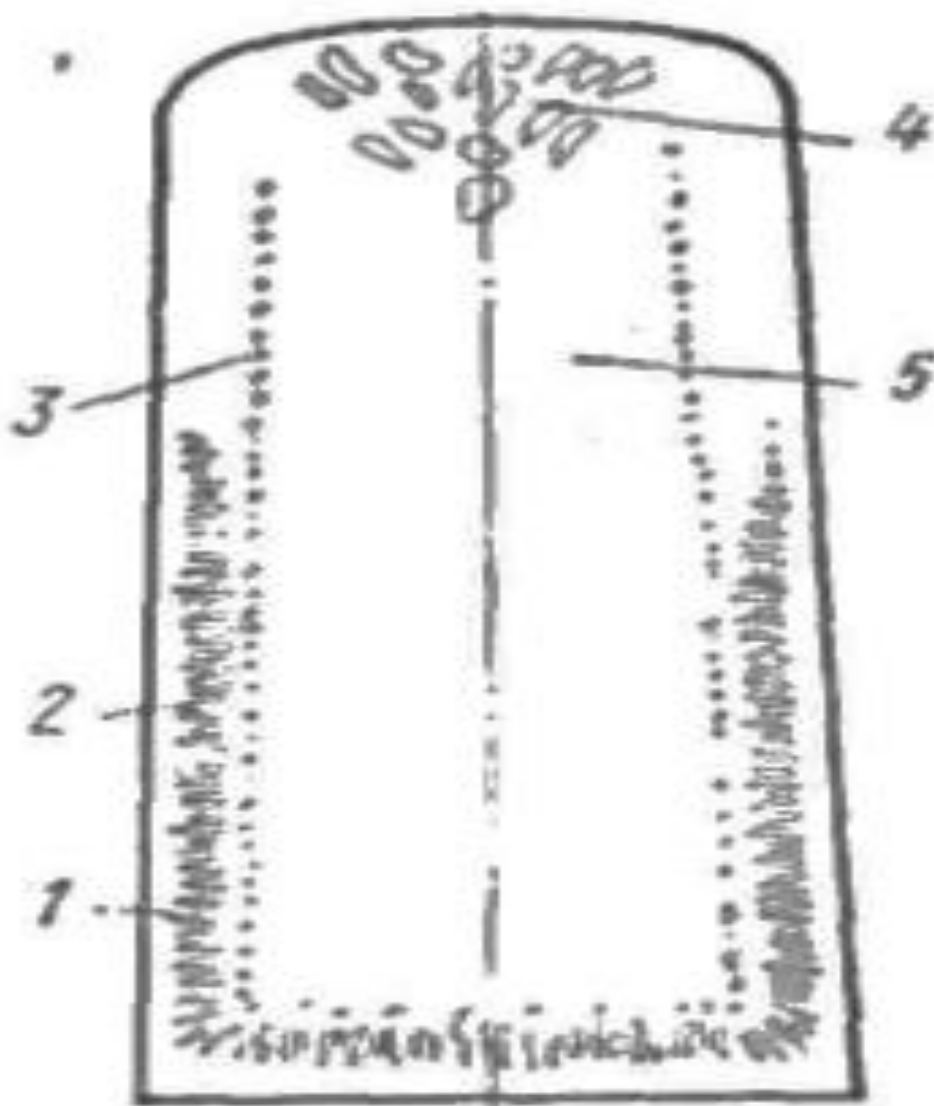
Рядом с сотовыми пузырями располагается цепочка шаровидных *вторичных пузырей*. Эти образования распространяются по всей высоте слитка. Центральная часть слитка представлена плотным металлом, сформированным из равноосных кристаллов произвольной ориентации.

В головной части слитка, непосредственно под верхней корочкой всегда имеется скопление крупных пузырей различной конфигурации и расположения. Эти пузыри усадочного происхождения, хотя и отличаются от усадочной раковины спокойного слитка чистой, неокисленной поверхностью.

Таблица 1. Состав газов, выделяющихся из кристаллизующейся стали (слиток кипящей стали массой 5 т)

Номер пробы	Время от конца разливки, мин	Состав газа, %			
1	4,0	88,6	3,8	6,4	1,2
2	13,1	92,4	3,9	2,4	0,8
3	17,5	92,4	4,0	2,3	0,9
4	21,6	92,2	3,9	2,3	1,0

Рис.1



Выделение газа из металла начинается уже при заполнении изложницы. Газовые пузырьки зарождаются на тонкой первичной корочке и укрупняются во время подъема на поверхность. Вначале газовыделение отличается высокой интенсивностью, и пузырьки не могут задержаться на вертикальных поверхностях, они вымываются потоками газометаллической извести. Растущая в это время корочка слитка свободна от пузырей, имеет плотную структуру.

После некоторого ослабления интенсивности кипения на корочке слитка между растущими осями столбчатых кристаллов начинают задерживаться пузырьки. Затем они растут за счет СО и газов, растворенных в металле. По мере увеличения толщины слоя затвердевшей стали объем сотового пузыря, расположенного между соседними столбчатыми кристаллами, растет в результате его удлинения. На темплетах, сделанных перпендикулярно продольным осям сотовых пузырей, видно, что они расположены очень тесно и, разделяясь небольшими прослойками металла, напоминают пчелиные соты.

Через каждое горизонтальное сечение слитка проходит все количество газа,

образовавшегося в более низких горизонтах. Поэтому интенсивность движения газо-металлической извести нарастает по мере приближения к головной части слитка. С этим фактором связывают отсутствие сотовых пузырей в верхней половине слитка: газовые зародыши не могут закрепиться на поверхности кристаллов, так как вымываются сильными восходящими потоками газа и металла.

Рост сотовых пузырей прекращается в момент, когда поверхность слитка покрывается корочкой и давление в его полости резко повышается. Это обстоятельство затормаживает как реакцию самораскисления углеродом, так и выделение газов из металла. Некоторое время кристаллизация идет без газовой выделения, образуется прослойка металла между сотовыми и вторичными пузырями.

При кристаллизации возрастают концентрации углерода и кислорода в контактном слое жидкого металла, и появляется кратковременная возможность газообразования, дающая небольшие вторичные пузырьки, остающиеся в слитке на месте возникновения. Затвердевание остальной массы слитка даст плотный, без газовых образований металл.

Механизм роста крупных пузырей в головной части слитка иной. Важную роль играют усадочные явления, снимающие давление и полости слитка. С учетом повышенных концентраций углерода и кислорода в верхней части слитка этого достаточно, чтобы из имеющихся газовых зародышей выросли пузыри, общий объем которых примерно соответствует объему усадки центральной части слитка.

Как показали экспериментальные сверления темплетов, под слоем жидкости все пузыри слитка кипящей стали заполнены восстановительной газовой смесью, состоящей из СО и водорода. Поэтому поверхность пузырей очень чистая, с серебристым блеском, при последующей горячей прокатке они полностью завариваются, образуя плотную заготовку. Качество слитка кипящей стали, определяется двумя факторами: толщиной плотной корочки и отсутствием повышенной рослости головной части слитка. Корочка должна иметь толщину, достаточную, чтобы предотвратить обнажение сотовых пузырей при нагреве слитка под прокатку.

Окислительный нагрев сопровождается переходом » окалину определенного слоя металла. При тонкой корочке может произойти раскрытие пузырей, печные газы, проникнув внутрь, окислят их полости. Такие пузыри не завариваются при прокатке и металл пойдет в брак по дефектам поверхности («рванины»).

Рослость слитка связана с толщиной здоровой корочки, так как оба фактора определяются интенсивностью кипения затвердевающего металла. Последняя, в свою очередь, зависит от степени окисленности жидкой стали. Малоокисленный металл (повышенные концентрации углерода, марганца, присутствие других раскислителей) кипит вяло. При слабом газовойделении скорость движения металла у стенок изложницы невелика, газовые зародыши имеют возможность раньше закрепиться на корочке слитка и дать начало сотовым пузырям.

Слабо кипящий слиток рано покрывается тонкой корочкой сверху, газы выдавливают ее, иногда прорывают с выходом металла поверх корочки. Таким образом, значительная

головная рослость слитка служит признаком образования тонкой здоровой корочки. Кроме того, рослые слитки плохо извлекаются из изложниц, дают повышенную головную обрезь.

В последнее время при выплавке кипящей стали, используются экспрессные методы определения активности кислорода, например при помощи активометров. При отклонении фактической степени окисленности металла от оптимальной принимают меры по ее регулированию. Например, при недостаточной степени окисленности практикуют прессовку дробленой окалины или обдув струн металла при разливке кислородом. Для понижения степени окисленности пользуются небольшими присадками гранулированного алюминия в изложницы или в центровые сифоны.

Толщина здоровой корочки определяется также скоростью разливки стали. Чем выше скорость наполнения изложницы, тем тоньше (при прочих равных условиях) плотная корочка. Снизить скорость можно путем одновременного наполнения нескольких изложниц: сифонным способом, сверху через промежуточный ковш или разливкой из ковша через два шибера.

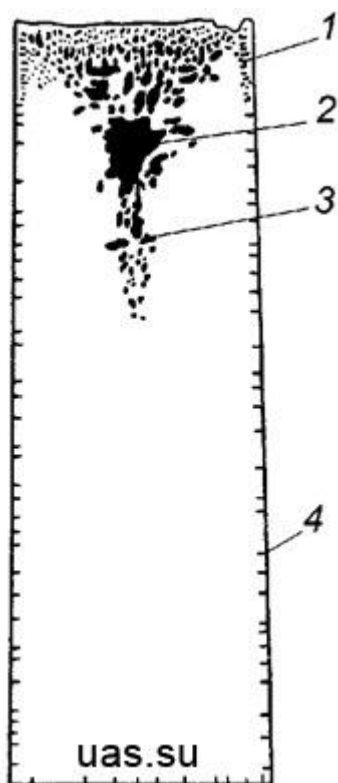
Структура слитка полуспокойной стали

Затвердевание полуспокойной стали сопровождается слабым непродолжительным кипением, для обозначения которого используют термин «искрение». При нормальной окисленности стали искрение длится в течение 10 – 40 с после наполнения изложницы.

Так как при разливке полуспокойной стали интенсивность кипения металла не достаточна для формирования плотной наружной корки слитка значительной толщины, у поверхности слитка обычно наблюдаются мелкие подкорковые пузыри. Короткие сотовые или округлые пузыри могут сформироваться только в верхней его части, где условия кипения металла более благоприятны. Слиток полуспокойной стали имеет небольшую усадочную раковину. Под усадочной раковиной располагается усадочная рыхлость, глубина которой может достигать 35 – 45% высоты слитка (рисунок 19.5).

При нормальной окисленности стали над усадочной раковиной формируется «мост» пузыристого металла толщиной 200 – 250 мм, надежно изолирующий ее от атмосферы.

При длительности искрения менее 10 с слитки получают с меньшей толщиной моста и недостаточно изолированной усадочной раковиной. При продолжительности искрения свыше 40 с возможно образование сотовых пузырей по всей высоте слитка.



- 1 – сотовые (округлые) пузыри;
- 2 – усадочная раковина;
- 3 – усадочная рыхлость;
- 4 – подкорковые пузыри

Рисунок 19.5 – Структура слитка полуспокойной стали:

3 После окислительного периода в стали растворено недопустимо большое количество кислорода, зависящее главным образом от концентрации углерода и значительно превышающее равновесное с ним значение (определяемое из соотношения $[C] \cdot [O] = 0,0025 \%$). Если сохранить это содержание до периода кристаллизации, то ввиду снижения растворимости рассматриваемых элементов будет происходить их интенсивное взаимодействие и, как следствие, выделение газообразных CO и CO_2 (эффект кипения).

Подобное газовыделение и, соответственно, наличие в металле газовых полостей допустимо лишь в небольшом количестве случаев как правило, требуется обеспечить металл с минимальным нарушением сплошности, т.е. протекание реакции окисления углерода при затвердевании должно быть исключено. Кроме того, даже при производстве кипящей или полуспокойной стали интенсивность кипения должна быть вполне определенной, позволяющей получать нормальный слиток. Поэтому в жидкой стали всегда необходимо снижать содержание кислорода, до уровня

обеспечивающего требуемое поведение металла при кристаллизации, что, собственно, и является целью раскисления.

Раскисление кипящей стали сводится лишь к некоторому снижению содержания кислорода в металле при сохранении его уровня выше равновесного с углеродом. Это обеспечивается обычно раскислением только марганцем при остаточном содержании 0,3...0,4 % *Mn*, редко дополнительно вводят кремний (остаточное содержание не более 0,02...0,03 % *Si*) и/или алюминий (тысячные доли процента). Раскисление полуспокойной стали означает получение остаточного содержания кислорода в металле несколько ниже (обычно, примерно, на 10...15 % отн.) равновесного. Только при выполнении этого условия слиток полуспокойной стали формируется нормально: реакция окисления углерода протекает лишь в той мере, в какой она необходима для заполнения газами усадочных пустот и формирования здоровой наружной корочки равноосных кристаллов. Получение, такого остаточного содержания кислорода является непростой задачей, так как небольшое излишнее или недостаточное раскисление приводит к нарушению нормального хода кристаллизации слитка. В большинстве случаев при раскислении полуспокойной стали дополнительно к обычному содержанию марганца (0,4...0,5 %) достаточно иметь в конечном металле 0,08...0,12 % *Si* или несколько тысячных долей процента алюминия.

Раскисление спокойной стали можно считать нормальным, если остаточное содержание кислорода значительно ниже равновесного с углеродом, для этого достаточно иметь остаточное содержание в готовом металле 0,3...0,5 % *Mn* и 0,2...0,3 % *Si*.

Следует иметь ввиду, что при высоком содержании кислорода (на уровне равновесного с углеродом и более) значительно увеличивается вредное влияние неметаллической фазы; проявлением этого является, например:

- повышение общей загрязненности неметаллическими включениями;
- увеличение размера включений;
- выделение пленочных сульфидов.

Поэтому для обеспечения наиболее высоких свойств металлопродукции следует обеспечивать минимально возможное содержание кислорода в стали. Основным способом, позволяющим это достичь, является, так называемое, "глубинное" или "осаждающее" раскисление, заключающееся в переводе растворенного кислорода в нерастворимый окисел путем введения в объем металла раскислителя - элемента, обладающего высоким сродством к кислороду. При этом, как правило, стремятся применять комплексное раскисление, заключающееся во введении

одновременно нескольких элементов с высоким сродством к кислороду. Эффект такого технологического приема заключается в снижении активности продуктов раскисления за счет их взаимодействия между собой. Кроме того, образующиеся при этом сложные оксиды имеют более низкую температуру плавления, скорость их укрупнения возрастает, и, соответственно, условия удаления образующихся продуктов раскисления улучшаются.

В состав комплексных раскислителей желательно включать такие компоненты, которые при окислении образуют включения с минимальным поверхностным межфазным натяжением на границе металл-включение, что значительно облегчает процесс выделения неметаллических включений (к таким компонентам, прежде всего, относится марганец).

Помимо глубинного раскисления применяют также диффузионное раскисление, заключающееся в раскислении шлака. Метод основан на том что, в тех случаях, когда отсутствует кипение ванны между активностью кислорода в металле и шлаке существует определенное соотношение $a_{FeO}/a_O = \text{const}$ (закон распределения примесей, растворенных в двух несмешивающихся жидкостях). Соответственно любой способ уменьшения активности оксидов железа в шлаке приводит к снижению окисленности металла. Обычно при этом способе раскисления на шлак дают смеси, в состав которых, входят сильные восстановители: углерод (кокс, древесный уголь, электродный бой), кремний, алюминиевая сечка, порошки кальцийсодержащих материалов (силикокальций, карбид кальция) и др.

Характерной особенностью данного метода раскисления является то, что в самом металле не протекают реакции раскисления и, соответственно, кислородные соединения не образуются. Следствием этого является большая чистота стали по первичным и вторичным эндогенным включениям. Однако этот метод очень длителен и практически не позволяет получать глубоко раскисленный металл.

В отдельные способы раскисления также выделяют обработку металла шлаком в ковше и вакуумирование.

Эффективность применения того или иного метода раскисления (и, следовательно, общее содержание кислорода) определяется раскислительной способностью используемого элемента-раскислителя и степенью приближения системы к равновесию. Последнее, в свою очередь, зависит от кинетики реакций раскисления, скорости зарождения и удаления продуктов раскисления из жидкого металла и от взаимодействия расплава с сосуществующими фазами.

Вопросы для самоконтроля.

1. Назовите предел содержания углерода в кипящей стали?
2. Когда и в какой момент происходит обильное выделение газов из металла?
3. Что выделяется кроме СО из кипящего металла?
4. Почему зеркало металла в слитке долго остаётся открытым?
5. Охарактеризуйте зоны кипящей стали?
6. Расскажите о вторичных пузырях?
7. Расскажите о "рванинах"?
8. Как кипит малоокисленный металл?
9. Почему рослые слитки плохо извлекаются из металла?
10. Для чего присаживают гранулированный алюминий?

Использованная литература:

Г.А. Соколов "Производство стали ", стр. 390-394