

Лекция № 198

Тема: Дефекты стальных слитков, причины их образования.
Химическая неоднородность стальных слитков. Внешние и внутренние дефекты стальных слитков. Способы предупреждения дефектов

План лекции:

1. Химическая неоднородность стальных слитков.
2. Дефекты стальных слитков, причины их образования. Внешние и внутренние дефекты стальных слитков.
3. Способы предупреждения дефектов

1. В процессе кристаллизации сплава может происходить частичное его разделение по составу, в результате чего образующаяся литая структура становится химически неоднородной. Процесс разделения сплава, так называемая *ликвация*, очень сложен, механизм его до конца еще не изучен. Первое представление о причинах ликвации можно получить на основе анализа диаграмм состояния систем, составляющих данный сплав.

Оценим возможность ликвации углерода, проанализировав участок диаграммы состояния Fe—C. Если кристаллизуется сталь, содержащая 0,1—0,40% C, то по достижении линии ликвидуса из расплава начинают выпадать кристаллы низкоуглеродистого железа (0,04—0,06% C), а жидкая фаза постепенно обогащается углеродом. В последних каплях жидкой стали на линии солидус может содержаться до 0,59% C. Таким образом, при затвердевании стали можно получить различную концентрацию углерода даже при пределах одного кристалла.

Аналогично поведение в других элементов-примесей в процессе кристаллизации. При этом наибольшую склонность к ликвации обнаруживают примеси, ограниченно растворимые в твердой стали и дающие значительный интервал кристаллизации (разность температур ликвидуса и солидус). По диаграммам состояний сплавов на основе железа Гайес и Чипман вычислили равновесные коэффициенты распределения различных элементов между твердым и жидким металлом. Значение этого коэффициента должно характеризовать тенденцию данного элемента к ликвации. Так, коэффициент распределения углерода K по рассмотренной диаграмме состояния равен $K = 0,075$: $0,59 = 0,13$. Склонность элемента к ликвации пропорциональна коэффициенту ликвации— K .

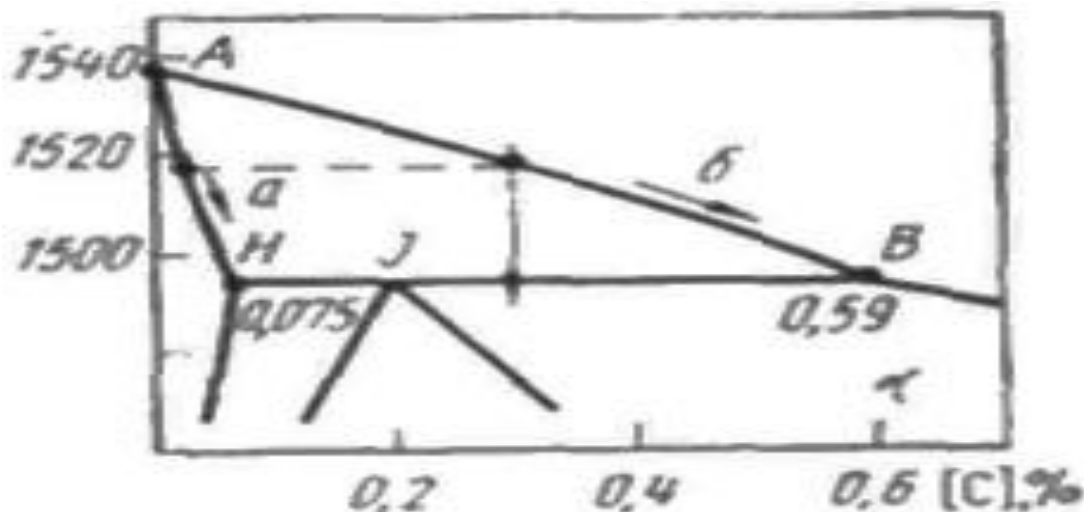


Рис.1

Наибольшую ликвационную способность должны иметь примеси - металлоиды, наименьшую—металлы, неограниченно растворимые в железе и образующие с ним растворы замещения. Металлургическая практика в целом подтверждает эти теоретические предположения. Так, в наибольшей степени ликвируют сера, фосфор, углерод; кремний, марганец и аналогичные им элементы распределены в литом металле более равномерно. Эти способности элементов достаточно четко проявляются при рассмотрении химической неоднородности в пределах кристаллита, т. е. в явлении *дендритной ликвации*.

При затвердевании реальных слитков ликвационные процессы дополняются отстаиванием металла по плотности, в ходе которого обогащенные примесями (и, следовательно, более легкие) области сплава могут всплывать, перемещаться по объему слитка. Кроме того, масса металла перемешивается во время затвердевания за счет тепловой конвекции и выделяющихся газов. В результате действия этих факторов в слитке появляется так называемая *зональная сегрегация*, т. е. обогащение примесями отдельных участков литого металла.

Основными условиями, способствующими развитию ликвационных процессов, являются низкая скорость кристаллизации и перемешивание расплава во время затвердевания. При медленной кристаллизации более полно успевает пройти разделение сплава, а оставшиеся в жидкой фазе примеси диффундировать от фронта кристаллизации в глубь жидкого металла. Исходя из этого, химическая неоднородность должна быть сильнее развита в крупных слитках. Следует также ожидать повышенной сегрегации, в слитках кипящей стали, интенсивно перемешивающейся во время кристаллизации.

Наглядное представление о расположении ликвационных зон стального слитка дают серные отпечатки. Для их получения используют обычную фотобумагу с эмульсией из бромистого серебра. При наложении бумаги на обработанный соответствующим образом темп лет слитка в эмульсионном слое образуются черные кристаллы сульфида серебра. Степень почернения фотобумаги пропорциональна концентрации серы в данном участке

поверхности темплета.

Слиток спокойной стали

На рис. 1 показана типичная картина расположения ликвационных зон в продольном темплете слитка спокойной стали (по данным серных отпечатков). В табл.1 приведено распределение элементов в теле слитка хромоникелевой стали массой 8 т.

Таблица 1. Распределение примесей в слитке спокойной стали

Точки отбора проб	Содержание элементов, доли от среднего						
	S	P	C	Si	Mn	Ni	Cr
1	2.03	1.67	1.41	1.06	0.99	1.09	1.14
2	1.03	1.04	1.05	0.99	1.01	1.02	1.00
3	1.11	1.07	1.05	0.99	1.01	0.99	0.96
4	0.91	0.92	0.95	0.99	0.99	1.04	1.00
5	0.92	0.96	0.94	0.99	0.99	1.04	1.00

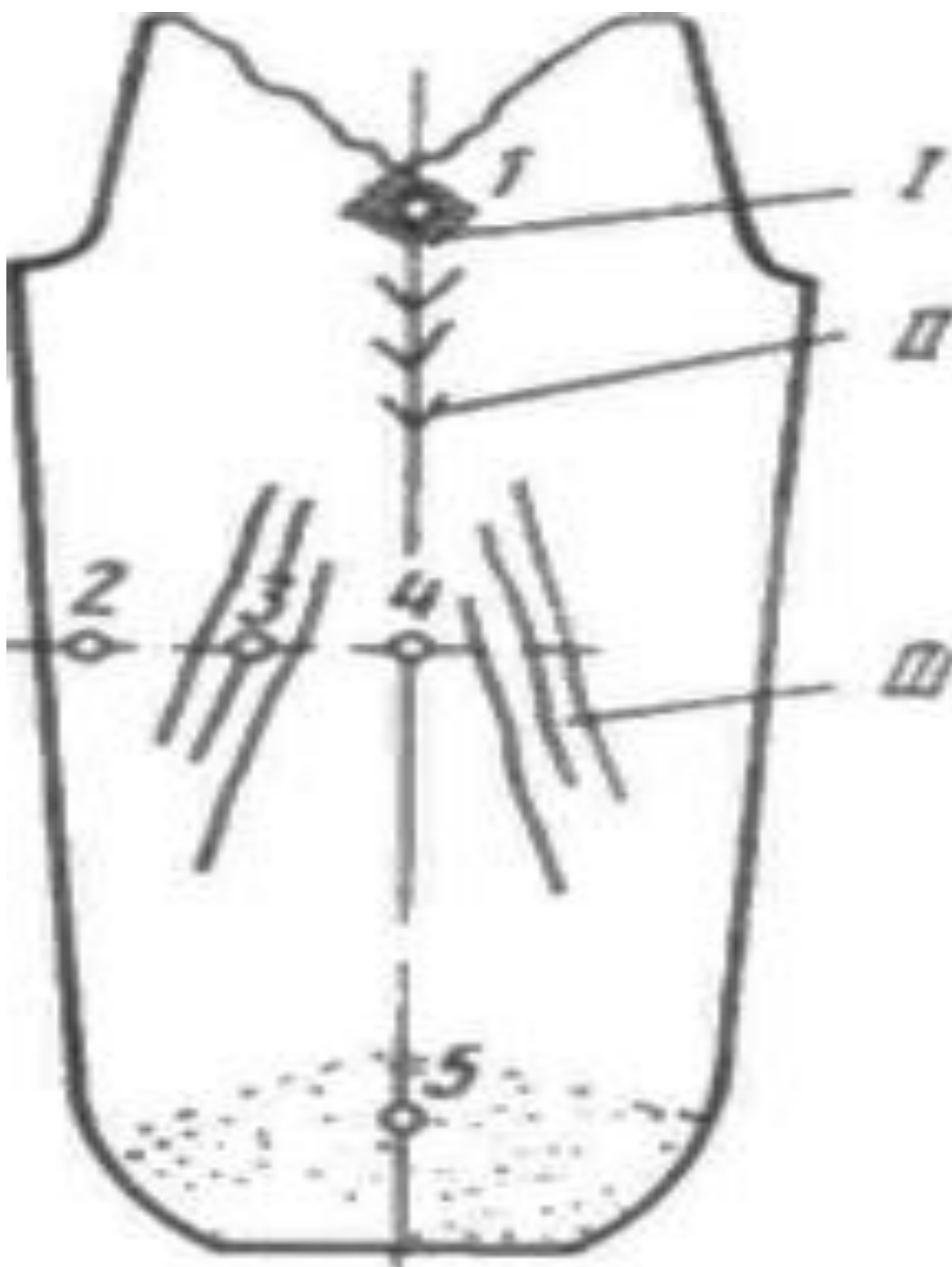


Рис. 2 Схема расположения ликваций в слитке спокойной СТАЛИ:

Наиболее загрязненное ликватами место спокойного слитка находится непосредственно под усадочной раковинной, в зоне усадочной рыхлости. Остальные участки слитка различаются по химическому составу не сильно. Наружная быстро затвердевающая корочка слитка фиксирует состав, близкий к среднему. Центральная зона и низ слитка (точки 4 и 5) имеют *отрицательную сегрегацию*, этот металл более чист по большинству элементов, чем исходная жидкая сталь. В соответствии с теоретическими предпосылками марганец, никель и хром обнаруживают заметной ликвации, их содержание в различных участках слитка близко к среднеплавочному. Серные отпечатки показывают две характерные ликвационные зоны, присущие всем слиткам спокойной стали (см. рис.2). Считают, V-образная ликвационная зона, расположенная под усадочной раковиной, формируется из последних порций жидкого металла, загрязненного примесями. Пополняя усадку, эти объемы опускаются по оси слитка, часто достигая трети его высоты.

Предполагается, что A-образная ликвация образуется в результате медленного остывания обогащенного примесями раствора перед фронтом кристаллизации. За время всплывания ликватов кристаллизация продвигается к центру слитка, поэтому ликвационные полосы составляют определенный угол с его гранями. В районе ликвационных полос (проба 3) отмечается повышенное содержание серы и фосфора.

При снижении скорости кристаллизации ликвационные явления должны усиливаться, поэтому все факторы, действующие в этом направлении, способствуют развитию химической неоднородности слитка. Так, отмечена значительная неоднородность слитков, отлитых в земляные или керамические формы. Напротив, разливка в водоохлаждаемые формы и кристаллизаторы существенно повышает степень химической однородности литого металла. Длительность кристаллизации внутренних объемов слитка пропорциональна размерам его поперечного сечения. Поэтому ликвационные процессы развиваются по мере увеличения массы слитка. В этом же направлении действует повышенная температура разливки стали: при заполнении изложницы перегретым металлом увеличивается длительность затвердевания слитка.

В целом химическая неоднородность слитка спокойной стали относительно невелика. Повышенной загрязненности зоны усадочной рыхлости не следует придавать большого значения, так как этот участок слитка уходит при прокатке в головную обреш. Разливая спокойную сталь с пониженным содержанием вредных примесей и при оптимальной температуре, можно быть уверенным в получении литого металла, достаточно однородного по химическому составу.

Слиток кипящей стали.

По характеру ликвационных явлений слитки кипящей и спокойной стали резко различаются. Во-первых, в слитках кипящей стали, ликвация примесей плавно увеличивается от периферии к центральной оси и от низа к головной части; во-вторых, она выражена значительно сильнее, чем в стали раскисленной.

Серные отпечатки показывают, что внешняя плотная корочка и зона сотовых пузырей относительно чисты по сере, а степень почернения внутреннего объема увеличивается к головной части слитка.

Как показали исследования в области плотной корочки и сотовых пузырей по всей высоте слитка наблюдается отрицательная сегрегация примесей. Концентрации элементов резко возрастают в зоне вторичных пузырей, у оси слитка отмечаются максимальные концентрации серы, фосфора и углерода. Наиболее загрязнена головная часть слитка, где содержание серы в шесть-семь, фосфора в четыре-пять и углерода в три-четыре раза выше, чем в исходной жидкой стали. Область недопустимо высокого загрязнения металла может достигать 30% высоты слитка.

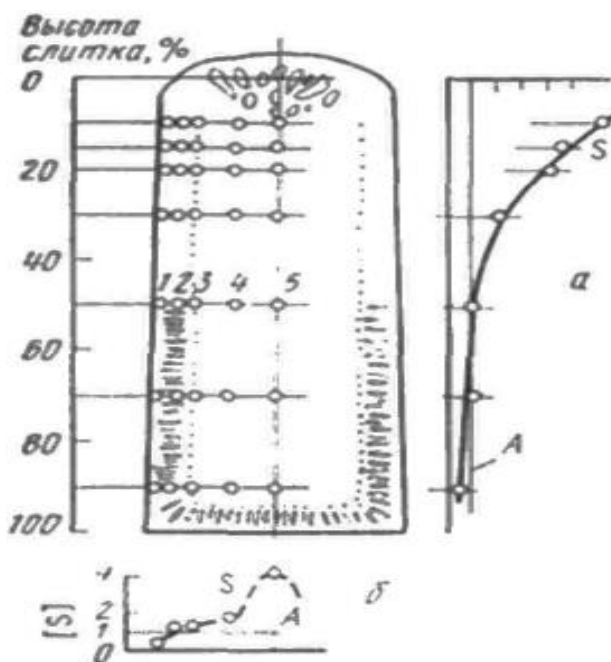


Рис. 3 Ликвация серы в кипящей стали

На развитие ликвационных процессов в слитке кипящей стали особенно сильно влияют два фактора: масса слитка и продолжительность кипения стали в изложнице. Влияние массы твердеющего металла уже рассматривалось: крупные слитки дольше и медленнее кристаллизуются, следовательно, более полно успевают пройти процессы разделения расплава.

Роль второго фактора тесно связана с особенностями кристаллизации кипящей стали. Как уже отмечалось, в процессе затвердевания такого слитка вдоль вертикальных слоев кристаллов, растущих от стенок изложницы, движутся восходящие потоки газометаллической извести. Эти потоки увлекают металл, обогащенный ликватами, в верхние горизонты слитка. Несмотря на циркуляционный характер движения жидкой стали, происходит постепенное ее отстаивание и сосредоточение более легкого,

обогащенного примесями металла у оси и в головной части слитка.

Повышенную чистоту от вредных примесей внешних слоев слитка (зоны плотной корочки и сотовых пузырей) легко объяснить тем, что оттесняемый перед фронтом кристаллизации загрязненный ликвидирующими примесями расплав все время уносится с поверхности контакта и заменяется более чистым. Очевидно, чем меньше продолжительность кипения стали в изложнице, тем меньше вынос ликватов в головную часть слитка и, следовательно, тем слабее химическая неоднородность готовой стали. Проблемы повышения качества слитка кипящей стали в значительной степени связаны с регулированием интенсивности и продолжительности кипения металла в изложнице.

2. В зависимости от марки стали, и технологии выплавки и разливки в стальных слитках могут быть поверхностные и внутренние дефекты. Одни из них, например, неметаллические включения, получаются неизбежно, и устранять их вредное влияние удастся с большим трудом. При дальнейших переделах большинство дефектов слитков сохраняется, в результате чего снижается качество продукции и уменьшается выход годного.

Рассмотрим отдельные виды дефектов стальных слитков и заготовок. Отклонения химического состава от принятых норм. Характеристика дефекта — несоответствие данных химического анализа плавки нормам ГОСТ или ТУ для заданной марки стали. Возможные причины образования дефекта — нарушение технологии ведения планки, применение некачественных или неизвестного состава ферросплавов и раскислителей ошибки в расчетах, неточная дозировка шихты или ферросплавов.

Трещины являются крупнейшим пороком стального слитка, они бывают поперечные и продольные, внутренние и внешние, горячие и холодные. Поперечные трещины на поверхности слитка образуются вследствие затекания металла между изложницами и прибыльными надставками из-за неровности их поверхности контакта, при этом слитки не имеют свободной усадки и зависают. Продольные трещины образуются вследствие внутренних напряжений, возникающих в слитках, что связано с более быстрым охлаждением наружной корки слитков, чем внутренних частей слитка.

Трещины от фазовых превращений образуются в слитках легированной стали при понижающих температурах. Возникновение и развитие напряжения от фазовых прекращений в значительной степени связаны с химической неоднородностью слитка — различием состава металла в разных зонах слитка (зональная ликвация) или состава осей и межосных пространств дендритов.

При разливке сверху образуются плены в нижней части слитка вследствие разбрызгивания струн металла на стенки изложницы. Мерами предотвращения образования плен при разливке сверху является медленное поднимание в начале разливки стопора или открытие шиберного затвора, а также применение

промежуточных устройств. При сифонной разливке также недопустимо резкое поднятие стопора или открытие шиберного затвора, так как при выходе из отверстия сифонного кирпича металл дает всплески и брызги, образующиеся на нижней поверхности слитка плены.

Пузыри — дефект слитка, нарушающий сплошность металла. Они могут находиться на самой поверхности слитка, вблизи поверхности или глубоко в теле слитка. Пузыри, близко расположенные от поверхности слитка, называются подкорковыми, они встречаются в слитках спокойной, полуспокойной и кипящей стали. По размерам они бывают самые разнообразные, в среднем 2-3 мм. При контакте подкорковых пузырей с печной атмосферой нагревательных устройств поверхность их окисляется, при прокатке такие пузыри не завариваются, образуя на заготовках рванины. Глубокое расположение подкорковых пузырей в теле слитка, если поверхность их не окисляется и не имеет загрязнений неметаллическими включениями, приводит к свариванию при прокатке.

Волосовины — пороки металла, обнаруживаемые на поверхности прокатных заготовок в виде тонких небольших надразов, ориентированных на глубину до 4—5 мм. Возникновению волосовин способствует повышенная вязкость металла. Пояса образуются тогда, когда наполнение изложниц или кристаллизаторов временно прекращается или резко замедляется. Образующаяся твердая корка при дальнейшей разливке заливается металлом и является местом сосредоточения неметаллических включений. При непрерывной разливке места расположения поясов на непрерывном слитке вырезаются и переводятся в отходы металла.

Усадочная рыхлость представляет собой неплотные строения в виде мелких пор, располагающихся в центральной части слитка ниже усадочной раковины, обнаруживается на слаботравленных макротемплетах. Причинами усадочной рыхлости являются, низкая температура стали, способствующая увеличению вязкости металла и обогащению неметаллическими включениями, неправильно выбранный способ разливки стали.

Пористость характеризуется неплотным строением в виде мелких пор, расположенных по всему сечению, выявляется при макроконтроле нетравленных и слаботравленных макротемплетов. возникает в результате перегрева планки, нераскисленности металла, газонасыщенности.

Транскристаллизация представляет весьма сильное развитие длинноосных дендритов ориентированных перпендикулярно к грани слитка и сходящихся к его оси. Выявляется на поверхности излома в виде лучисто кристаллической структуры за зоной мелкозернистых кристаллов, расположенных непосредственно у граней слитка. На характер транскристаллизации влияют, химический состав стали, величина и форма слитка.

Пятнистая дендритная микроликвация представляет химико-физическую

неоднородность в отдельных зонах слитка как следствие разделения элементов в жидкой стали и при переходе ее в твердое состояние при наличии междендритных кристаллов. Способствуют возникновению пятнистой дендритной микроликвации высокая температура и большая скорость разливки, замедленная кристаллизация в центральных участках слитка.

Неметаллические включения эндогенные образуются в результате химико-физических процессов при плавке, разливке и кристаллизации. Способствуют увеличению количества эндогенных включений переокисление ванны, повышенное содержание серы, недостаточная температура металла при выпуске плавки, продолжительный выпуск плавки и ковш и длительная разливка, увеличивающая контакт жидкой стали с воздухом и огнеупорами, вторичное окисление.

Экзогенные (шлаковые) включения, представляющие собой частицы огнеупоров, песка и других веществ, попавших в сталь извне при выплавке и разливке, возникают при недостаточной чистоте желобов, сталеразливочных ковшей, сифонных проводок и изложниц, «подкачки» слитков при разливке.

Усадочная раковина — полость, не заполненная металлом, располагается преимущественно в центре верхней прибыльной части слитка спокойной стали. Величина и форма усадочной раковины определяются составом стали, конусностью слитка, температурой, составом засыпок доливками и подкачкой слитков.

Сотовые пузыри располагаются в виде сот непосредственно вблизи поверхности слитка кипящей или полуспокойной стали. Пузыри, находящиеся в нормальном слитке кипящей стали на глубине достаточной, чтобы они не обнажались при нагреве и прокатке, дефектом не являются. Близкому расположению сотовых пузырей и наружной поверхности слитков кипящей стали и полуспокойной способствуют высокая скорость наполнения изложницы при разливке, повышенная газонасыщенность переокисленности плавки.

Рослость — увеличение высоты слитка по сравнению с уровнем стали в изложнице заливины металла через изложницы, выпучины металла на верхнем торце слитка. В нормальных слитках кипящей стали рослость не должна превышать 150- 200 мм. С увеличением рослости слитков кипящей стали, повышается головная обречь раскатов слитком и уменьшается выход годного металла. Большая рослость слитков кипящей стали, обусловлена несоответствием между объемом газовых пузырьков, образующихся внутри жидкого металла, и объемом этих пузырьков, выходящих из жидкого металла в атмосферу. Уменьшение скорости разливки приводит к снижению рослости слитков.

Усадка кипящего металла (голенище) — полая верхняя часть слитка кипящей стали, имеющая тонкую наружную оболочку и открытая сверху в виде футляра или голенища над телом слитка. Усадка кипящего металла получается в результате его вспенивания и последующей посадки. Вспенивание металла

характеризуется повышенной скоростью образования пузырей, превышающей возможную скорость их удаления. Усадка кипящего металла наблюдается на плавках с большим количеством растворенных газов и при пониженном содержании в нем марганца (0,25 % и ниже).

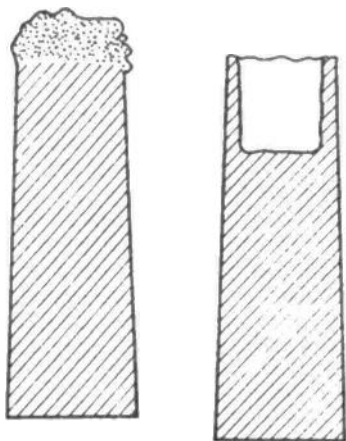


рис1

рис2

Флокены — пороки, характерные для сталей высокоуглеродистых и легированных, особенно хромоникелевых. Флокены представляют собой внутренние разрывы металла, которые возникают в заготовках или поковках после прокатки иликовки во время последующего охлаждения. Основными причинами образования флокенов являются растворенный в стали водород и внутренние напряжения (структурные, термические).

Дендритная ликвация — химико-физическая неоднородность стали, выражающаяся в обогащении междендритных промежутков элементами стали, а также в скоплении в них неметаллических включений.

Карбидная сегрегация — химико-физическая неоднородности стали, выражающаяся в скоплении преимущественно между ветвями дендритов сложных карбидов хрома, вольфрама, ванадия и других легирующих элементов.

3.К основным направлениям улучшения качества стальных слитков относятся: разливка стали под шлаками и защитными покрытиями: применение брикетов при разливке стали: суспензионная разливка стали. При производстве качественных слитков легированных сталей применяют синтетические шлаки и защитные покрытия. Разливка легированных сталей, имеющих в своем составе легкоокисляющиеся элементы (алюминий, титан и др.), наиболее эффективна при использовании жидких шлаков и быстро расплавляющихся экзотермических.

Рациональным является способ получения жидкого шлака непосредственно на зеркале металла и изложницах в результате сгорания и расплавления экзотермических смесей в порошкообразном и брикетированном состояниях. Разливка стали с применением порошкообразных смесей применяется на металлургических заводах «Днепропетцсталь» и «Красный Октябрь» Экзотермические

шлакообразующие брикеты находят применение на заводе «Красный Октябрь» и Челябинском металлургическом комбинате.

Суспензионная разливка является способом получения слитков и отливок, при котором и расплаве создаются активные центры кристаллизации для измельчения структуры литого металла. Суспензионная разливку разделяют на экзогенную, эндогенную и совмещенную. При экзогенной разливке в расплав вводят до 10 % порошкообразных добавок (железного порошка, стальной и чугунной дроби, гранул различных металлов и др.).

При эндогенной суспензионной разливке с помощью различных технологических приемов — механических, ультразвуковых или электромагнитных — и объеме расплава создаются дополнительные активные эндогенные центры кристаллизации. Суспензионная разливка позволяет существенно повышать качество стальных слитков в отношении получения дисперсной и однородной структуры с минимальным развитием литейных дефектов.

Вопросы для самоконтроля.

1. При разливке сверху какой дефект образуется?
2. Расскажите о дефекте слитка, нарушающей сплошность металла.
3. Расскажите о волосовинах.
4. Расскажите об усадочной рыхлости.
5. Охарактеризуйте дефект получившийся из за большой скорости разливки.
6. Что способствует возникновению рослости и усадки "голенище" кипящей стали?
7. Каков механизм образования сотовых пузырей в слитке кипящей стали?
8. Расскажите о шлаковом поясе. Причины возникновения дефекта.
9. Перечислите возможные причины образования дефекта.
10. Что называют ликвацией?
11. Расскажите о дендритной ликвации.
12. Когда в слитке появляется зональной сегрегации?
13. Расскажите о распределении элементов в теле слитка хромоникелевой стали массой 8т.
14. Охарактеризуйте схему расположения ликвационных зон в слитке спокойной стали.
15. Как различаются по характеру ликвационных явлений слитка кипящие и спокойной стали?
16. Расскажите о результатах исследования 7т слитка кипящей стали на распределение примесей
17. Какая часть слитка более загрязнена?
18. Назовите два фактора влияющие на развитие ликвационных процессов.

Использованная литература:

- Г.А. Соколов "Производство стали", стр. 393-397.
Г.А. Соколов "Производство стали", стр. 395-401