



Experience of operating of the section continuous casting machines of OAO "BMZ" shows that technologies dealing with industrial exploitation of these machines must solve problems on improvement of installations constructions, smelting technologies and out-of-furnace steel processing, selection of refractory materials, improvement of the billet crystallization process, metal protection from secondary oxidation, improvement of the billet quality, etc.

М. Е. КОНТАНИСТОВ, С. В. ТЕРЛЕЦКИЙ, В. А. ШАТИЛО,
ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»

УДК 669.74

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛИ, СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ МНЛЗ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИВКИ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Определение оптимальных параметров рафинирования стали на агрегате ковш-печь и работы МНЛЗ в условиях ОАО «БМЗ» является крайне необходимым. В данной статье рассматривается влияние химического состава металла, технологических параметров разливки на качество отливаемой сортовой заготовки.

Качество непрерывнолитых заготовок в значительной мере определяется оптимальными условиями затвердевания заготовки, а также химическим составом разливаемой стали. Широкий температурный интервал кристаллизации стали является преобладающим фактором, вредное влияние которого нельзя ликвидировать принятыми технологическими средствами. Например, сталь марки СтЗсп имеет более широкий интервал кристаллизации (20–25 °С), чем сталь марки 1006 (12–17 °С). Следовательно, непрерывнолитой слиток из различных марок стали в разной степени подвержен возникновению дефектов.

Неправильно подобранные температурно-скоростные режимы разливки и охлаждения слитка в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения (ЗВО) МНЛЗ приводят к образованию характерных дефектов заготовок в виде осевых, межкристаллитных и поверхностных трещин (рис. 1).

Неравномерное охлаждение металла в кристаллизаторе, непостоянная скорость разливки, размытие затвердевающей корочки потоками подвального расплава, неравномерное распределение потоков металла по объему жидкой лунки и ряд других причин технологического характера служат причинами возникновения данных дефектов.

Возникновение трещин происходит из-за термических напряжений в корочке слитка, превышающих критические значения по причине неравномерности распространения фронта затвердевания слитка.

В связи с этим на ОАО «БМЗ» была проведена работа на шестиручьевой МНЛЗ с базовым радиусом 5 м по внедрению производства использования гильз кристаллизаторов сечением 140×140 мм конструкции «ВМ-синус» с двухслойным покрытием, разработанной АХК «ВНИИМЕТМАШ». Замена ранее применяемых одноконусных гильз на гильзы конструкции «ВМ-синус» позволила снизить разнотолщинность по периметру затвердевания корочки слитка и возникающие термические напряжения при выходе из кристаллизатора, что привело к уменьшению количества потерь ручьев в 3 раза, обеспечить увеличение скоростного режима разливки с 2,0–2,4 до 2,3–2,6 м/мин и средней серийности разливки до 32 плавов (на 25%).

Следующим этапом увеличения производительности МНЛЗ без потери качества заготовки стало усовершенствование конструкции коллекторов в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ. При участии компании ООО «Спреинг Системс Рус» был разработан проект модернизации конструкции ЗВО МНЛЗ с увеличением общей длины зоны вторичного охлаждения от 4168 до 6000 мм за счет удлинения коллекторов зоны С и применением форсунок вторичного охлаждения новой конструкции с большим углом раскрытия факела для увеличения теплоотвода с поверхности заготовки.

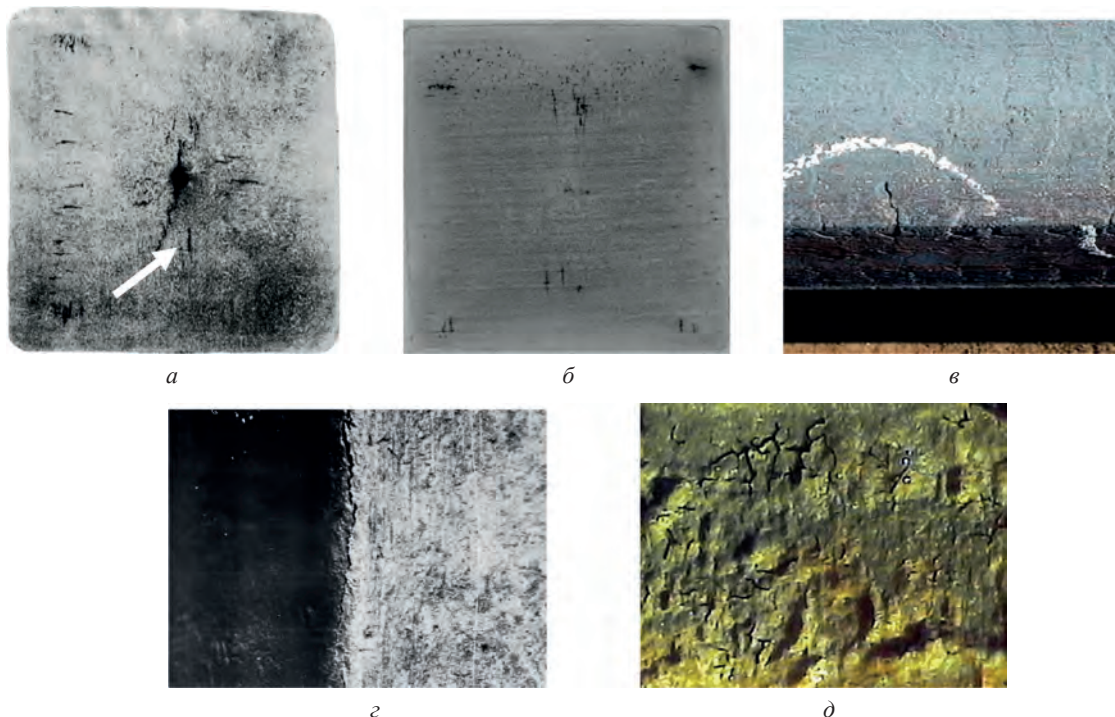


Рис. 1. Характерные виды трещин: *а* – осевые трещины; *б* – межкристаллитные трещины; *в, г* – трещина поверхностная (поперечная, продольная); *д* – паукообразные поверхностные трещины



Рис. 2. Макроструктура непрерывнолитой заготовки сечением 140×140 мм с опытного ручья

Изменение поля орошения поверхности заготовки позволило уменьшить вероятность образования внутренних межкристаллических трещин при увеличении скорости разливки от 2,3–2,6 до 2,5–2,8 м/мин в зависимости от группы марки стали, а также содержания примесей в стали. Макроструктура литых заготовок, отобранных с опытного ручья, свидетельствует о достигнутых показателях качества заготовки и средней производительности МНЛЗ 135 т/ч (рис. 2).

Качество непрерывнолитых заготовок в значительной мере определяется химическим составом разливаемой стали.

Значительное влияние на развитие межкристаллических трещин оказывает содержание серы в металле. Известно, что сера практически нераствори-

ма в аустените и присутствует в сталях и сплавах в виде сульфидов FeS и MnS, входящих в эвтектику с температурой плавления 985 °С. Причем эта эвтектика, как правило, кристаллизуется по границам зерен. Наличие легкоплавкой и хрупкой эвтектики, расположенной по границам зерен, делает сталь хрупкой.

На практике установлено, что для получения удовлетворительной структуры непрерывнолитой заготовки сечением 140×140 мм без наличия трещин содержание серы в зависимости от скорости вытягивания слитка для стали Ст3сп должно быть следующим: 2,1–2,2 м/мин – не более 0,025%, 2,3–2,4 м/мин – не более 0,020%, 2,5–2,6 м/мин – не более 0,015%. Повышение содержания серы в металле от 0,020 до 0,060% сопровождается уве-

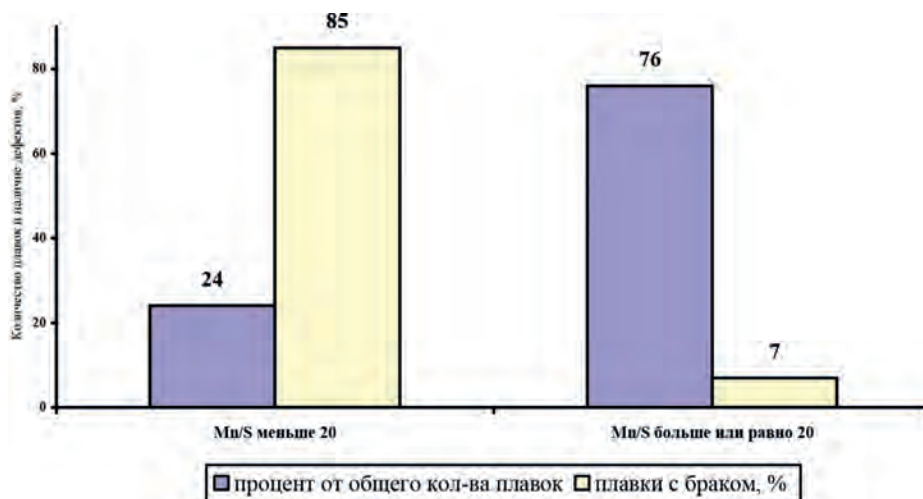


Рис. 3. Зависимость частоты появления дефектов от отношения Mn/S в стали

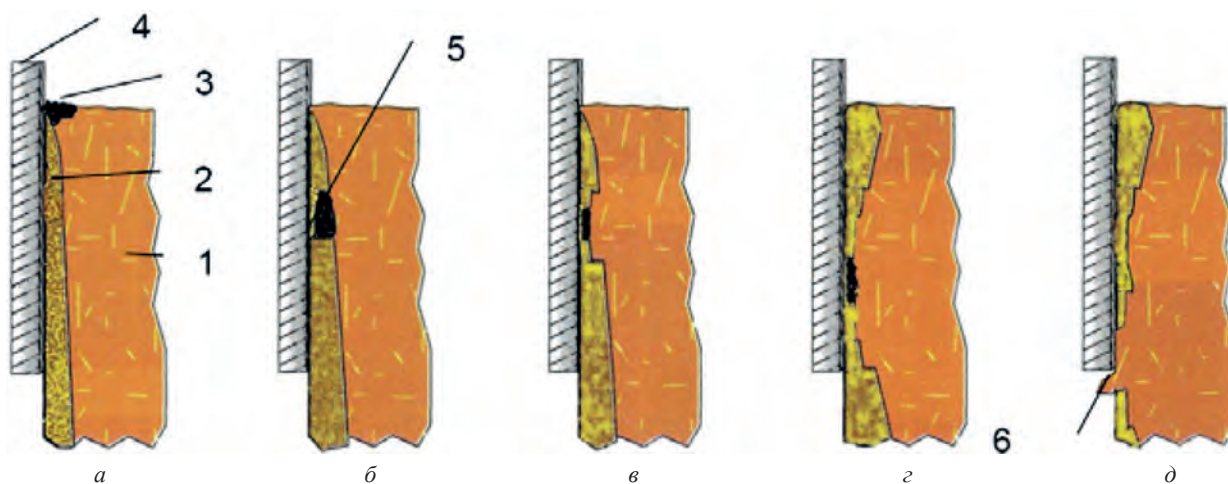


Рис. 4. Схема образования шлакового прорыва из-за твердых включений на мениске металла: 1 – жидкий металл; 2 – корочка металла; 3 – конгломератное включение на мениске металла; 4 – кристаллизатор; 5 – дефектная корочка с оксидным конгломератом; б – прорыв металла под кристаллизатором на выходе дефектной корочки из кристаллизатора

личением степени осевой химической неоднородности.

Присутствие марганца в стали снижает вредное влияние серы. Так, на основании анализа результатов промышленного производства непрерывнолитой заготовки из стали Ст3сп установлено, что достаточной для существенного снижения пораженности непрерывнолитых заготовок сечением 140×140 мм трещинами, разлитых со скоростью 2,6 м/мин, является величина [Mn]/[S] не менее 20 (рис. 3).

Сера, растворенная в металле, оказывает также существенное влияние на механизм образования ромбовидности заготовок и, как следствие, угловых и диагональных трещин. Однако это влияние зависит еще и от марки стали. Отмечено, что с увеличением содержания углерода в стали оно усиливается. Среднестатистические данные по степени ромбовидности непрерывнолитой заготовки в зависимости от разливаемой марки стали приведены в таблице.

Степень ромбовидности заготовки сечением 140×140 мм для сталей разных марок

Группа	Марка стали	Максимальная ромбовидность, мм
1	SAE1006–1008, Св08А	6,0±0,5
2	Ст3, А500С, S235JR, 25Г2С	10,0±0,5
3	Ст5	10,5±0,5

Еще одна проблема, с которой приходится сталкиваться технологам металлургических заводов, имеющих в своем составе сортовые МНЛЗ, – эта проблема прорыва корочки металла под кристаллизатором и в зоне вторичного охлаждения (ЗВО). Схема образования шлакового прорыва показана на рис. 4.

Образовавшиеся твердые неметаллические включения (НВ) на мениске расплава в кристаллизаторе (рис. 4, а) контактируют с корочкой металла. Значительное скопление этих включений на мениске и качание кристаллизатора приводят к прилипанию их к корочке заготовки (рис. 4, б), т. е. зарождается аномальная (дефектная) корочка.

Наличие дефекта также замедляет и скорость роста корочки (рис. 4, в, з) в сравнении с бездефектной частью, при этом разнотолщинность поверхностной корочки приводит к образованию прорывов металла под кристаллизатором (рис. 4, д) на дефектном участке под воздействием ферростатического давления жидкого металла внутри заготовки. В результате прорыва на поверхности заготовки образуются дыры, через которые вытекает жидкий металл. Такие прорывы принято называть шлаковыми. Решением проблемы может быть регулировка отношения содержания марганца в стали к кремнию, добиваясь его значения не менее 3,0. При отношении этих элементов менее 3,0 продуктом реакции раскисления и последующей трансформации является твердое, обогащенное оксидом кремния, соединение, трудно удаляемое из расплава, а при соотношении $[Mn]:[Si] = 3,0$ и более образуется легкоплавкий и легко удаляе-

мый силикат марганца. Исследования показали, что при производстве непрерывнолитых заготовок сечением 140×140 мм из стали Ст1сп при соотношении $[Mn]:[Si]$ менее 3,0 в кристаллизаторах в кристаллизаторе визуально наблюдалось образование шлаковой фазы из продуктов вторичного окисления металла, которая увеличивала вероятность прорыва металла под кристаллизатором. Однако опыт производства сталей с различным содержанием углерода показал, что с его увеличением, например для стали Ст3сп, критическое значение отношения $[Mn]:[Si]$ снижается до уровня 2,5. Это объясняется тем, что углерод, являясь химически активным элементом, снижает вероятность взаимодействия кислорода из воздуха с кремнием в металле и в низкоуглеродистой стали типа Ст1сп, 1008 влияние отношения $[Mn]:[Si]$ на шлакообразование более значительно, чем в среднеуглеродистой стали типа 25Г2С.