

В.И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, д-р техн.наук,
И.Н. ПЛЮЩЕВСКИЙ, канд. техн. наук,
С.М. КАБИШОВ, канд. техн. наук (БНТУ)

К ВОПРОСУ О НАПРАВЛЕНИЯХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

Несмотря на то, что в последнее время технические достижения в области непрерывной разливки стали позволяют получать широкий сортамент стали высокого качества, одним из актуальных вопросов остается производство высококачественного стального листа. Например, важным условием работы труб газопроводов является сведение к минимуму вероятности их разрыва. Соответственно для их получения необходимо производство листа, характеризующегося высокими показателями по качеству поверхности, микро- и макроструктуре, прочности, ударной вязкости и свариваемости с однородностью свойств по плоскости, что и должно обеспечивать в совокупности надежность эксплуатации конструкций.

Одним из важнейших преимуществ технологии непрерывной разливки является возможность воздействия на механизмы формирования слитка и управления ими на протяжении периода затвердевания с целью получения заготовки требуемых геометрических размеров, структурных и физико-механических параметров. Это особенно важно для сталей, к которым предъявляются определенные требования исходя из их эксплуатационного назначения. Среди мероприятий, направленных на модернизацию конструкций МНЛЗ и технологию получения непрерывно-литых заготовок, можно отметить совершенствование использования промежуточного ковша, модернизацию погружных стаканов, использование теплоизолирующих и шлакообразующих смесей, совершенствование конструкции кристаллизатора и методов его качания, использование мягкого обжата слитка с неполностью затвердевшей осевой зоной, оптимизацию системы вторичного охлаждения и др.

Основными дефектами внутренней структуры сляба (листовой заготовки) после непрерывной разливки являются экзогенные и эндогенные неметаллические включения, осевая рыхлость и химическая неоднородность, кристаллизационные трещины, основными поверхностными дефектами – следы качания кристаллизатора, поверхностные и приповерхностные неметаллические включения, трещины. Определенная часть дефектов является следствием нарушения технологии процесса непрерывного литья, обусловлена низким качеством огнеупоров, недостаточностью подготовки стали к разливке и др. Многие дефекты связаны с недостаточной проработкой особенностей эксплуатации основных узлов МНЛЗ, а также несоблюдением технологического процесса непрерывного литья. Например, дефекты точечной неоднородности и загрязненности неметаллическими включениями могут быть вызваны нерациональной организацией (гидродинамикой) подачи расплава через промежуточный ковш и далее через промежуточный стакан в кристаллизатор [3, 4], а также использованием несоответствующих требований к условиям разливки теплоизолирующей и шлакообразующих смесей и футеровки промковша. Важную роль в образовании поверхностных и приповерхностных трещин играет конструкция механизма качания кристаллизатора и режим качания. Например, неправильно подобранная конусность внутренних стенок кристаллизатора приводит к нарушению теплоотвода от формирующейся оболочки слитка, истиранию поверхности стенок, что способствует формированию продольных и паукообразных трещин.

Подобные негативные последствия также обусловлены неравномерностью температур стенок по периметру и длине кристаллизатора. Неэффективная тепловая работа кристаллизатора приводит к значительному нагреву медных стенок и их разупрочнению, захвату частиц меди коркой слитка, которые становятся очагами зарождения паукообразных трещин. Наличие люфтов в приводных механизмах управления кристаллизатора способствует несовпадению траектории качания с направленным движением слитка, что создает поперечное деформирование оболочки слитка, вызывающее трещины на фронте кристаллизации, а также грубые следы качания, вдоль которых затем развиваются поперечные трещины.

На внутреннюю микроструктуру слитка оказывает также влияние правильная организация вторичного охлаждения МНЛЗ с ис-

пользованием водовоздушных форсунок. Нерациональное размещение форсунок вдоль движущегося слитка, необоснованное распределение охлаждающей смеси по зонам способствует возникновению кристаллизационных трещин в температурном интервале хрупкости стали. Циклические изменения температуры поверхности слитка, связанные с расположением форсунок и наличием поддерживающих роликов при общем снижении до температур твердофазных превращений, приводят к образованию и распространению сетчатых трещин. При несогласованности скорости движения слитка и режима вторичного охлаждения возникает вспучивание при деформировании сляба поддерживающими роликами и валками тянущей клетки, приводящие к внутренним трещинам и зональной ликвации. Для снижения дефектов непрерывно-литых заготовок, связанных с неметаллическими включениями, необходимо совершенствование технологии на всех участках производства стали: выплавка – внепечная обработка – непрерывная разливка.

Одним из элементов МНЛЗ, влияющим на конечное содержание неметаллических включений, является промежуточный ковш. Повышение физической однородности непрерывно-литых заготовок в значительной степени зависит от способа и технологических факторов подвода металла и его дальнейшего движения в кристаллизатор [2, 5]. Промежуточный ковш современных МНЛЗ снабжен приспособлениями, позволяющими устранить влияние таких источников загрязнения, как вторичное окисление, эрозия огнеупоров, попадание части покрывного шлака в поток расплава. При этом обеспечивается всплывание и поглощение неметаллических включений шлаком за счет правильной организации движения металла, исключающей появление застойных зон, использования продувки инертными нейтральными газами, применения специальных крышек и покрывных шлаков из специальных флюсов, регулирования температуры и микролегирования стали [6, 7]. На современных установках сталь заливают в промежуточный ковш через удлиненный погружной стакан с поддувом нейтрального газа. С этой же целью для уменьшения взаимодействия металла с воздухом, а также для теплоизоляции ковш накрывают крышкой, на зеркало металла присаживают флюсы, из которых формируется шлак умеренной основности, способный поглотить продукты раскисления и эффективно препятствовать насыщению стали газами [1].

Активному удалению неметаллических включений способствует правильный выбор наклона стенок ковша и расстановки перегородок, продувка металла аргоном через вращающиеся насадки для дробления газовой струи и эффективного перемешивания расплава, установление порогов-стенок, перегородок, обеспечивающих лучшее окисление металла от неметаллических включений [8]. На степень удаления неметаллических включений значительное влияние оказывает температура металла в промежуточном ковше. Существует оптимальная температура перегрева металла в промежуточном ковше, которая обеспечивает максимальное снижение неметаллических включений [11]. Эффективной мерой по удалению неметаллических включений является совершенствование геометрии внутренней полости промежуточного ковша с целью создания оптимальной гидродинамики потока жидкой стали.

Чтобы обеспечить всплытие включений из жидкой стали и захвата их покрывным шлаком, реализуются следующие меры:

- обеспечение необходимого времени для всплывания включений за счет укрупнения промежуточного ковша;
- оборудование промежуточного ковша перегородками для улучшения в нем характера потоков жидкой стали;
- обеспечение всплытия включений путем подогрева жидкой стали;
- продувка жидкой стали аргоном;
- электромагнитное перемешивание;
- герметизация промежуточного ковша;
- применение для футеровки рабочего слоя ковша высокоосновных огнеупорных масс;
- регулярное обновление покрывного шлака по мере насыщения его неметаллическими включениями.

Следует также в дальнейшем исследовать надежность процесса рафинирования в период нестабильности разливки (замена разливочных ковшей) при изменении температурного режима разливки в процессе опорожнения разливочного ковша и изменении скоростного режима разливки. Эти методы требуют дальнейшей оптимизации гидродинамических характеристик. Оптимизация гидродинамики разливки с помощью конструктивного изменения погружных стаканов позволяет получить максимально равномерное распределение интенсивных циркуляционных потоков вдоль фронтов за-

затвердевания в верхней части кристаллизатора при уменьшении вероятности затягивания неметаллических включений в жидкую лунку. Конструкция эффективно влияет на управление потоком поступающего в кристаллизатор расплава. Теплота перегрева, рассеиваемая потоком расплава, оказывает большое влияние на рост кристаллизующейся корочки, распределение неметаллических включений, развитие микротрещин. Применение погружных стаканов различных конструкций позволяет:

- резко снизить глубину проникновения потоков из стакана;
- получать однородное распределение скоростей потоков на малой глубине;
- способствовать более равномерному распределению теплоты перегрева в верхней области кристаллизатора;
- получать наиболее рациональное направление потоков;
- активизировать направленный массо- и теплоперенос.

Эффективным способом воздействия на кристаллизующийся металл является мягкое обжатие непрерывно-литой заготовки с неполностью затвердевшей осевой зоной. Данная технология позволяет повысить производительность МНЛЗ с одновременным улучшением макроструктуры заготовки, а именно – уменьшить осевую ликвацию и пористость. Пористость в непрерывно-литых заготовках вызывается усадкой стали и практически всегда сопровождается химической неоднородностью. Она проявляется в виде рассеянной пористости или сосредотачивается в центральной зоне сечения слитка. Усадочная пористость, особенно рассеянная, обычно обнаруживается при развитой зоне равноосных кристаллов и ограниченной зоне столбчатых дендритов. В этом случае она сосредотачивается в виде многих мелких пор и может сопровождаться химической неоднородностью. Осевая пористость в непрерывно-литых заготовках образуется в том случае, если скорость перемещения жидкого металла в центральной зоне слитка уменьшится настолько, что усадка стали не компенсируется полностью. Неравномерность стали по высоте и периметру кристаллизатора вызывает неравномерность роста затвердевающей корочки. Далее неравномерность теплоотвода может проявиться в зоне вторичного охлаждения. При большой неравномерности фронта затвердевания возрастает вероятность появления участков осевой усадочной пористости. Осевая пористость распространяется неравномерно и прерывисто, размеры

пор изменяются в широких пределах. Поры по длине заготовки отделяются друг от друга участками плотного металла длиной от нескольких мм до 200 – 300 мм. В осевой зоне непрерывно-литых заготовок пористость сопровождается ликвацией. Шнуровая ликвация имеет протяженность 100 – 300 мм и является областью с повышенной концентрацией легирующих элементов.

При обжатии незатвердевшей сердцевинной слитка происходит выдавливание ликватов из междендритного пространства, способствующее разрушению ликвационного слоя, а также разрушение ветвей дендритов, которые становятся центрами зарождения кристаллов при объемной кристаллизации. Причем обжатие рационально начинать с того участка, где гетерогенная сталь теряет свое сопротивление (доля твердой фазы составляет около 30%). Конец зоны мягкого обжатия должен располагаться на участке между долей твердой фазы 70 и 100% (полное затвердевание). Влияние мягкого обжатия существенно зависит от доли твердой фазы в сердцевине, при которой прикладываются обжимающие силы.

Литература

1. **Достижения** в области непрерывной разливки стали // Тр. междунар. конгресса. – М.: Металлургия, 1987.
2. **Обработка** стали на установках непрерывной разливки / В. А. Кудрин // Итоги науки и техн. Сер. Производство чугуна и стали. – М.: ВИНТИ, 1990. – С. 61–116.
3. **Improvement of surface defect of CC slab by a new submerging nozzle** / Т. Tetsuju // Zaizyoto Prosessu. Current Advances in Materials and Processes / 1996.9. – N 4. P. 606–607.
4. **Исследование** гидродинамики разливки стали в кристаллизаторы УНРС / А. Д. Акименко // Проблемы стального слитка. Тр. 5-й конф. – М.: Металлургия. С. 640–653.
5. **Казачков, Е. А.** Исследования количественных характеристик потоков и размыва оболочки непрерывного слитка при разливе затопленной струей // Сб. науч. тр. Непрерывная разливка стали. – № 4. – М.: Металлургия, 1977. – С. 76–83.
6. **Китаев, Е. М.** Затвердевание стальных слитков / Е. М. Китаев – М.: Металлургия, 1983.

7. Манохин, А. И. Получение однородной стали / А. И. Манохин – М.: Металлургия, 1978.
8. Ефимов, В. А. Современные технологии разливки и кристаллизации сплавов / В. А. Ефимов – М.: Машиностроение, 1998.
9. Ефремов, Г. В. Управление процессом рафинирования стали в промежуточном ковше / Г. В. Ефремов // Сталь. – 2001. – №4.
10. Nakasima, H. Equipment and materials for tundish wet gunning / H. Nakasima // Refractories, 1995. – Vol. 47. – N 6. – P. 315–320.

УДК 669.187

В.И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, д-р техн. наук,
И.А. ТРУСОВА, д-р техн. наук,
П.Э. РАТНИКОВ, канд. техн. наук (БНТУ),
О.А. КОНДРАШЕВА (ДГТУ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ НЕПРЕРЫВНОЙ ПОДАЧИ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ В РАСПЛАВ СТАЛИ ПРИ ПЛАВКЕ В ДСП МАЛОЙ ЕМКОСТИ

В настоящее время повышение качества выплавляемой стали в дуговых сталеплавильных агрегатах (особенно печах малой емкости машиностроительных производств) является весьма актуальной задачей. Вместе с тем все реконструктивные мероприятия связаны со значительными финансовыми издержками. Наименее затратный путь – переход к использованию современных шихтовочных материалов и совершенствование технологий плавки. Например, установка на печах малой емкости дозаторов непрерывного действия для подачи металлизированных окатышей не требует больших финансовых инвестиций, а применение высококачественного сырья в значительной мере повысит качество металла.

Как известно, металлизированные окатыши являются качественными шихтовочными материалами, имеющими известный химический состав, что во многом предопределяет получение высоко-