

4. LanamR. D.,HeckelR. W. A study of the effect of an Intermediate Phase on the Dissolution and Homogenization Characteristics of Binary Alloys // Metallurgical Transactions. – 1971. – Vol. 2. – P. 2255-2266.

5. Колмогоров А.Н. К статистической теории кристаллизации металлов // Изв. АН СССР. Сер. матем. – 1937. – 1:3. – С. 355-359.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Национального центра научных исследований Польши (Polisch NCNproject nr DEC-2011/01/B/ST8/01689)

УДК 621.746

**А.Г. Величко, Б.М. Бойченко, Е.В. Синегин, С.Б. Бойченко**

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

### **АКТУАЛЬНАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ**

Технология основана на обобщении фундаментальных исследований и обширного экспериментального материала, накопленных в мировой практике. Её концепция такова.

Уровень выхода годного металла, достигнутый на действующих МНЛЗ обычной конструкции, в настоящее время приближается к своему предельному значению. Дальнейшие усовершенствования возможны за счёт повышения производительности, что обеспечивается увеличением массовой скорости разлива, сокращением числа прорывов металла, а также повышением качества металла при применении управления процесса с использованием ЭВМ.

Ключевыми факторами, определяющими производительность МНЛЗ, являются коэффициент использования МНЛЗ, а также массовая скорость разлива, определяемая произведением сечения на литейную скорость.

В последнее время на МНЛЗ широко используется непрерывная разливка методом «плавка на плавку». Это обусловлено, в первую очередь, надлежащей конструкцией МНЛЗ и вспомогательного оборудования, например, устройством для смены погружных стаканов, автоматическим изменением ширины кристаллизатора и т.д.

В настоящее время, учитывая достигнутый уровень технологии, следует подчеркнуть, что продолжительность серийной разлива ограничивается не конструкцией МНЛЗ, а марочным сортаментом или наличием разливаемой стали.

Частоту прорывов металла, являющихся основным риском при непрерывной разливке, можно существенно уменьшить за счёт применения систем предсказания прорывов, которые основываются на данных измерения температур термомпарами на различной высоте кристаллизатора. Такие системы часто используют на слябовых МНЛЗ, а на блюмовых и сортовых заготовках применяют значительно реже.

Важное значение в технологии имеет промежуточный ковш, который рассматривается не только как ёмкость для распределения жидкой стали по ручьям, но и как рафинировочный агрегат. В настоящее время разработана методика моделирования внутренней полости ковша, размещения в ней различного рода перегородок, фильтров, гасителей, продувочных блоков, которые в значительной степени способствуют оптимальной организации потоков жидкой стали, перемещению неметаллических включений и их ассимиляции покровным шлаком, завершающему очищению жидкой стали от водорода пузырьками нейтрального газа при переменном режиме его вдувания. Большое значение с точки зрения качественных показателей имеет увеличение емкости промежуточных ковшей (до 50-60т). С технологической точки зрения также интерес представляют: подогрев, рафинирование и возможное долегирирование жидкой стали в промежуточном ковше, защита стали от вторичного окисления.

Наиболее существенную роль в технологическом процессе разливки выполняет кристаллизатор. Являясь первичным звеном кристаллизации заготовки, он во многом определяет ее качество, а именно поверхность, первичную структуру, геометрию. В последние годы вместо массивных горячекатаных плит со сверленными каналами для охлаждающей воды для слябовых и блюмовых МНЛЗ применяют тонкостенные кристаллизаторы из холоднодеформированных медных сплавов с фрезерованными каналами.

При реконструкции старых и строительстве новых МНЛЗ используют и такие традиционные технические решения, как регулирование конусности и ширины кристаллизатора в процессе разливки. Учитывая то, что узкие стенки слябового кристаллизатора изнашиваются быстрее широких, разработана система быстрой замены узких стенок непосредственно на рабочей площадке МНЛЗ.

Механизм качания кристаллизатора рессорного типа с гидравлическим приводом для слябовой МНЛЗ в отличие от применяемых рычажных электромеханических обеспечивает высокую точность траектории и соответствие заданному режиму, реализуя при этом различные законы качания, в том числе синусоидальный, трапецеидальный, пилообразный. Эксплуатация нового механизма позволяет значительно уменьшить размеры следов качания на поверхности сляба, полностью ликвидиро-

вать поверхностный дефект сляба «трещина по следам качания», исключает перекосы кристаллизатора и отклонение его от технологической оси МНЛЗ.

Значительный арсенал новых решений и усовершенствований относится к ЗВО. При этом в обязательном порядке должен быть выдержан температурно-скоростной режим разливки. С целью обеспечения определенного уровня температуры поверхности и сердцевины заготовки разработаны и эксплуатируются широкодиапазонные водовоздушные форсунки для охлаждения непрерывнолитой заготовки водовоздушным туманом, оригинальные конструкции смесительных узлов и коллекторов ЗВО.

Опорная зона МНЛЗ претерпевает усовершенствование в каждом конкретном случае отдельно. Общими критериями являются: жесткость конструкции, обеспечивающая точность оси в пределах  $\pm 0,5$  мм; ограничение деформации роликов на слябовых МНЛЗ за счет применения роликов с промежуточными опорами, а выпучивания слябов – за счет уменьшения диаметра роликов и, таким образом, расстояния между ними; увеличение длины бочки роликов на блюмовых МНЛЗ и вынос подшипниковых узлов из горячей зоны, что обуславливает повышение стойкости подшипников, работоспособности ролика и снижение дефекта блюма «ликвационные полосы».

Однако, наиболее существенным достижением является создание конструкции и технологии мягкого обжатия заготовок с неполностью затвердевшей сердцевиной. Четко установлено, что наибольший эффект обжатия достигается при количестве твердой фазы в твердожидком состоянии в пределах 0,2-0,8. Разработан алгоритм управления процессом обжатия сляба с незатвердевшей сердцевиной, используемый в системе АСУТП мягкого обжатия. При работе МНЛЗ с применением мягкого обжатия рабочая скорость вытягивания сляба увеличена с 0,50-0,55 м/мин до 0,65-0,70 м/мин. При входе конца жидкой фазы в тянущеобжимные клетки по разработанному алгоритму увеличивается давление в гидроцилиндрах прижатия валков. В результате этого уплотняется сердцевина, выдавливаются ликваты и дробятся дендриты, улучшается структура осевой зоны сляба.

Получает распространение технология, альтернативная мягкому обжатию, суть которой сводится к введению в кристаллизатор МНЛЗ металлических макро- или микрохолодильников, по составу близких к разливаемому металлу. Первые чаще всего вводятся в кристаллизатор в виде ленты посредством трайб-апарата. Использование микрохолодильников в форме железного порошка позволяет инициировать объемную кристаллизацию стали, значительно повышая, таким образом, производительность машины и качество отливаемой заготовки.

Традиционно решаются вопросы изготовления и применения шлакообразующих смесей (ШОС) для промежуточных ковшей и кристаллизаторов, как правило, собственными силами предприятий с использованием местных компонентов составляющих ШОС. Разработана концепция выбора оптимальных составов ШОС.

Важным этапом в развитии технологии непрерывной разливки является применение автоматизированных систем контроля качества, т.е. систем для получения «бездефектных непрерывнолитых заготовок», что важно при применении энергосберегающей технологии «горячего посада», а особенно получении металлопродукции на литейно-прокатных модулях (ЛПМ).

Особо следует отметить перспективность низкотемпературной технологии непрерывной разливки стали, которая лишена основных недостатков существующей технологии и предусматривает:

- поддержание температуры в объеме расплава с точностью  $\pm 5$  °С и хорошую жидкотекучесть при минимальном перегреве над линией ликвидус;
- минимальную продолжительность прохождения расплава от сталеразливочного ковша до кристаллизатора через закрытые огнеупорные трубы;
- высокопроизводительный процесс непрерывной разливки стали методом «плавка на плавку» в кристаллизаторы, сохраняющие контакт с оболочкой слитка;
- применение технологии производства непрерывнолитых заготовок, обеспечивающей возможность их горячего посада перед прокаткой.

Все это относится к традиционным МНЛЗ и в этом контексте несколько слов следует сказать о комбинированных МНЛЗ, которые в значительной степени способствуют увеличению производительности и расширению возможностей МНЛЗ при сохранении их компактности. Комбинированные МНЛЗ (сляб-блуж) позволяют не только сокращать капитальные затраты, но и сокращать потребности в площадях и обслуживающем персонале.

Вариантов конструктивного решения комбинированных МНЛЗ может быть множество, однако, цель преследуется одна – организация производства широкого размерного сортамента с минимальными капитальными и эксплуатационными затратами.

Традиционно процесс получения качественных листов, лент и сортового проката связывали с высокими степенями обжата металла по толщине. Однако успехи, достигнутые при внепечной обработке чугуна и стали, обеспечивающие получение чистого по сере и фосфору металла с хорошо усредненным составом и температурой в объеме сталеразливочного ковша, а также реализация систем и способов регули-

рования температуры и уровня жидкого металла в промежуточных ковшах и кристаллизаторах, в сочетании со средствами защиты разливаемой стали от вторичного окисления, привели к исключению стадий инспекции качества поверхности и абразивной зачистки литых заготовок и переходу на подачу в нагревательные устройства прокатных станов горячих заготовок или к процессу их прямой прокатки. Разливку и прокатку объединяют в единые литейно-прокатные модули.

К настоящему времени ведущими зарубежными фирмами предложены и совершенствуются различные концепции и разработано достаточно много компоновок ЛПМ. На мини-заводах применение ЛПМ позволяет обеспечить снижение капитальных и текущих затрат, энерго- и материальных ресурсов, затрат на обслуживание оборудования и его эксплуатацию, резко ускорить время выполнения заказов потребителей.

Например, удачной признана в мире разработка фирмы SMS-«Schloemann-Siemag» (Германия) для отливки тонких (40-50 мм) слябов с 30% обжатием в конце зоны затвердевания на МНЛЗ и последующей совмещенной прокаткой на четырехклетевом чистовом тандем-стане. Наличие обжимной клетки в линии МНЛЗ позволило сократить металлургическую длину установки до 5 вместо 40 м. Использование метода легких обжатий непрерывнолитых слябов по толщине в зоне завершения процесса затвердевания жидкой сердцевины снижает степень развития осевой сегрегации.

Создание МНЛЗ с подвижным кристаллизатором ленточного и роликового типа, приведших к реализации отливки заготовок толщиной 10 мм с удовлетворительным состоянием поверхности, привело к полному отказу от стадии горячей прокатки и созданию схем холодной прокатки тонких непрерывнолитых заготовок. Причем непрерывная разливка стали и сплавов в заготовки тонких сечений, близких к сечению готовой продукции, позволяет получать металл с однородной и тонкой структурой.

Анализ наиболее интересных и перспективных ЛПМ как построенных и находящихся в эксплуатации, так и на стадии разработки показывает, что однозначного заключения о применимости в будущем агрегатов только одного типа быть не может. В настоящее время выработаны определенные критерии по оценке эффективности размещения или дооборудования металлургических предприятий различной мощности в зависимости от наличия сырья, топлива, расстояний до потребителя, наличия трудовых ресурсов и др. Сумма этих критериев определяет перспективу как супергигантов металлургии, так и мини-заводов. В будущем свое место найдут как традици-

онная технология непрерывной разливки и последующей прокатки, так и технология литья заготовок, близких по размерам к готовой продукции.

В целом, в XXI веке в распределении долей рынка происходит сдвиг в сторону новых технологических процессов.

УДК 669.184

**А. Г. Величко, С. Б. Бойченко**

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

## **ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБНОВЛЕНИЕ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ**

Роль вторичной («ковшевой») металлургии в настоящее время высока, как никогда ранее. Ключевая роль отводится выделениям на наноуровне неметаллических избыточных фаз и/или упрочняющих структурных составляющих, формирование которых должно происходить на определенных стадиях обработки стали. В будущем повышение эффективности оценки чистоты металлопродукции будет достигнуто за счет текущего контроля качества на всех стадиях производства стали и корреляции этих данных с конечными испытаниями.

Агрегаты для вторичной металлургии типа ковш-печь с вакуумированием наиболее многопрофильны, в них можно проводить практически всю обработку стали, особенно если предусмотрена возможность скачивания шлака из ковша. Они пригодны для производства всех выпускаемых в настоящее время сталей и легко размещаются в действующих конвертерных цехах. Промежуточный ковш (промковш) машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) также последовательно превращается в завершающий рафинировочный агрегат для удаления шлаковых включений, водорода, защиты стали от вторичного окисления, подогрева и возможного долегирирования стали непосредственно перед ее кристаллизацией. Совершенствование агрегатов направлено, главным образом, на создание условий, способствующих ускорению и углублению хода процессов рафинирования.

Это, в первую очередь, мероприятия, способствующие интенсификации перемешивания металла в ковше. Они необходимы для всех видов внепечной обработки. В ковше-печи, агрегатах циркуляционного вакуумирования и промковшах МНЛЗ они осуществляются за счет совершенствования оборудования для ввода инертного газа, оптимизации расположения продувочных устройств, периода и интенсивности