

Передовые технологии для непрерывной разливки стали: возможности и проблемы*

Представлен обзор основных материалов 8-ой Европейской конференции по непрерывной разливке, которая была проведена под патронатом Австрийского общества по металлургии и материалам. В работе представлены тенденции развития черной металлургии, в частности в области непрерывной разливки стали.

Ключевые слова: физическое моделирование, математическое моделирование, непрерывная разливка

23-26 июня этого года в г. Грац (Австрия) состоялась 8-я Европейская конференция по непрерывной разливке («8th European Continuous Casting Conference»). Конференция была организована и проведена под патронажем Австрийского общества по металлургии и материалам. Всего в конференции приняли участие более 600 ученых, исследователей и инженеров из 30 стран мира. Наиболее многочисленные делегации были у Германии, Австрии и Италии. Кроме представителей европейских стран (более 20) в конференции приняли участие ученые США, Канады, Мексики, КНР, Японии, Индии, Тайваня, Южной Кореи, Египта, Саудовской Аравии. На конференции представлено 160 докладов, в том числе 25 стендовых. Примечательно, что приблизительно половина докладов была сделана учеными и исследователями из Германии и Австрии. Доклады представлены сотрудниками более 30 профильных фирм и компаний, но при этом более 20 – от фирмы «Siemens VAI», 8 – от фирмы «Danieli Centro Met» и 6 – от SMS Siemag AG. Собственно, эти доклады и определяли генеральные направления развития технологий, оборудования для непрерывной разливки стали. От металлургических компаний и предприятий было представлено 15 участников, при этом наибольшее количество докладов – от компаний «Voestalpine Stahl» (10) и «Arcelor» (8). В конференции также выступили сотрудники 25 университетов со всех континентов. Наибольшее количество (по 6 докладов) – от университетов Аахенский (Германия) и Леобен (Австрия).

Одновременно с конференцией проходила тематическая выставка компаний, работающих в сфере непрерывной разливки стали. Количество участников – 34 фирмы, в том числе: Danieli Centro Met, Siemens VAI Metals Technologies GmbH, SMS Siemag AG, PSI Metals GmbH, ABB AB, Ergolines Lab s.r.l., INTECO special melting technologies GmbH, KME Germany GmbH & Co. KG, ASM Automotion s.r.o., Spraying Systems Deutschland GmbH, Lechler GmbH, Berthold Technologies и пр. Среди участников было несколько фирм, производящих огнеупорные изделия и расходные материалы для непрерывной

разливки стали: VESUVIUS, S&B Industrial Minerals GmbH, RHI AG, PROSIMET S.p.A., Corewire Ltd и др. Участники конференции проявили большой интерес к выставке. Это, видимо, следует связывать с тем, что многие экспонаты выставки представляли собой иллюстрации к последним достижениям в области оборудования и материалов для непрерывной разливки. Тем более что большинство фирм имели свои презентационные доклады в рамках конференции.

В программе конференции было также предусмотрено посещение трех металлургических заводов: voestalpine Stahl Linz, voestalpine Stahl Donawitz, Acroni d.o.o.

Основные научные секции, по которым проводилась конференция:

- передовые технологии литья слябов, блюмов и заготовок;
- модернизация и новые реализации;
- оперативная практика и техническое обслуживание;
- измерения, автоматизация и процессы контроля;
- безопасность и экологические аспекты;
- инновации в ковшевой металлургии и чистота стали;
- управление потоками, огнеупоры и зарастание погружных стаканов;
- смазка в кристаллизаторе и теплообмен;
- контроль качества продукции: качество поверхности и внутренних объемов;
- численное моделирование (процессы затвердевания, металлургия, жидкие потоки, тестовые эксперименты);
- физическое моделирование процессов непрерывной разливки стали;
- разливка тонких слябов и совмещенная прокатка;
- разливка нержавеющей и специальных сталей;
- обработка полуфабрикатов (зачистка, механическая и термическая обработка).

Рассматривая весь спектр докладов, представленных на конференции, можно условно их разделить на информационно-презентационные, посвященные достижениям и разработкам ведущих фирм-производителей оборудования, инжиниринга,

*По материалам 8-ой Европейской конференции по непрерывной разливке (8th European Continuous Casting Conference), состоявшейся 23-26 июня 2014 г., Грац.

автоматики, материалов и пр.; аналитические, посвященные проблематике развития технологий и оборудования для непрерывной разливки стали; научно-теоретические, в основе которых лежат аналитические исследования на физических и математических моделях, позволяющие расширить наши представления о процессах непрерывной разливки; научно-прикладные, направленные на изучение вполне конкретных явлений и механизмов, которые обеспечивают улучшение условий литья и повышение качества заготовки и т. д.

Сталь по-прежнему остается самым важным металлическим конструкционным материалом, который в максимальной степени используется в строительстве и машиностроении. Темпы роста объемов производства металлопродукции во многом подобны объемам производства цемента. Можно с уверенностью предположить, что сталь будет наиболее широко применяемым конструкционным материалом в будущем даже на фоне современных материалов типа пластмасс, углеродных волокон, алюминия и его сплавов, а также других металлов. Это следует связывать с широкими возможностями стали в части механических и эксплуатационных свойств металлопродукции, а также удобством ее утилизации и переработки. В этом плане непрерывная разливка останется наиболее предпочтительной технологией для перевода стали из жидкого в твердое состояние и придания заготовке определенной геометрической конфигурации. Высокая степень потенциальных возможностей непрерывной разливки как высокоэффективной технологической системы в ближайшие годы потребует дополнительного развития и совершенствования.

Между тем непрерывная разливка будет совершенствоваться в условиях появления все новых требований к качеству металлопродукции и быстро меняющихся условий к геометрии заготовки. Она будет иметь определенный положительный эффект в части управления процессами первичной кристаллизации, первичного и вторичного охлаждения, а также предварительной деформации заготовок в ходе разливки. Безусловно, крайне важное влияние на развитие непрерывной разливки окажут комплексные модели, позволяющие контролировать и управлять как отдельными элементами системы, так и процессом разливки на МНЛЗ в целом. Таким образом, чтобы оставаться конкурентоспособными на рынке ведущие производители МНЛЗ должны будут непрерывно развивать наиболее актуальные элементы оборудования и технологии, создавая для своих клиентов дополнительный потенциал в быстро меняющемся мире технологий. Это позволит производителям металлопродукции достичь высоких стандартов в части ведения бизнеса за счет постоянной адаптации к новым реалиям, а также установить оптимальные бизнес-модели на основе уже имеющейся информации и производственных данных.

В материалах, посвященных прогрессу в непрерывной разливке сортовой, блюмовой и круглой заготовок, основное внимание акцентировалось на повышении производительности МНЛЗ и качество

заготовки. Поскольку отклонение геометрической формы заготовки от заданной конфигурации является источником возникновения проблем с качеством, то роль кристаллизатора как агрегата, обеспечивающего заданную геометрическую форму, рассматривается многими исследователями как доминирующая. Общей проблемой при литье сортовых заготовок является получение ромбовидной и трапецеидальной формы поперечного сечения, которая может обуславливать образование внутренних диагональных трещин и т. п. Также распространенной проблемой отклонений геометрической формы заготовки является выпуклость боковых граней, что обычно связывают с недостаточной величиной конусности внутренней полости кристаллизатора и повышенной скоростью разливки.

Так, фирма KME Germany GmbH & Co. KG представила новую конструкцию гильзового кристаллизатора с волнистой внутренней поверхностью. Новая конструкция кристаллизатора называется "WAVE" и рассматривается как инновационное решение в части повышения качества поверхности заготовки. Продольная волнистость поверхности кристаллизатора формирует волнистость на поверхности заготовки и выполняет функцию направления ее движения без поперечных колебаний. Такая форма кристаллизатора обеспечивает более интенсивный и равномерный отвод тепла и, следовательно, равномерное формирование твердой оболочки. Кристаллизаторы конструкции WAVETM проходят испытания на ряде металлургических заводов.

Оригинальная форма гильзового кристаллизатора представлена также фирмой DANIELI. Конструкция типа POWER MOLDTM обеспечивает максимально интенсивный и равномерный отвод тепла в кристаллизаторе за счет пропуска воды через высверленные в стенках кристаллизатора цилиндрические каналы. При этом в углах кристаллизатора такие каналы отсутствуют, что выравнивает интенсивность отвода тепла по горизонтальному сечению. При этом производительность одного ручья может быть повышена на 35-50 % в сравнении с известными решениями и составить, например, для квадрата сечением 150×150 мм – 45-55 т/ч на один ручей.

В условиях возрастающих требований к качеству металлопродукции все больше компаний находят себя в ракурсе оптимизации затрат при повышении качества в определенной нише рынка, что обеспечивает дополнительное конкурентное преимущество. Так, заслуживает внимание комплексный подход в части разливки на МНЛЗ различных сечений заготовки. Например, новая 5-ти ручьевая комбинированная МНЛЗ, сооруженная компанией SMS Concast на заводе Kardemir A.C. (Турция), позволяет разливать сортовую заготовку сечениями 150×150 и 200×200 мм, блюм – 320×480 и фасонную заготовку – 500×400×110, что дает возможность обеспечивать загрузку прокатных станов, имеющихся на заводе.

Благодаря сотрудничеству и совместному опыту завода Laiwu Steel Co и компании Danieli крупнейшая в мире 5-ти ручьевая МНЛЗ для разливки круглой заготовки была успешно запущена. Максимальное

сечение заготовки составляет 800 мм, производительность – 1,1 млн т заготовки в год. В докладе представлены основные результаты, полученные при разливке круга сечением 800 мм и менее, с точки зрения качества заготовки и работоспособности оборудования.

Динамика изменения рынка металлопродукции происходит достаточно быстро и обуславливается современными экономическими условиями. Это требует от металлургов создания экономически эффективных технологических циклов в сочетании с гибкостью производства. Для выполнения этих требований непрерывные улучшения качества металлопродукции, производственных машин и агрегатов оказываются наиболее актуальными. Так, в течение последних 25-30 лет процесс непрерывной разливки стали на тонкие слябы, совмещенный с их последующей прокаткой, активно развивался ведущими компаниями как альтернативная низко затратная система технологий для традиционных слябовых МНЛЗ. Показатели литейно-прокатных модулей (ЛПМ) непрерывно возрастают. Например, заводы с ЛПМ первого поколения обеспечивали годовой объем производства на уровне 0,8-0,9 млн. т листа в рулонах. Между тем на одном из последних ЛПМ, сооруженном компанией Danieli для POSCO (Южная Корея), достигнут объем производства в 2 млн. т листа в год на один ручей. При этом средняя ежедневная скорость разливки составляет 7,0 м/мин, а рекордный показатель – 8 м/мин.

Многие вехи в истории непрерывной разливки тонких слябов устанавливались компанией SMS Group (Schloemann, Concast и Mannesmann Demag). Новая концепция мини-завода, состоящего из вертикальной МНЛЗ с загибом в твердой зоне, туннельной печи и прокатного стана, характеризуется заметным снижением инвестиционных затрат, благодаря уменьшению толщины отливаемого сляба (за счет «воронкообразного» кристаллизатора) и исключению обжимной клетки. В целом для достижения высоких показателей новое поколение тонкослябовых МНЛЗ должно обеспечивать решение следующих вопросов: оптимизация динамики движения потоков жидкости в кристаллизаторе; стабильность положения уровня стали в кристаллизаторе; равномерность формирования твердой корочки в кристаллизаторе; предотвращение выпучивания заготовки в ЗВО; контроль температуры заготовки по всей траектории ее движения в ЗВО. Основным элементом таких технологий, видимо, будет являться рациональная форма воронкообразного кристаллизатора, обеспечивающая деформацию твердой корочки без критических напряжений при придании слябу прямоугольного сечения.

Помимо особых требований к конфигурации внутренней полости кристаллизатора при литье тонкого сляба повышенные требования предъявляются непосредственно к движению конвективных потоков в его жидкой ванне. При этом следует иметь в виду, что при литье тонких слябов скорость разливки возрастает в 3-6 раз, что турбулизирует поверхность мениска и способствует захвату частиц ШОС вглубь жидкой ванны. Кроме того, время пребывания стали

в кристаллизаторе становится слишком коротким для всплытия неметаллических включений и пузырьков аргона. Соответственно огнеупорные материалы для головной части стопора и погружного стакана должны быть выбраны с соответствующей тщательностью и обеспечивать оптимальное регулирование потока металла при его подаче в кристаллизатор. Между тем для более тонких слябов будет развиваться тенденция к асимметричному движению конвективных потоков, что приводит к повышению вероятности развития волн на зеркале металла в кристаллизаторе и, как следствие, приводит к ухудшению условий смазки по узким граням и образованию продольных трещин.

По данным анализа тенденций развития огнеупоров для разливки тонких слябов на протяжении последних 25 лет, представленным компанией RHI (Австрия), конструкция погружных стаканов требует дальнейшего непрерывного совершенствования как в части внутренней конфигурации, количества и формы выпускных отверстий, так и в части подбора огнеупорных материалов для наиболее ответственных участков, подвергющихся химической эрозии и разрушениям.

В настоящее время в эксплуатации по всему миру находятся 40 заводов с МНЛЗ для тонкого сляба, 62 МНЛЗ и 65 ручьев, в том числе CSP (Compact Strip Production) – 25 МНЛЗ; ISP (Inline Strip Production) – 3 МНЛЗ; Sumitomo – 3 МНЛЗ и FTSC (Flexible Thin Slab Casting) – 11 МНЛЗ. Годовое производство тонкого сляба превышает 80 млн тонн в год.

На конференции также было представлено несколько докладов, посвященных разливке стали непосредственно на тонкую полосу. В частности, в сообщении по разливке на двухвалковой МНЛЗ завода Outokumpu Krefeld, представленном компанией VEZUVIUS (Франция), особое внимание уделено разработке погружного стакана для подачи стали в межвалковое пространство. Как показало физическое и математическое моделирование, известные решения в части огнеупорных изделий не обеспечивают равномерного распределения температуры в зоне выхода листа из межвалкового пространства. Кроме того, распределение неметаллических включений оказывается неблагоприятным за счет их скопления в подповерхностных слоях и у кромки полосы. В докладе приведены принципиально новые решения конструкции погружного стакана, полученной на основе глубокого математического моделирования. Промышленные испытания были успешно выполнены в сентябре 2013 года на заводе Outokumpu Krefeld.

Достаточно перспективной выглядит разработка компании SMS Siemag AG, основанная на горизонтальной разливке листа – Belt Casting Technology (BCT®). Технология реализована в промышленном масштабе на заводе Salzgitter Flachstahl GmbH. Фактически эта технология представляет технологическим скачком в части литья заготовок, максимально приближенных по геометрической форме к готовой продукции. BCT® МНЛЗ обеспечивает разливку в большом диапазоне скоростей и размеров изделий в зависимости от концепции развития. Лейка продукции для BCT® МНЛЗ будет включать в основном марки сталей, которые на традиционных

МНЛЗ разливаются крайне сложно и имеют склонность к трещинообразованию.

Обобщая проблематику большинства докладов, следует отметить, что около 30-35 докладов были посвящены проблеме управления движением конвективных потоков в кристаллизаторе МНЛЗ и сопряженными с ней вопросами оптимизации конфигурации погружного стакана, всплытия неметаллических включений и пузырьков газа, управления движением металла посредством наложения электромагнитного поля, контроля положения уровня стали и пр. Как уже отмечалось, в последние годы ужесточаются требования к повышению производительности МНЛЗ. При этом параллельно повышаются требования к чистоте стали. Существует достаточно много факторов в процессе непрерывной разливки стали, которые могут заметно влиять на структуру конвективных потоков в кристаллизаторе. Но едва ли не самым важным является конструкция погружного стакана, которая должна быть адаптирована к различным условиям литья. Геометрические особенности дизайна погружного стакана для удовлетворения требуемой структуры потоков, как правило, связаны с формой отверстий и их сечением, конфигурацией донной части, углом наклона истекающих потоков и т. п. Судя из представленных докладов, многие исследователи продолжают дорабатывать конструкцию погружного стакана применительно к конкретным условиям литья. Это особенно просматривается в части разливки тонких слябов и сортовой заготовки, которая осуществляется на высоких скоростях. Так, для высокоскоростной разливки сортовой заготовки предложен погружной стакан с четырьмя отверстиями, который формирует вращательное движение конвективных потоков с одновременным уменьшением скорости истечения металла из окон. При этом подавляются сильные вихревые течения в области мениска, характерные для погружных стаканов традиционной конструкции.

При непрерывной разливке заготовок высокого качества все большее применение находит метод наложения электромагнитных полей. Электромагнитные поля, обеспечивающие формирование принудительных потоков стали, позволяют управлять гидродинамической картиной движения металла в кристаллизаторе. Электромагнитное перемешивание, как правило, применяется для создания областей вращательного движения жидкой стали, которые способствуют торможению потоков, формирующихся падающей струей, и обеспечивают перенос неметаллических включений в область мениска. Между тем, не смотря на весьма значительный объем теоретических и практических разработок, по-прежнему, актуальным остается вопрос оптимизации выбора интенсивности приложения электромагнитного перемешивания, что собственно обуславливается условиями разливки и требованиями к качеству. Наиболее важной представляется проблема численного моделирования процессов перемешивания металла в жидкой ванне при наложении электромагнитного поля. При этом, как было показано сразу в нескольких докладах, точность моделирования существенно падает при повышении интенсивности воздействия.

При сильном электромагнитном перемешивании картина движения потоков в области, расположенной между выходными отверстиями погружного стакана и зеркалом металла, искажается до состояния, которое нельзя принять корректным при моделировании. Поэтому, видимо, следует принять, что в настоящий момент имитационные модели не в состоянии воспроизвести этот феномен взаимодействия потоков, движущихся в кристаллизаторе при наложении электромагнитного воздействия. Следует ожидать, что дальнейший прогресс будет достигнут за счет расширения экспериментальной базы, позволяющей выполнять измерения требуемых величин непосредственно в ходе разливки. Это должно помочь изучить причины происхождения конвективных потоков в области погружного стакана.

Еще одной важной и далеко нерешенной проблемой является оперативное измерение расхода стали в процессе литья. В материалах конференции и на выставке были представлены ряд новых разработок, которые позволяют выполнять операцию измерения скорости непосредственно в промышленных условиях. Также был представлен новый датчик SENBUB, позволяющий выполнять измерения характеристик двухфазных потоков (сталь-аргон) непосредственно в погружном стакане. Измерительная система SENBUB достигает разрешения 0,5 кг/с со временем отклика 100 мс для скачка 2,5 кг/с массового расхода. В конечном счете, этот датчик дает информацию о газовом потоке внутри погружного стакана и позволяет оперативно реагировать на изменение структуры газожидкостного потока по ходу разливки.

Еще одной темой, широко представленной в докладах на конференции (свыше 20 докладов), были шлакообразующие смеси (ШОС) для разливки на МНЛЗ. Известно, что работа ШОС является одним из важнейших факторов, поскольку обеспечивает контакт между стенкой кристаллизатора и поверхностью заготовки, а также влияет на формирование поверхностных и подповерхностных дефектов. Помимо этого, при правильном выборе свойств ШОС удается достигнуть значительного эффекта в части ассимиляции неметаллических включений, попадающих из промежуточного в кристаллизатор. В целом же роль и эффективность работы ШОС в кристаллизаторе носит мультивекторный характер, что все больше размывает ранее сформировавшиеся представления о требованиях к ее работе и методикам исследований. На конференции были рассмотрены различные аспекты: исследование межфазных явлений между ШОС и потоками жидкого металла в процессе разливки; разработка ШОС и исследование их в процессе разливки сталей с повышенным содержанием алюминия; исследование толщины пленки шлака в кристаллизаторе для высокопрочных сталей; испытания жидких ШОС для разливки стали открытой струей (механическая смесь специального твердого порошка в синтетическом масле на основе жирных кислот); исследование влияния свойств ШОС на начальном этапе затвердевания для гипоперитетических сталей; разработка датчика для оптической оценки свечения ШОС в кристаллизаторе, обеспечивающего

индикацию возможных прорывов твердой корочки; применение экологически безвредных ШОС (без применения плавикового шпата) и влияние на показатель основности ШОС с добавками оксида лития и пр.

Большое внимание в ряде докладов уделялось проблеме контроля качества продукции. Отмечено, что на конечный результат при непрерывной разливке влияет определенная совокупность факторов, имеющих периодический и спонтанный характер. Например, формирование поверхностных дефектов при периодическом качании кристаллизатора сопряжено с нестационарными явлениями образования волн на поверхности стали, неожиданными колебаниями уровня, вызванными явлением выпучивания твердой корочки, а также спонтанным движением конвективных потоков и их взаимодействия с ШОС. Еще более сложной представляется проблема прогнозирования и контроля осевой пористости, которая еще требует своих решений, базирующихся на стохастических моделях.

Наиболее важным элементом, обуславливающим качество заготовки, является возникновение различного рода трещин, которые в непрерывнолитых заготовках являются наиболее распространенными дефектами. Они могут возникать как на поверхности заготовки, так и внутри ее. Формирование внутренней и поверхностной трещин происходит, главным образом, вследствие механических деформаций и внутренних напряжений в твердом каркасе. Причины возникновения трещин находятся как в плоскости условий разливки (режимы охлаждения, скорость вытяжки заготовки, загрязненность стали неметаллическими включениями, подвод стали в кристаллизатор и т. п.), так и в плоскости химического состава стали (некоторые легирующие элементы провоцируют трещинообразование и требуют коррекции режимов разливки). Значительное внимание в докладах уделялось формированию трещин при разливке перитектических сталей. Было отмечено, что такие стали представляют собой многокомпонентные сплавы, в которых легирующие элементы существенно влияют на фазовый переход.

Между тем при разливке заготовок большого сечения (толстый сляб, блюм) большое значение приобретает осевая сегрегация. Особенно актуальной она представляется при разливке толстых слябов (350-400 мм). Эта проблема рассматривалась сразу в нескольких докладах. Показано, например, что в центральной части сляба существует осевая зона толщиной 5-10 мм, где ликвация углерода, серы и фосфора может быть критической.

Эффективным способом контроля макросегрегации в непрерывнолитой заготовке представляется уже хорошо исследованный метод мягкого обжатия, сущность которого заключается в наложении определенного механического обжатия на твердый каркас заготовки в области, предшествующей окончанию жидкой фазы. Поскольку геометрическая конфигурация жидкой лунки имеет форму конуса, то на практике представляется крайне важным определение места приложения и величины механической деформации, позволяющих подавлять макросегрега-

цию. Так, результаты, достигнутые на 5-ти ручьевой МНЛЗ завода Voestalpine Stahl Donawitz GmbH (Австрия) для круга диаметром 230 мм, демонстрируют широкие возможности по эффективности мягкого обжатия для таких заготовок. Поскольку рассматриваемая МНЛЗ-3 изначально не была приспособлена для реализации метода «мягкого» обжатия, то следует ожидать, что полностью адаптированные новые МНЛЗ могут обеспечить еще больший эффект в части подавления макросегрегации, а также гомогенизации кристаллической структуры.

Примечательно, что работа конференции подтвердила интерес исследователей к проблематике и технике физического и математического моделирования процессов и явлений в металлургии. Элементы математического и физического моделирования присутствовали в большинстве научных докладов. В ряде докладов показано, что компьютерные модели могут успешно имитировать многие элементы явлений и механизмов, которые определяют такой сложный технологический процесс, как непрерывная разливка стали. В сочетании с экспериментальными измерениями в лаборатории и на промышленных объектах они становятся точным, мощным инструментом, который позволяет получить количественное понимание и улучшить определенные элементы промышленного процесса. Между тем возможности математических моделей могут быть серьезно расширены при привлечении данных лабораторных и промышленных экспериментов (например, для измерения фундаментальных свойств материалов в области температур кристаллизации). Хотя измерения в промышленных условиях зачастую выполнить достаточно трудно, но их ценность для проверки моделей крайне велика. При этом в сферу моделирования вовлекаются все новые объекты и явления.

Благодаря тому, что современные программные продукты обеспечивают все более широкое развитие имитационных моделей, наблюдается стремление исследователей к созданию комплексных моделей, учитывающих взаимное влияние наиболее важных физико-химических и технологических сторон процессов, что представляется невозможным для методов физического моделирования. Вместе с тем следует ожидать, что совершенствование математических моделей будет не только способствовать развитию более глубокого понимания процессов в исследуемой области, но и способствовать совершенствованию систем автоматизации и роботизации в металлургии. В металлургической практике, например, все шире применяется анализ технологических процессов и качества продукции в режиме «онлайн», включая использование в производственном процессе самообучающихся роботов. Такие роботы автономно выполняют кратковременные циклические операции и выдают дополнительную релевантную информацию для оперативного управления процессом разливки и качеством продукции. Уже сейчас можно утверждать, что в дальнейшем комплексные математические модели позволят создавать новые технологические системы, которые будут применимы в промышленности вследствие достижения

нового уровня качества металлопродукции при заметном снижении энергозатрат и уменьшении потребления невозобновляемых ресурсов.

Применительно к процессам производства и разлива стали использование компьютерных технологий и продуктов в последние два десятилетия обеспечило существенный прогресс в части обеспечения повышения качества металлопродукции, а также ужесточения методов контроля соответствия продукции заданным техническим условиям. Это удается достигнуть как за счет совершенствования существующих технологий и оборудования, так и вследствие введения новых технологических операций и применения оборудования, которые в большей степени могут быть компьютеризированы. Это, прежде всего, касается процессов непрерывной разлива стали. Огромный прогресс достигнут также в теоретической сфере: химическая термодинамика материалов, фазовые превращения, развитие понимания кинетики и массопереноса, уточнение явлений теплопереноса, развитие представлений о динамике затвердевания заготовки и пр.

Выводы

В целом же глобальные тенденции экономического развития будут продолжать оказывать существен-

ное влияние на развитие черной металлургии и, в частности, на прогресс в непрерывной разлива стали. Поскольку основные технологические элементы и процессы непрерывной разлива стали остаются преимущественно неизменными, то в них будут происходить некоторые усовершенствования и уточняющие изменения. Они будут базироваться на новых научных результатах, подтвержденных в промышленных условиях. Однако вряд ли следует ожидать, что вектор развития будет линейным и поступательным. Запросы, которые будут порождать внешний рынок, могут оказаться неожиданными и мало предсказуемыми. Поэтому для производителей стали окажется крайне важным распознать и среагировать как на краткосрочные запросы, так и на долгосрочные тенденции. Эта же тенденция будет очень важной для производителей огнеупоров и расходных материалов, применяемых при непрерывной разлива стали. Вместе с тем можно с уверенностью утверждать, что роль непрерывной разлива стали как «жизненно важного связующего звена» между процессом получения стали и прокаткой будет только возрастать в силу, например, приближения геометрической формы заготовки к конфигурации готовой продукции. Также в условиях постоянного наращивания объемов производства стали в мире объемы непрерывной разлива будут соответственно возрастать.

Анотація

Смірнов О. М.

Передові технології для безперервного розливання сталі: можливості та проблеми

Представлено огляд основних матеріалів 8-ої Європейської конференції з безперервного розливання, яка була проведена під патронатом Австрійського товариства з металургії та матеріалів. В роботі представлені тенденції розвитку чорної металургії, зокрема в області безперервного розливання сталі.

Ключові слова

фізичне моделювання, математичне моделювання, безперервне розливання

Summary

Smirnov O. N.

Advanced technology for continuous casting of steel: opportunities and challenges

The article presents an overview of basic materials 8th European Conference on continuous casting, which was held under the patronage of the Austrian Society for Metallurgy and Materials. The paper presents the development trend of the steel industry, particularly in the field of continuous casting of steel.

Keywords

physical modeling, mathematical modeling, continuous casting

Поступила 16.09.14