



В. А. МАТОЧКИН, В. В. ЭНДЕРС, М. П. ГУЛЯЕВ, В. Ю. ГУНЕНКОВ, РУП «БМЗ»

УДК 669

СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО РУП «БМЗ» – В ДИНАМИКЕ 20 ЛЕТ

История сталеплавильного производства РУП «БМЗ» – это история динамичного развития, совершенствования оборудования, технологии, качества и усложнения сортамента выпускаемой продукции. Сегодня, в юбилейный год, уместно подвести некоторые итоги этого движения вперед. В период пуска (1984 г.) электросталеплавильный цех имел две 100-тонные дуговые электросталеплавильные печи. Каждая печная установка снабжена трансформатором мощностью 75 МВА с плавным регулированием рабочего напряжения посредством переключения 25 ступеней. В условиях мини-завода не случайно в качестве сталеплавильных агрегатов были выбраны дуговые электропечи.

Мировая выплавка стали в электропечах постоянно увеличивается и сопровождается улучшением основных показателей процесса. Производство стали в электропечах не требует наличия жидкого чугуна в составе металлошихты, дуговые электросталеплавильные печи работают на 100 % твердой шихты (металлолом, металлизированные окатыши). Известно [1, 2], что классический процесс выплавки стали в дуговых электропечах включает в себя два периода: окислительный и восстановительный. В окислительный период осуществляют окисление примесей расплава, углерода, кремния, фосфора, а в восстановительный – удаление серы и раскисление стали непосредственно в печи.

На РУП «БМЗ» была реализована концепция электросталеплавильного производства, коренным образом отличная от классической. Эта концепция связана с изменением технологии плавки и конструкции дуговых печей для решения двух основных задач: повышения производительности и оптимизации энергопотребления. Сейчас, по истечении 20 лет, одношлаковая технология плавки в электропечи обычное дело. Однако можно с уверенностью сказать, что именно в условиях РУП «БМЗ» впервые в практике электросталеварения на пространстве существовавшего в то время СССР в промышленных масштабах внедрена но-

In conditions of RUP "BMZ" for the first time in practice of electric steelification in USSR in production quantities the new conception of melting of high level in blast steel-melting furnace has been embedded. The different variants of the out-of furnace processing and deoxidation of cord steel are tested.

вая концепция плавки высшего уровня в ДСП, которая сводилась к применению дуговой печи как высокопроизводительного агрегата для выплавки полупродукта в целях ускорения процесса плавления шихтовых материалов. Технология высшего уровня подразумевает отказ от идеи адаптации уменьшения вводимой электрической мощности в соответствии с такими привычными ограничениями, как низкая стойкость футеровки к воздействию мощных дуг, неоптимальность электрических характеристик короткой сети, выполнение в печи технологических операций, не требующих использования максимальной мощности, и др.

Высшая технология предусматривает приспособление печи к работе с максимальной мощностью трансформатора, применение водяного охлаждения стеновых панелей и свода, коротких сетей с минимальным электрическим сопротивлением и компенсаторов реактивной мощности, предполагает максимальное быстроедействие механизмов самой печи и всего вспомогательного оборудования, полностью исключает любые технологические операции, которые можно выполнить вне печи после выпуска, а также любые виды ожидания из-за синхронизации технологических этапов.

Основные признаки технологии электроплавки высшего уровня:

- 1) «жидкий старт», т.е. работа с "болотом";
 - 2) одношлаковый окислительный процесс;
 - 3) максимальная мощность дуг в течение всего периода плавления; максимальное заполнение объема печи шихтой, что минимизирует тепловые потери излучением на стены;
 - 4) применение топливно-кислородных горелок в «холодных» зонах печи, также ускоряющих плавление шихты;
 - 5) работа на максимально длинных дугах в процессе плавления шихты;
 - 6) постоянная работа на вспененных шлаках.
- К тому времени, когда возникает возможность раскрытия дуг, в печи должен быть сформирован

вспененный шлак, который имеет толщину не менее длины дуг, экранирует их и покрывает защитным слоем поверхность водоохлаждаемых панелей.

Концепция технологии высшего уровня разработана и запатентована Белорусским металлургическим заводом (а. с. 1370150 СССР: МКИ С21с 5/52) в 1985 г.

При эксплуатации печей чередуются два метода выплавки стали: с завалкой шихты на «сухую» (очищенную от остатков шлака и металла) подину — одна и более плавов; с завалкой шихты на «болото» (на шлак и примерно на 1/15 часть массы металла предыдущей плавки) — 2–12 плавов. Завалку металлошихты в печь производят в два приема (завалка+подвалка — 60–65 и 40–55 т соответственно). Процесс плавления осуществляется при высоких степенях напряжения и средней активной мощности 50–55 МВт.

Для интенсификации плавления шихты используют стеновые газокислородные горелки, через которые подается смесь следующего состава: природный газ — 100–400 м³/ч, кислород — 200–800 м³/ч, воздух — 150–200 м³/ч при давлении 0,25–0,35; 0,8–1,2; 0,4–0,6 МПа соответственно. Применение газокислородных горелок позволяет сократить период плавления на 4–6 мин.

Через 40–50 мин после начала плавления в ванну жидкого металла с помощью трубки подают кислород с расходом 10–12 м³/(т/мин). Раннее начало продувки металла кислородом позволяет сократить длительность плавки на 5–10 мин.

Максимальное повышение производительности дуговой печи происходит при завалке металлошихты на остаток металла и шлака предыдущей плавки — на «болото». Так, наличие в печи 10–15 т металла и 2–5 т шлака позволяет сократить примерно 15 т жидкой стали от предыдущей плавки и богатые кислородом шлаки дают возможность при использовании кислорода за более короткое время получить быстро реагирующие шлаки для дефосфорации. Кроме того, сохраняется энергия оставшихся в печи шлаков, а их наличие в свою очередь позволяет избежать рефосфорации и способствует десульфурации.

Для того чтобы применить высокопроизводительный и экономящий энергию режим с заглубленной дугой, необходимо поддерживать шлаки в «пенистом» состоянии в определенных фазах плавления, благодаря чему электродуга будет закрыта, что предотвращает ненужные потери энергии. Вспенивание сталеплавильных шлаков обеспечивается при сочетании двух факторов: интенсивного выделения газообразного оксида углерода из сталеплавильной печи и охлаждения шлака вследствие протекания в нем процессов, идущих с большим поглощением теплоты. Проектная производительность цеха составляла 720 тыс. т и была достигнута уже в 1986 г.

Дуговые печи РУП «БМЗ» изготовлены по лицензии фирмы «Крупп». Конструкция печных агрегатов, как и технология плавки на РУП «БМЗ», постоянно развиваются и совершенствуются. В 1987 г. впервые в практике современной отечественной электрометаллургии была реконструирована и введена в эксплуатацию система внецентрового донного (эркерного) выпуска стали на ДСП-2, что также дало толчок по переоборудованию аналогичных печей отрасли. Система эркерного выпуска позволила решить ряд важных вопросов технологии за счет организации быстрого выпуска металла из печи в стальковш с минимальными температурными потерями и отсечкой окисленных печных шлаков, что привело к принципиальному повышению технико-экономических показателей электроплавки. В это же время ДСП-2 оборудована механизированной системой непрерывной подачи металлизированного сырья в печь, введено в эксплуатацию отделение внепечной обработки металла, стала возможной выплавка высококачественной стали из первородного сырья.

Внедрению новых марок стали предшествовали глубокие исследования процессов внепечного рафинирования, в первую очередь процессов вакуумирования металла.

Основная задача процесса вакуумирования — максимальное удаление газов из стали. В состав отделения внепечной обработки стали электросталеплавильного цеха №2 входят циркуляционный вакууматор RH, ковшевой вакууматор VD и установка «ковш-печь». Особенностью работы отделения внепечной обработки является то, что оба вакууматора обслуживаются одной системой вакуумных насосов, обеспечивающих разрежение менее 1 Мбар. Поочередное использование вакууматоров VD и RH обеспечивается шиберным устройством. В данных условиях представляло практический интерес сравнение эффективности обработки металла на двух типах вакууматоров. Внепечная обработка осуществляется по двум схемам: ДСП→«ковш-печь»→VD→«ковш-печь»→МНЛЗ; ДСП→«ковш-печь»→RH→«ковш-печь»→МНЛЗ.

Для анализа использован современный экспресс-метод измерения содержания водорода с помощью системы «Hidris» фирмы «Elektro-Nite».

Циркуляционный вакууматор RH имеет патрубки с внутренним диаметром 320 мм. Во всасывающий патрубок подается аргон интенсивностью 400–500 л/мин. Линейная скорость циркуляции жидкого металла через патрубок составляет 100 м/с и соответствует массовой скорости в среднем 35 т/мин. Следовательно, продолжительность цикла вакуумирования, в течение которого плавка массой 100 т полностью пройдет через вакууматор, составляет не более 3 мин. Исследованиями установлено, что за пять циклов вакуумирования (15 мин) уровень дегазации по во-

дороду составляет 85–92% от начального содержания. При этом сразу после присадки материалов в вакууматор отмечается незначительный прирост концентрации водорода, вследствие того что углеродсодержащие материалы и ферросплавы содержат определенное количество влаги. В связи с этим продолжительность периода от момента присадки материалов в вакууматор до окончания процесса вакуумирования не должна быть менее 6–7 мин. Исходя из технологической целесообразности, присадку материалов необходимо производить на 5–7 мин при выходе на рабочее разрежение в камере сразу после вакуумного раскисления, которое можно фиксировать с помощью газоанализаторов по диаграмме отходящих газов.

Анализ диаграмм отходящих газов при вакуумировании стали показывает, что к 17–20-й минуте вакуумирования после присадки всего науглероживателя и раскислителей количество CO и CO₂ резко снижается и близко к нулю. Начиная с 20-й минуты вакуумирование способствует только перемешиванию металла и равномерному усвоению введенных ранее материалов.

Исходя из изложенного выше, можно принять, что дегазация нераскисленной стали (при вакуумировании на RH) занимает не более 20 мин. Измерения водорода по ходу вакуумирования позволили получить кинетические уравнения процесса дегазации:

для нелегированной стали:

$$\ln([H]/[H]_0) = -0,082t - 0,020,$$

где [H] – содержание водорода в металле в момент времени t , ppm; [H]₀ – содержание водорода в металле до присадки ферросплавов, ppm; t – время вакуумирования, мин;

для легированной стали:

$$\ln([H]/[H]_0) = -0,078t - 0,031.$$

Для условий дегазации стали в вакууматоре VD получены следующее кинетические уравнения:

для легированной стали:

$$\ln([H]/[H]_0) = -0,041t - 0,011,$$

для углеродистой стали:

$$\ln([H]/[H]_0) = -0,028t - 0,004.$$

Из сравнения кинетических уравнений следует, что константа скорости реакции дегазации в вакууматоре RH во всех случаях существенно выше, чем для вакууматора VD.

Вместе с тем заданные минимальные значения содержания водорода в кордовой стали менее 2 ppm, в обычной углеродистой стали менее 4 ppm и в легированной стали менее 2,5 ppm всегда могут быть получены при вакуумировании как на вакууматоре RH, так и на VD. Вероятность появления брака при ультразвуковом контроле макроструктуры проката резко повышается при содержании водорода в металле для углеродистых сталей более 4 ppm. Для легированных сталей этот

порог находится на уровне 2,0–2,5 ppm в зависимости от диаметра проката. При получении значений содержания водорода в металле свыше 4 ppm необходимо провести противоблоксную обработку проката в колодцах замедленного охлаждения. Результаты данных исследований использованы при освоении новых марок стали. В период 1987–1991 г. существенно усложнен сортament сталей. Практически разработана, освоена и внедрена технология производства всей гаммы сталей, присущих классическому электросталеплавильному производству. Освоено производство практически всего контрактного сортамента. Это легированный конструкционный прокат по ГОСТ 4543: 15Г- 50Г2, 20ХГНР, 20ХГНТР, 47ГГ, 25ГФ, 18ХГГ-30ХГГ, 20ХГР-27ХГР, 25ХГМ, 30ХРА, 15ХФ-30ХФ, 12ХН3А-30ХН3А, 12Х2Н4А-20Х2Н4А, 20ХНР, 20ХГНМ, 20ХГНМТА, 40ХГТР, 45ХН-50ХН, 18Х2Н4МА-25Х2Н4МА, 30ХМА, 40ХМФА, 30ХГСН2А, 30ХН2МФА, 40ХГНМ, 36Х2Н2МФА, 38Х2МЮА, 20ХН4ФА, 45ХН2МФА, 38ХН3МФА, 42CrMoS4, 42CrMo4НН, SCM430H-SCM440H, 15Х-50Х, 15ХА-38ХА и аналогичные марки стали по иностранным стандартам: 080M40, 8620, 8630, 16MnCr5, 16MnCrS5, 18CrMo4, 18NiCrMo5, 20MnCr5, 1541H, F-130DEN, 7125, 14MoCr10, 12MoCr22, 15Mo3, 4130-4140, 4135RH, 709M40, 817M40, 4340, 34CrMo4, 39NiCrMo3, 42CrMo4; рессорно-пружинный прокат по ГОСТ 14959-79: 60 – 85, 60Г-70Г, 50ХФА, 50ХГФА, 70ХГФА, 60С2А, 60С2Г, трубная заготовка по ГОСТ 1050-88, ОСТ 14-21-77 и иностранным стандартам: 10 - 45, 52, Т11, Т12, Д, К, Е, 36Г2С, 37Г2С; штамповые стали типа 45ХН2МФА, 45ХНМФЮТР, 45ХНМФЮТР, 45ХНМФЮ1ТР, 78ГМФС, 78ХН3МФТР; стали для горячей и объемной штамповки (пат. РФ Ru 2001120 С1 С21с 5/52), разработан ряд новых марок штамповых сталей (пат. РФ №719, 729).

В 1987 г. началась эпоха производства металлокорда. Уникальным в технологии производства металлокорда является то, что выплавка стали впервые в металлургической практике осуществляется в дуговых электропечах, весь цикл производства готового металлокорда от подготовки сырья до свивки сосредоточен на одном заводе.

Первую плавку кордовой стали РУП «БМЗ» выплавил в июле 1987 г. Имея уникальную возможность оперативно оценивать качество продукции (металлического корда) непосредственно в рамках своего предприятия и обладая современными средствами контроля и анализа качественных параметров (эмиссионные спектрометры ARL, газоанализаторы «Лесо», электронные микроскопы с микрозондами Stereo-Scan-120 и др.), заводские специалисты разработали стройную технологию получения качественной высокоуглеродистой стали для производства металлического корда.

На основе многолетнего собственного опыта и практики зарубежных производителей корда выделены основные наиболее важные аспекты качества кордовой стали:

- минимальное (менее 0,05% каждого) содержание примесей цветных металлов Cr, Ni, Cu;
- низкое содержание газов: азота и кислорода – менее 50 ppm, водорода – менее 2 ppm;
- высокая чистота стали по неметаллическим включениям, особенно по оксидам алюминия;
- низкая степень сегрегации элементов, в первую очередь углерода, в слитке и катанке.

Безусловно, простейшее решение проблемы минимизации примесей цветных металлов заключалось в использовании чистых «первородных» видов сырья: металлизированные окатыши, горячебрикетированное железо, чугуны передельный и др. По проектной технологии кордовую сталь выплавляли в 100-тонных дуговых печах с использованием в шихте до 100% металлизированных окатышей ОЭМК.

Стандартная шихтовка плавок состояла из 80% окатышей и 10–20% чистого оборотного

лома. Технология непрерывной подачи металлизированных окатышей и извести в соотношении 10:1 позволяла совместить плавление шихты с окислением избыточного углерода. При этом дуги имели стабильные параметры и горели устойчиво. Увеличивается средняя подводимая мощность к печи. Обеспечивается во всех случаях содержание Cr, Ni, Cu менее 0,05% каждого, содержание серы и фосфора – не более 0,015% каждого, содержание азота – на уровне 25 ppm.

Однако высокая стоимость и дефицит металлизированного сырья, повышенный расход электроэнергии в среднем на 10% и извести в среднем на 45% обусловили необходимость поиска альтернативных видов сырья. В результате системной работы по входному контролю различных видов металлолома и работы с поставщиками были выделены отдельные виды «чистого» металлолома, удовлетворяющие условиям выплавки кордовой стали.

Средний химический состав отдельных видов «чистого» лома приведен в таблице.

Отдельные виды «чистого» лома

| Наименование материала | Средний химический состав, мас.% | | | | | | | |
|------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|-------|------|
| | C | Si | Mn | Cr | Ni | Cu | S | P |
| Пакеты ВАЗ | 0,10 | 0,03 | 0,30 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,01 |
| Кордовые отходы | 0,73 | 0,20 | 0,50 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,01 | 0,01 |
| Железнодорожные рельсы | 0,68 | 0,24 | 0,91 | 0,04 | 0,05 | 0,07 | 0,029 | 0,02 |

Статистический анализ более 200 плавок, проведенных с использованием различных видов «чистого» лома и варьированием их количества, позволил получить выражение для определения оптимальной доли лома от общей массы металлошихты:

$$D_{мл} = \frac{ЦП_{ст} - 0,0122}{1,08ЦП_{мл} - 0,0122},$$

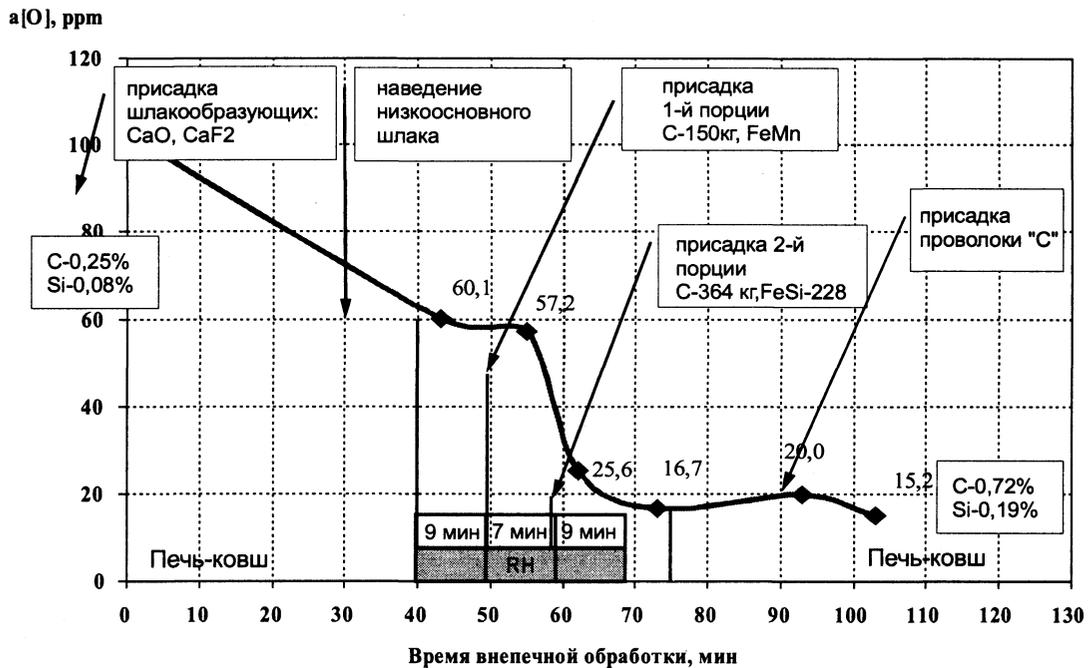
где $D_{мл}$ – доля металлолома в шихте; $ЦП_{ст}$ – максимальное допустимое содержание цветных примесей Cr, Ni, Cu в готовой стали, %; $ЦП_{мл}$ – максимальное содержание примесей цветных металлов в металлоломе, %.

Для получения стабильно низких содержаний азота и кислорода (менее 40 ppm) в ДСП при выплавке кордовой стали на металлоломе заводские специалисты разработали оригинальный способ (патент Республики Беларусь № 4286), заключающийся в том, что для регулирования скорости окисления углерода в окислительный период в печь присаживают твердые окислители различной фракции и плотности в количестве 0,8–1,0% от массы металлошихты.

Степень загрязненности кордовой стали неметаллическими включениями, их тип и химический состав во многом определяют технологичность переработки катанки и в целом качество

готового металлокорда. Наиболее нежелательными включениями в кордовой стали являются оксиды алюминия и титана.

В условиях РУП «БМЗ» испытаны различные варианты внепечной обработки и раскисления кордовой стали, в результате разработан и внедрен оптимальный вариант технологии производства кордовой стали. Способ запатентован в Республике Беларусь. По данному способу металл выпускают из печи с минимальным (из всех вариантов) содержанием углерода (менее 0,15%) и кремния (0,10%), до вакуумирования металл обрабатывают кислым шлаком, силикокальциевую проволоку не присаживают. Первые 3–5 мин вакуумируют недораскисленный металл, после чего осуществляют углеродное раскисление и только в конце вакуумирования сталь раскисляют кремнием. Известно, что вакуумирование нераскисленного металла за счет дополнительного окисления углерода и кипения ванны способствует наиболее эффективному рафинированию расплава от неметаллических включений. Анализ окисленности стали при комплексном раскислении углеродом и кремнием показал, что определяющим активностью кислорода будет тот элемент, в равновесии с которым она будет минимальной. При 0,20 % C равновесная с ним активность кислорода составляет 0,015 %, что соответствует содержанию кремния 0,20 % при 1600 °С. При охлаж-



дении металла с 1600 до 1525 °С в равновесии с этим содержанием кремния активность кислорода составит 0,006 %. Введение кремния в данных условиях приведет к значительному образованию продуктов раскисления. В процессе вакуумной обработки при 0,20 % С активность кислорода (расчетная) составит 0,005 %. Последующее легирование кремнием до 0,20 % не приведет к образованию продуктов раскисления (см. рисунок). Как видно из рисунка, уже после первой присадки науглероживателя при вакуумировании (при содержании углерода 0,35–0,45 %) активность кислорода составляет менее 0,002 %. Комплексная технология производства кордовых сталей с обработкой металла шлаками переменного состава и раскислением углеродом при вакуумировании внедрена в производство. Суть новой технологии заключается в следующем: при выплавке стали в ДСП используют «чистый» лом, передельный чугун, металлизированные окатыши и/или горячебрикетированное железо. Плавку выпускают в стальковш при содержании кислорода 300–800 ppm и температуре 1650–1690 °С. В процессе выпуска металл предварительно раскисляется углеродом и кремнием до содержаний 0,35 и 0,10% соответственно и легируется марганцем. После передачи плавки на «ковш-печь» проводится десульфурация металла и перед вакуумированием наводится шлак с низкой (1,0–1,5) основностью. В процессе вакуумирования металл в первую очередь раскисляется углеродом и затем легируется кремнием. Содержание активного кислорода после внепечной обработки составляет не более 15 ppm.

Внедрение данной технологии в условиях РУП «БМЗ» позволяет расширить выпуск конкурентоспособных высокопрочных и ультравысоко-

прочных видов металлокорда, снизить расход дефицитной и дорогостоящей силикокальциевой проволоки, повысить технологичность переработки кордовой катанки, снизить ее расход на производство металлокорда и получить годовой экономический эффект в размере 488 415 у.е.

Высокое качество белорусского корда подтверждают его потребители: белорусские и российские шинники, известные мировые фирмы-производители шин «Гудьер», «Пирелли», «Континенталь», «Матадор», «Мишлен», «Данлоп».

Другой важнейшей проблемой кордовой стали является неравномерное распределение элементов (особенно углерода) в слитке и катанке, что приводит к повышенной обрывности проволоки при свивке и снижению пластических характеристик готовых изделий металлокорда и проволоки для рукавов высокого давления (РМЛ).

Для оценки степени сегрегации (ликвации) углерода в катанке используют бальную шкалу (составлена статистическим методом), которая имеет 5 баллов, максимально допустимый балл – 3.

С целью гарантированного обеспечения заданного уровня ликвации Белорусский металлургический завод в 1998 г. провел реконструкцию четырехручьевого сортовой машины непрерывного литья заготовок. Машина криволинейного типа предназначена для отливки блюмов сечением 250х300 и 300х400 мм из углеродистой и легированной качественной стали со скоростью разлива от 0,5 до 0,8 м/мин.

Главная цель реконструкции – улучшение качества внутренней структуры и поверхности непрерывнолитых заготовок. В ходе модернизации выполнены следующие основные мероприятия:

- область первичного охлаждения в кристаллизаторе увеличена на 100 мм;

- установлены катушки электромагнитного перемешивания в кристаллизаторе и финальной зоне;
- изменены секции зоны вторичного охлаждения и системы первичного и вторичного охлаждения;
- усовершенствована и внедрена система автоматизированного поддержания уровня металла в кристаллизаторе;
- внедрена усовершенствованная автоматизированная система управления технологическим процессом разливки.

Первичная система охлаждения устанавливает расход воды в кристаллизаторе постоянным (независимо от скорости разливки, марки стали и перепада температуры) в следующих пределах: для сечения 250x300 мм — 1750 л/мин; для сечения 300x400 мм — 2250 л/мин.

Расход воды по секциям ЗВО устанавливается автоматически в зависимости от скорости разливки и марки стали (группа охлаждения) в широких пределах от 0,7 до 78 л/мин. Управление расходом воды при работе 2-го уровня осуществляется таким образом, чтобы каждый метр сегмента заготовки получал строго определенное количество воды с учетом фактической скорости разливки.

Система автоматического поддержания уровня металла в кристаллизаторе с применением радиоактивных датчиков кобальт-60 позволяет поддерживать колебания уровня металла в кристаллизаторе в узких пределах ± 5 мм.

Катушки ЭМП вращают жидкую фазу вокруг продольной оси заготовки и имеют следующие характеристики: сила тока — 700 А; рабочая частота: кристаллизаторной катушки — 1–5 Гц; финальной катушки — 3–13 Гц; режим работы: «вправо без пауз», «влево без пауз», «вправо с паузой», «влево с паузой», «реверсивно».

Финальная катушка имеет пять рабочих положений по разливочной дуге: в диапазоне 5182–10766 мм от кристаллизатора.

Применение катушек ЭМП значительно изменило условия затвердевания стали в кристаллизаторе и массопереноса в двухфазной зоне, в результате расширяется зона равноосных кристаллов и приостанавливается рост столбчатых кристаллов. В целом улучшена микро- и макроструктура непрерывнолитых блюмов, развитие ликвационных полосок снизилось в 4 раза для сечения 200x300 мм и в 2,2 раза — для сечения 300x400 мм.

В результате детальных исследований определены оптимальные режимы работы катушки ЭМП и положение финальной катушки для сталей с содержанием углерода от 0,1 до 0,8%, обеспечивающее балл ликвации не выше 3. Установлено, что с увеличением содержания углерода более 0,8% влияние электромагнитного перемешивания на осевую сегрегацию примесей существенно сни-

жается и практически нивелируется. Очевидно, что при высоких содержаниях углерода его поток от периферии к центру слитка при перераспределении в процессе кристаллизации велик и не может быть рассредоточен магнитными воздействиями катушек перемешивания.

Для производства стали под высокопрочный корд ($C > 0,8\%$) на РУП «БМЗ» разработан и внедрен способ прокатки заготовок разделением.

В 1998–2000 гг. РУП «БМЗ» внедрил на всех трех печах систему донной продувки ванны печи инертными газами. Продувка осуществляется через три фурмы, установленные в подине печи. Реализована схема «прямого» типа продувки.

При работе в автоматическом режиме расход инертного газа зависит от потребляемой мощности ДСП и вида металлошихты и колеблется от 20 до 60 нл/мин.

Продувка инертным газом способствует интенсивному перемешиванию металла со шлаком, мелкие пузыри оказывают фильтрующее воздействие на металл. Слои металла, насыщенные инертным газом, вследствие снижения плотности получают вертикальное перемещение, вызывая противоположное перемещение соседних слоев стали, в результате выравниваются температура и химический состав в объеме ванны. Перепад температуры металла между последним измерением в печи и первым измерением в ковше снижен на 15°C стали, в результате выравниваются температура и химический состав в объеме ванны.

Указанный эффект может быть использован для снижения температуры стали в печи перед выпуском примерно на 15°C , что позволит сократить продолжительность работы печи под током на 1,5–2 мин и сэкономить около 15–20 кВт·ч/т электроэнергии. Несомненно положительное влияние донной продувки ванны на ускорение массообменных процессов между металлом и шлаком вследствие существенного увеличения удельной поверхности контакта фаз. Снижение концентрации кислорода в металле и всплывание неметаллических включений при донной продувке в печи обеспечило уменьшение содержания оксидных включений в стали для металлокорда в 1,3 раза и угара раскислителей в 1,05 раза. Содержание азота в металле без продувки через днище в период вялого кипа увеличивается в среднем на 20 ppm. Компенсация мощности кипения ванны за счет принудительной продувки аргоном снизу обеспечивает снижение концентрации азота в стали в этот период в среднем на 15 ppm.

В 1999 г. проведена реконструкция ДСП-3, которая была введена в эксплуатацию в 1990 г. Цель реконструкции — увеличение производительности и качества металла. Печь дополнительно оборудована дверной газокислородной горелкой мощностью 5 МВт, манипуляторами для вдувания кислорода и углеродсодержащих материалов,

консолями «Фукс», горелкой в районе эркерного выпуска металла. В результате реконструкции мощность сталеплавильного комплекса достигла 1250 тыс. т литой заготовки.

Достигнутые технико-экономические показатели первой линии сталеплавильного производства (ДСП-1-2 – МНЛЗ-1-2) сдерживались в дальнейшем своем развитии материальными и моральными возможностями существующего оборудования. В современной электрометаллургии практически все аналогичные производственные линии оборудованы установками «ковш-печь». Для улучшения качества продукции, расширения сортамента и наращивания объемов производства в линии ДСП-1-2 – МНЛЗ-1-2 в 2002 г. введена установка «ковш-печь».

Ввод в эксплуатацию установки «ковш-печь» позволил увеличить производство цеха на 30%, при этом производить заготовку улучшенного качества для канатной и кордовой катанки, металла для холодной высадки и др.; снизить удельный расход электроэнергии в среднем на 35 кВт·ч/т; уменьшить расход электродов на 10%; увеличить стойкость печных огнеупоров на 15%;

увеличить выход годного на 1% за счет повышения серийности разливки.

В юбилейный год 20-летия завода сталеплавильщики провели еще одно мероприятие по реконструкции: произведена замена трансформатора на ДСП-2 на более мощный – 95 МВА. В настоящее время освоение интенсифицированных энерготехнологических режимов продолжается.

Впереди у сталеплавильщиков РУП «БМЗ» новые рубежи в технологии, совершенствовании оборудования и улучшении качества; прорабатываются варианты модернизации печей с увеличением доли альтернативной энергии, применением современных комбинированных горелок, намечено внедрение разливки «под уровень» на МНЛЗ-1 и 2, выбираются варианты реконструкции МНЛЗ-3 и другие мероприятия по улучшению технико-экономических показателей сталеплавильного производства.

Литература

1. Явойский В.И. Теория процессов производства стали. М.: Metallurgizdat, 1967.
2. Морозов А.Н. Современное производство стали в дуговых печах. Челябинск: Metallurgia, 1987.