The application of the system of dynamic soft reduction on continuous casting machines is grounded. Their impact on the quality of macrostructure blanks is displayed.

А. А. СОТНИКОВ, С. В. ТЕРЛЕЦКИЙ, В. Э. МАРУШКЕВИЧ, ОАО «БМЗ»

УДК 621.76

СИСТЕМЫ МЯГКОГО ОБЖАТИЯ НА МАШИНАХ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО МАКРОСТРУКТУРЫ ЗАГОТОВОК

В течение последних десятилетий специалистами в области металлургии накоплен значительный опыт по использованию внешних динамических воздействий на затвердевающие слитки и непрерывнолитые заготовки. В ходе промышленных либо опытных испытаний наибольшее распространение получили такие методы воздействий, как электромагнитное перемешивание металла при затвердевании; низкочастотная виброобработка (наложение колебаний на кристаллизатор или погружаемым стержнем-холодильником); обработка акустическими или ультразвуковыми колебаниями, вводимыми непосредственно в металл; электрогидроимпульсная обработка; пульсационное перемешивание; продувка инертным газом; «мягкое» обжатие в конце периода затвердевания.

Метод «мягкого» обжатия в конце затвердевания при наличии жидкой фазы считается наиболее радикальным приемом, обеспечивающим улучшение качества внутренних зон непрерывнолитой заготовки [1]. Глубокие исследования начались сравнительно недавно и пока существуют определенные противоречия в представленных в литературе выводах и рекомендациях. Вместе с тем, достаточно однозначным и бесспорным можно считать вывод о том, что вследствие деформации внутренних слоев заготовки (при наличии жидкой фазы) происходит разрушение осей дендритов у фронта затвердевания, увеличивается количество центров кристаллизации в двухфазной зоне, улучшаются условия питания заготовки жидким металлом, подавляется процесс формирования осевой ликвации и пористости.

Неуклонный рост требований к качеству непрерывнолитой заготовки стимулировал развитие принципов «мягкого» обжатия в конце затвердевания для подавления осевой пористости и ликвации [2]. Задача реализации метода мягкого обжатия непрерывнолитой заготовки заключается в определении места, закона и способа приложения усилия.

Первоначально заготовку деформировали довольно простым способом с помощью роликов в зоне выравнивания. Однако при этом требовались точный контроль температуры разливки и режимов охлаждения (так как обжатие заготовки происходит в строго фиксированных точках) и большие усилия, особенно возрастающие по мере увеличения доли твердой фазы, а также возникала опасность выпучивания заготовки между роликами (и по бокам). Такая деформация стимулировала развитие в заготовке осевой ликвации и появление дополнительных ликвационных полос.

Первые опыты обжатия слитка в процессе затвердевания всесторонним вдавливанием датируются 1900 г. Применительно к непрерывной разливке этот способ стали использовать спустя 90 лет [3]. Промышленные испытания системы динамического мягкого обжатия на слябовой МНЛЗ при разливке на толстый лист (компания «Dillinger Hütte», Германия) показали, что структура слябов значительно улучшается, однако эффект зависит от скорости разливки, положения конца жидкой фазы и прикладываемого давления.

По мнению некоторых европейских экспертов, первая в мире полностью динамическая система мягкого обжатия была реализована в 1995 г. на заводе «Rautaruuki Steel» (Финляндия) [4] с применением системы статического и динамического обжатия сляба путем регулирования сегментов (зазоров между роликами) с помощью гидравлических устройств. При работе в статическом режиме регулирование зазора обеспечивалось только перед началом разливки. Испытания в динамическом режиме, когда регулируется не только зазор между

роликами, но и сам участок обжатия, дали положительные результаты по осевой ликвации; уменьшилось водородное растрескивание металла и улучшилось качество слябов из сталей, используемых для деталей морских буровых платформ. Снижен уровень брака при прокатке толстого листа.

При этом было отмечено, что динамическое обжатие не сказывается на качестве поверхности при скорости разливки до 1 м/мин. Не было выявлено четкой зависимости величины обжатия и степени осевой ликвации. Наибольшее влияние на осевую ликвацию оказывают условия разливки: скорость, перегрев металла в промежуточном ковше и размер слябов.

Экспериментальные исследования на заводе «Sandvik Steel» (Швеция) [5] показали, что оптимальные обжатия (от 4 до 7,1 мм) и скорость разливки (0,81–0,89 м/мин) обеспечивают максимальное подавление осевой пористости в высоколегированной хромоникелемолибденовой стали в 1,5–3,0 раза. Эти результаты подтвердили, что эффективность метода динамического мягкого обжатия в подавлении осевой пористости определяется взаимным положением границы жидкой лунки и места приложения обжатия.

Несмотря на установившееся мнение о нецелесообразности применения мягкого обжатия к круглой непрерывнолитой заготовке, на заводе «Chita Plant» (Япония) опробовали динамическое мягкое обжатие заготовок диаметром 350 мм из подшипниковой стали [6] при разливке со скоростью 0,4–0,65 м/мин на вертикальной МНЛЗ. В ходе исследований оценивали углеродную ликвацию, угол раскрытия V-образной ликвации, макроструктуру, внутренние трещины в литом металле и прокатанной сортовой заготовке. Мягкое обжатие заготовки практически полностью подавляло осевую углеродную ликвацию: увеличение содержания углерода в центре составило 0,05–0,07%, тогда как в заготовке без мягкого обжатия – 0,25–0,35%. Установлено, что наилучшие результаты достигаются при доле твердой фазы в зоне начала обжатия на уровне 0,4–0,45 (доли единицы или 40–45%) при обжатии, составляющем 1,6% диаметра заготовки; при большей доле эффект подавления ликвации снижается, а при уменьшении возникают внутренние трещины. Угол раскрытия V-образной ликвации при мягком обжатии расширяется на 10–15 градусов.

Положительные результаты в подавлении осевой ликвации методом мягкого обжатия получены на заводе «Sollac» (Франция) при разливке углеродистой стали на блюмы сечением 260–320 мм [7].

В ОАО «Северсталь» применение системы динамического мягкого обжатия при разливке на слябы сечением 200×1150 мм из сталей 10ХСНД, А36пс, 09ГСФ, 09Г2С, 09ХН2МД позволило увеличить скорость от 0,55 до 0,7 м/мин без нарушения геометрических параметров слитка. Наименьшие показатели размера зерна, осевой пористости и ликвации были получены для стали 09ГСФ. В макроструктуре отмечается увеличение зоны равноосных кристаллов. Влияние мягкого обжатия можно сравнить с влиянием на структуру таких технологических приемов, как снижение степени перегрева жидкого металла в промежуточном ковше, введение инокуляторов, электромагнитное перемешивание в кристаллизаторе и зоне завершения затвердевания.

Необходимо отметить, что наиболее широкое распространение мягкое обжатие получило именно при разливке слябов [8]. Это объясняется тем, что механическое воздействие на затвердевающий слиток начинается при доле твердой фазы в пределах 20–50% (в зависимости от профиля слитка) и заканчивается при 70–100% твердой фазы. В случае мелкосортных заготовок этот метод малоэффективен из-за небольших размеров слитка, ограничивающих усилия деформации.

В настоящее время практически все мировые производители основного технологического оборудования для металлургии при проектировании слябовых и блюмовых МНЛЗ предусматривают технологию мягкого обжатия. Так, например, технология DynaGap SoftReduction от компании Siemens VAI (Австрия) включает трехмерную систему термического слежения для расчета температурного профиля ручья в режиме реального времени. Такой динамический инструмент технологического контроля также определяет оптимальные усилия роликов тянущих устройств даже при нестабильных условиях разливки и принимает в расчет изменения параметров перегрева, химический состав стали, скорость разливки и расход воды в системе вторичного охлаждения. Технология DynaGap SoftReduction была впервые внедрена на блюмовой машине Siemens VAI в 2003 г. на предприятии Panzhiqua Iron and Steel (Group) Co. (Pangang) в китайской провинции Sichuan. После этого данный технологический пакет установили в марте 2006 г. на пятиручьевой блюмовой МНЛЗ № 1 китайского завода Wuhan Iron & Steel Co. Ltd. (WISCO), поставленной ранее фирмой Siemens VAI. Образцы блюмов, разлитые с использованием системы DynaGap SoftReduction, продемонстрировали практически полное отсутствие следов сегрегации и лишь небольшую центральную пористость. Оптимальное обжатие в клети с протяжными роликами, рассчитанное встроенной динамической

технологической моделью, предотвращает образование внутренних трещин. Таким образом, было подтверждено, что применение технологии DynaGap SoftReduction даже при разливке маленьких блюмов квадратного сечения при сравнительно высоких скоростях ведет к значительному улучшению внутреннего строения продукции.

В 2009 г. в процессе модернизации машины непрерывного литья заготовок № 3 на Белорусском металлургическом заводе была реализована система динамического мягкого обжатия блюмов сечением 250×300 и 300×400 мм. Спроектированный компанией «Danieli» (Италия) правильно-тянущий механизм состоит из девяти модулей, на каждом из которых предусмотрено обжатие роликами. Для расчета длины жидкого конуса и соотношения доли твердой и жидкой фаз слитка разработана оперативная математическая модель затвердевания, с помощью которой система автоматизации передает соответствующий сигнал на гидроцилиндры трайб-аппаратов. Система DDSR, спроектированная итальянскими специалистами, подразумевает оптимальный диапазон для начала и окончания зоны мягкого обжатия для всего марочного сортамента сталей в следующей зависимости от доли твердой фазы в слитке: $0{,}8 > F_s > 0{,}2$. Первые положительные результаты внедрения новой системы динамического мягкого обжатия уже оценены на ОАО «БМЗ» в 2010 г.

Литература

1. Hatton M., Nagata S., Ihaba A. et al. New technology to tackle centering segregation // Steel Thechnology intern. 1990. № 91. P. 189–193.

2. Эренберг Х., Паршат Л., Плешиутшнигг Ф. и др. Литье и обжатие с разливки тонких слябов на заводе фирмы Маннесманнререн-Верке // МРТ. 1990. С. 46–59.

3. Ламухин А. М., Зиборов А. В., Имгрунт В. Я. и др. Результаты испытания системы мягкого обжатия непрерывнолитого сляба с жидкой сердцевиной // Сталь. 2002. № 3. С. 57–59.

4. Jauhola M., Haapala M. The latest Results of dynamic Soft Reduction in Slab CC-Machine // Steelmaking Conf. Proceedings, 2000.

5. Sivesson P., Wass S., Rogberg B. Improvement of Center Porosity in Continuously Casting Blooms by Mechanical Soft Reduction at the End of the Solidification Process // 3rd European conf. on continuos casting. Madrid, Spain, October 20–23, 1998. Madrid, 1998. P. 213–223.

6. Kasuma O., Masanao K., Toshio N. Development of alumina – graphite immersion nozzle for continuous casting // Iron and Steel Engineer. 1982. Vol. 59, № 12. P. 47–52.

7. Chapeller P., Jacquot J.- L., Sosin L. Twin-bloom casting of high carbon steels at SOLLAC: 4 years of continuous improvement // 3rd European conf. on continuous casting. Madrid, Spain, October 20–23, 1998. Madrid, 1998. № 1. P. 283–293.

8. Либерман А. Л., Генкин В. Я. Непрерывная разливка стали – современное состояние и перспективы развития // Электрометаллургия. 2002. № 1. С. 23–32.