

От редакции

Кафедра металлургии черных металлов МГТУ им. Г.И. Носова с 75-летней историей известна в России и за рубежом. Основателем научной школы по доменному производству был проф., д-р техн. наук М.А. Стефанович, по сталеплавному производству – проф., д-р техн. наук А.М. Бигеев. В настоящее время активные научные изыскания ведутся зав. кафедрой, проф., д-р техн. наук В.А. Бигеевым, проф., д-р техн. наук А.М. Столяровым, проф., д-р техн. наук С.К. Сибазатуллиным, проф., канд. техн. наук В.Н. Селивановым, доцентами, канд. техн. наук Ю.А. Колесниковым, Б.А. Будановым, В.Г. Дружковым и другими сотрудниками кафедры. Для решения актуальных научных и производственных проблем тесные связи поддерживаются с металлургическими предприятиями: ОАО «ММК», ОАО «НТМК», ОАО «Мечел», ОАО «Ижсталь», ОАО «Уральская сталь», ЗАО «ММК-Metalurji» (Турция), с учеными кафедры металлургии и материалообработки Индийского института технологии (г. Мумбай).

УДК 621.746.047:621.746.628:669.412

О СПОСОБАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ СТАЛЬНОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Столяров А.М.¹, Сомнат Басу², Потапова М.В.¹, Дидович С.В.¹

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Индийский институт технологии, г. Мумбай

Аннотация. Ученые кафедры металлургии черных металлов института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и кафедры металлургии и материалообработки Индийского института технологии (г. Мумбай) объединились в творческий коллектив. В рамках российско-индийского сотрудничества этот коллектив исследует возможность воздействия на процесс формирования стальной непрерывнолитой заготовки с целью получения измельченной структуры металла. В статье рассмотрены основные способы внешних воздействий на кристаллизующийся металл непрерывнолитой заготовки с целью улучшения его качества.

Ключевые слова: непрерывнолитая заготовка, качество, внешние воздействия, структура.

Введение

Ученые кафедры металлургии черных металлов института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и кафедры металлургии и материалообработки Индийского института технологии (г. Мумбай) объединились в творческий коллектив. В рамках российско-индийского сотрудничества этот коллектив исследует возможность воздействия на процесс формирования стальной непрерывнолитой заготовки с целью получения измельченной структуры металла.

Основные способы внешнего воздействия на кристаллизующийся металл

В статье рассматриваются такие способы внешнего воздействия на кристаллизующийся металл, которые не приводят к изменению размеров поперечного сечения отливаемой заготовки, что характерно, например, для обжаривания заготовки с жидкой сердцевинной в процессе разливки [1].

Рассматриваемые способы внешних воздействий условно делятся на три большие группы: статические, динамические и смешанные [2, 3].

К статическим способам относятся следующие:

- введение через мениск металла в кристаллизатор экзогенных центров кристаллизации (модификаторов, инокуляторов);

- регулирование интенсивности охлаждения зеркала металла в кристаллизаторе (принудительное, электроно-лучевой обогрев, электрошлаковый обогрев, плазменный обогрев, вакуумно-дуговая подпитка и др.);
- введение через мениск металла в кристаллизатор водоохлаждаемых холодильников без динамического воздействия.

Динамические способы воздействия:

- механическое перемешивание металла при помощи специальных мешалок или продувки аргоном в кристаллизаторе, промежуточном и сталеразливочном ковшах;

- электромагнитное перемешивание (индукционное, кондукционное) металла в кристаллизаторе и в зоне вторичного охлаждения;

- генерирование упругих колебаний вибрационными и виброимпульсными преобразователями в кристаллизаторе и в зоне вторичного охлаждения.

Смешанные способы представляют собой:

- введение через мениск металла в кристаллизатор расходуемых холодильников (ленты, проволоки, гранул и др.);

- введение через мениск металла в кристаллизатор водоохлаждаемых холодильников с динамическим воздействием;

- продувка через мениск металла в кристаллизаторе аргоном с порошками;

- газоимпульсная обработка, заключающаяся в

периодическом вакуумном всасывании металла и последующем его выталкивании через огнеупорный металлопровод в полость кристаллизатора.

Из рассмотренных статических способов внешнего воздействия перспективным является введение через мениск металла в кристаллизатор модификаторов, инокуляторов. Модифицирование [4] представляет собой процесс искусственного изменения структуры (измельчения, диспергирования) под воздействием небольших количеств специально вводимых добавок. При этом изменяются вид, форма и характер распределения неметаллических включений, что в целом приводит к улучшению механических и технологических свойств стали. Модификаторы первого рода являются инокуляторами – это тугоплавкие примеси и их соединения, способные стать зародышевой фазой, превратиться в центры кристаллизации. К элементам-инокуляторам относятся ванадий, ниобий, титан, бор. При затвердевании стали образуются карбонитриды этих элементов, выступающие в качестве центров кристаллизации металла. В сталь достаточно ввести 0,03-0,12% ванадия или 0,02-0,05% ниобия для повышения прочности, хладостойкости, снижения абразивного износа в результате измельчения зерна и упрочнения дисперсными карбонитридами.

Модификаторы второго рода – ингибиторы представлены поверхностно-активными примесями, ограничивающими рост кристаллов (зерен). Они имеют ограниченную растворимость в жидкой фазе. К таким примесям относятся щелочноземельные элементы – кальций, магний, барий.

Редкоземельные металлы, например церий и лантан, являются переходными элементами по влиянию на структуру металла, обладающими свойствами как инокуляторов, так и ингибиторов.

Лучшие результаты по усвоению жидким металлом и влиянию на служебные свойства стали получают при совместном применении хотя бы по одному элементу из каждой группы модификаторов, например ванадия или ниобия совместно с кальцием – комбинированных модификаторов. Такие модификаторы могут также включать в себя модификаторы первого рода – инокуляторы и переходные модификаторы (редкоземельные металлы). Комплексные модификаторы могут состоять из нескольких модификаторов первого рода.

Введение модификаторов в процессе разливки металла в промежуточный ковш или в кристаллизатор позволяет существенно снизить угар легкоокисляющихся элементов и повысить эффективность обработки металла. Для введения модификаторов в виде мелких кусковых материалов рекомендуется широко использовать бункера с дозирующими устройствами, в виде наполнителей порошковой проволоки – трайб-аппараты. Следует отметить, что введение присадок на самой поздней стадии – в кристаллизатор требует соблюдения высокой стандартизации процесса разливки металла.

Из динамических способов внешних воздействий наиболее популярным является электромагнитное перемешивание металла [5]. Внутри отливаемой заготовки в лунке жидкого металла создаются циркуляци-

онные потоки, которые усиливают теплоперенос и снимают перегрев расплава над температурой ликвидуса, обламывают вершины столбчатых кристаллов, создавая дополнительные центры кристаллизации. Это ведет к уменьшению ширины столбчатых кристаллов и увеличению ширины зоны равноосных кристаллов, что повышает пластичность металла, снижает осевую ликвацию и опасность образования трещин.

Кроме улучшения внутреннего строения заготовки возможно решение и другой задачи – повышение качества поверхности заготовки и подповерхностной зоны вследствие образования равномерной по всему периметру толщины корочки затвердевшего металла, снижения количества неметаллических включений в металле и вероятности образования газовых пузырей. Для этого применяется электромагнитное торможение, когда гидродинамические потоки, создаваемые электромагнитными силами, уменьшают турбулентность и скорость потоков расплава из отверстий погружного стакана.

Различают индуктивный и кондуктивный способы электромагнитного перемешивания. По первому способу с помощью индукционных катушек создается переменное магнитное поле, наводящее в расплаве внутри заготовки вихревые токи Фуко. В результате взаимодействия токов с магнитным полем возникают электромагнитные силы, вызывающие вынужденную циркуляцию расплава. По второму способу при помощи электромагнитов создается постоянное магнитное поле, а через заготовку пропускается постоянный электрический ток. При этом возникают результирующие силы, перпендикулярные направлению движения тока и магнитным силовым линиям.

Индуктивный способ имеет низкий коэффициент полезного действия, поэтому необходимо применять индукторы большой мощности и габаритов, что вызывает сложности с их размещением. При кондуктивном способе через ролики должен подводиться ток большой величины, между роликом и заготовкой может образоваться дуга, вызывающая оплавление металла и нарушение работы устройства ЭМП. Чаще всего применяются индуктивные электромагнитные устройства на сортовых МНЛЗ.

В ЭСПЦ ОАО «ММК» кристаллизаторы сортовой пятиручьевой МНЛЗ радиального типа оборудованы устройствами электромагнитного перемешивания металла фирмы «ABB Automation Systems». Это устройство представляет собой укороченную катушку, расположенную с внешней стороны нижней части гильзы кристаллизатора. Для изучения влияния параметров ЭМП на процесс формирования кристаллических зон заготовки и развитие химической неоднородности металла были проведены исследования при непрерывной разливке стали с содержанием углерода 0,65-0,90% [6]. Разливка стали осуществлялась открытой струей на заготовки сечением 150×150 мм со скоростью вытягивания 2,3-2,5 м/мин. В ходе исследований варьировались частота тока в диапазоне 3,0-5,5 Гц при постоянной величине силы тока 400 А, а также сила питающего устройства тока в интервале 300-500 А при постоянной частоте тока 3,5 Гц. В результате было установлено, что ЭМП металла позволяет уменьшить ширину зоны столбчатых кристаллов

с анизотропными свойствами металла и увеличить площадь зоны крупных равноосных кристаллов с изотропными свойствами. Наиболее сильное влияние на размеры зоны крупных равноосных кристаллов оказывает сила тока, питающего устройство для ЭМП, по сравнению с частотой тока (рис. 1).

Однако наряду с положительным влиянием ЭМП на качество заготовки было отмечено увеличение количества прорывов корочки затвердевшего металла заготовки под кристаллизатором. Толщина оболочки аварийного «чулка» была на 1-3 мм меньше в случае использования ЭМП металла вследствие чрезмерно интенсивной циркуляции расплава, вызывающей размывание затвердевшей корочки.

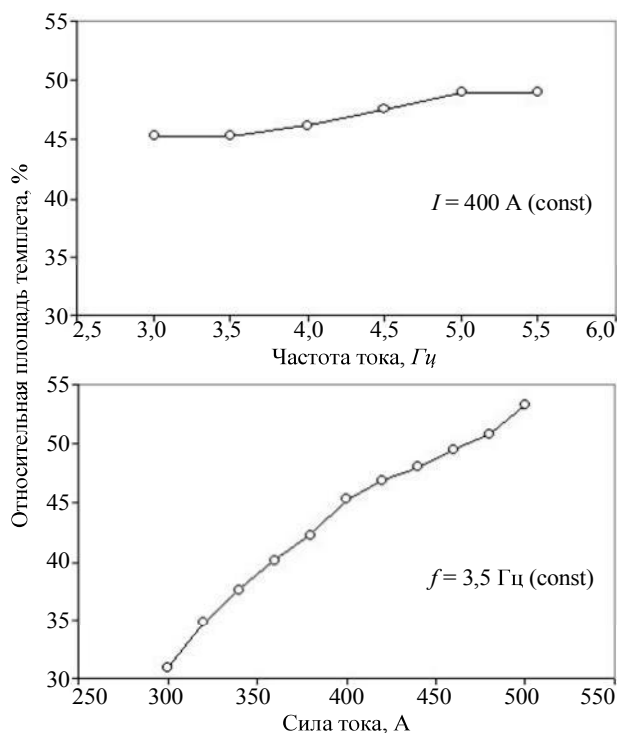


Рис. 1. Зависимость относительной площади темплетта сортовой заготовки, занимаемой крупными равноосными кристаллами, от частоты тока (вверху) и силы тока (внизу) в устройстве ЭМП

Для дальнейших исследований был рекомендован режим перемешивания с пониженными значениями частоты и силы тока: 3,5 Гц и 350 А. Применение такого режима позволило полностью исключить прорывы металла по трещинам и уменьшить общее количество прорывов корочки заготовки под кристаллизатором на 86% (отн.). При изучении качества макроструктуры стали марок 70 и 85, разливаемой закрытой струей, установлено (рис. 2), что при использовании разработанного режима ЭМП степень развития дефекта «центральная пористость» заготовки снижается примерно вдвое – в среднем с 1,3 до 0,7 балла.

Широко опробован способ смешанного воздействия на кристаллизующийся металл, заключающийся во введении через мениск металла в кристаллизаторе расходуемых микрохолодильников в виде дисперсных инокуляторов или макрохолодильников в виде ленты.

Характер взаимодействия макрохолодильников с расплавом определяется температурой холодильника, величиной перегрева стали над температурой ликвидуса, соотношением размеров холодильника и кристаллизатора.

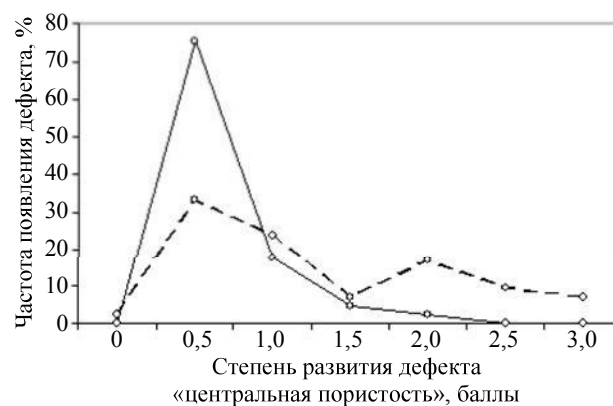


Рис. 2. Результаты оценки дефекта «центральная пористость» в сортовой заготовке из стали марок 70 и 85 при разливке закрытой струей с ЭМП (сплошная линия) и без ЭМП (пунктирная линия)

Для механизированного ввода ленты в жидкую лунку заготовки используется установка, схема которой представлена на рис. 3.

При опытном опробовании применялась лента из стали марок 45 и Ст.5пс толщиной 1,6 мм и шириной 380 мм в рулоне массой 2,3 т. Установлена зависимость скорости ввода ленты при условии ее гарантированного расплавления от скорости вытягивания из кристаллизатора слэбов сечением (250-300)×(1550-1850) мм и от величины перегрева металла в промежуточном ковше над температурой ликвидуса [7].

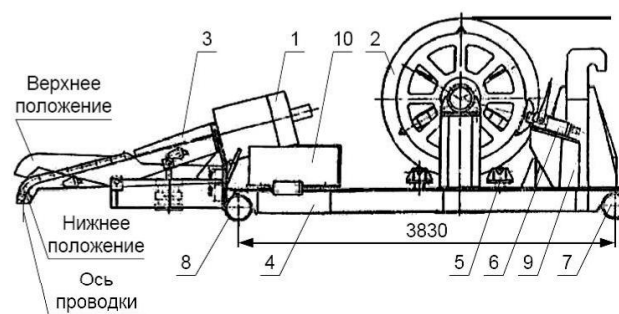


Рис. 3. Схема установки для ввода стальной ленты в кристаллизатор на металлургическом предприятии «Азовсталь» [1, с. 116]: 1 – тянущее-правильное устройство; 2 – кассета; 3 – направляющая; 4 – рама; 5 – опорные катки; 6 – устройство для торможения; 7, 8 – колеса установки; 9 – маршевый двигатель; 10 – двигатель тянущего-правильного устройства

Ввод ленты в расплав позволяет быстро снять перегрев металла, ускорить процесс затвердевания, в результате чего осевая химическая неоднородность слэба уменьшается с 1,0-2,0 до 0-0,5 балла, а степень развития внутренних трещин – на 0,5-1,0 балла.

Заключение

Выполненный обзор способов внешнего воздействия на кристаллизующийся металл непрерывнолитой заготовки будет способствовать правильному выбору направления исследования для коллектива российско-индийских ученых-металлургов.

Список литературы

1. Мошкун В.В., Столяров А.М., Казаков А.С. Снижение осевой химической неоднородности трубной стали в результате мягкого обжата непрерывнолитого сляба // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №2(38). С. 24-25.

2. Паршин В.М., Буланов Л.В. Непрерывная разливка стали. Липецк: ОАО «НЛМК», 2011. 221 с.
3. Скворцов А.А., Акименко А.Д., Ульянов В.А. Влияние внешних воздействий на процесс формирования слитков и заготовок. М.: Металлургия, 1991. 216 с.
4. Голубцов В.А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи. Челябинск, 2006. 403 с.
5. Столяров А.М., Селиванов В.Н. Непрерывная разливка стали. Ч. 1. Конструкция и оборудование МНЛЗ: учеб. пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. 154 с.
6. Столяров А.М., Великий А.Б., Юречко Д.В. Повышение эффективности разливки стали на высокопроизводительных сортовых МНЛЗ: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2009. 126 с.
Исаев О.Б. Создание комплексной технологии улучшения внутренней структуры непрерывнолитого сляба из низколегированных сталей: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.02. М., 2010. 39 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ABOUT THE METHODS OF IMPACT ON THE STEEL CONTINUOUS CASTING BILLET FORMING

Stolyarov Alexander Mihajlovich – D.Sc. (Eng), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)29-84-49. E-mail: mcm@magtu.ru.

Somnath Basu – Teaching Assistant, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai. Phone: +912225767613. E-mail: somnathbasu@iitb.ac.in.

Potapova Marina Vasilyevna – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)29-84-49. E-mail: mcm@magtu.ru.

Didovich Sergey Vladimirovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)29-84-49. E-mail: mcm@magtu.ru.

Abstract. The scientists of the Ferrous Metallurgy Department, Institute of Metallurgy, Mechanical Engineering and Materials Processing, Nosov MSTU and colleagues from Department of Metallurgical Engineering and Materials Science, Indian Institute of Technology Mumbai have organized a working group. This group within the Russian-Indian collaboration investigates the possibility of the impact on the process of steel continuous casting billet in order to produce a fine metal structure. The basic methods of external influences on solidified metal in billet in order to improve its quality are described in the article.

Keywords: billets, quality, external influences.

References

1. Moshkunov V.V., Stolyarov A.M., Kazakov A.S. Decrease of axial chemical heterogeneity in tube steels during soft-reduction of continuous casting slabs. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 2 (38), pp. 24-25.
2. Parshin V.M., Bulanov L.V. *Nepreryvnaya razlivka stali* [Continuous cast

ing of steel]. Lipetsk: «NLMK» OJSC, 2011, 221 p.

3. Skvortsov A.A., Akimenko A.D., Ulyanov V.A. *Vliyaniye vneshnih vozddeystviy na protsess formirovaniya slitkov i zagotovok* [Influence of external impacts on the forming of ingots and billets]. Moscow: Metallurgy, 1991, 216 p.
4. Golubtsov V.A. *Teoriya i praktika vvedeniya dobavok v stal vne pechi* [Theory and practice of adding the additives in the steel outside the furnace]. Chelyabinsk, 2006, 403 p.
5. Stolyarov A.M., Selivanov V.N. *Nepreryvnaya razlivka stali. Ch. 1. Konstruktsiya i oborudovaniye MNLZ: ucheb. posobie* [Continuous casting of steel. Part One. Construction and equipment CCM: Textbook]. Magnitogorsk, 2007, 154 p.
6. Stolyarov A.M., Velikii A.B., Yurechko D.V. *Povyisheniye effektivnosti razlivki stali na vysokoproizvoditelnykh sortovykh MNLZ: monografiya* [Improving the efficiency of casting on high-grade casters: monograph]. Magnitogorsk, 2009, 126 p.
7. Isaev O.B. *Sozdaniye kompleksnoy tekhnologii uluchsheniya vnutrennego stroeniya nepreryvnolitogo slyaba iz nizkolegirovannykh staley* [Creating of complex technology for improvement of continuous cast slabs internal structure in low-alloy steels]. Extended abstract of Ph.D. dissertation, Moscow, 2010, 39 p.