

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 621.74

Вдовин К.Н., Шахов И.И.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ МЕТАЛЛА ДЛЯ МАШИНЫ ПОЛУНЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Аннотация. В работе рассмотрены отличия машин непрерывного литья заготовок от машин полунепрерывного литья заготовок, выявлено, что это близкие процессы. Показано, что для улучшения структуры металла заготовки необходимо интенсивное перемешивание. Изложены требования к обеспечению рациональной скорости движения металла. Разработана двухуровневая система ПНЭМП (в кристаллизаторе и зоне окончания затвердевания) для машины полунепрерывного литья заготовок, производящей круглые заготовки диаметрами: 250мм и до 360. Подробно описано оборудование для создания статоров ЭМП. Приведены фотографии созданных конструкций ЭМП и рассмотрено устройство их. Представлена схема применения ЭМП при разливе на МПНЛЗ заготовок диаметрами: 250мм и 360 с применением в кристаллизаторе и зоне окончания затвердевания. Проведен анализ макроструктур разлитого металла и показано, что в нем снижены: балл по центральной пористости и осевой ликвации; балл по осевым трещинам. Полностью удалены краевые точечные загрязнения.

Ключевые слова: электромагнитное перемешивание, статор, полунепрерывное литье, заготовка.

Введение

Сведений о непрерывной разливке стали и машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), которые преваляют уже много лет в черной металлургии, более чем достаточно [1-3], а вот полунепрерывное литье и относящиеся к нему разливочные машины можно рассматривать как этап развития непрерывного литья, получивший самостоятельное значение [4].

Степень непрерывности машин полунепрерывного литья можно оценивать отношением времени непрерывной разливки к календарному времени, и зависит она от емкости сталеплавильных агрегатов, обслуживающих машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), от размера сечения заготовок, скорости вытягивания и других факторов, отражающих взаимосвязь технологического режима непрерывного литья со сталеплавильным и прокатным производством. Больших отличий в обоих типах машин нет, есть лишь принципиальное различие в длительности (периодичности) получения продукции [4].

Область работы машин полунепрерывного литья заготовок (МПНЛЗ) – металлургические цехи с мелкосерийным производством и сталеплавильными агрегатами малой и средней емкости. Особое место в номенклатуре МПНЛЗ занимают отливки: электроды ЭШП и ВДП, заготовки дляковки и проката колес и многие другие. Эти машины более приспособлены, чем МНЛЗ, для отливки заготовок из высоколегированных сталей (например, 08X18N10T, 30XГСН2А и др.). Диаметры

отливаемых заготовок колеблются от 120 до 670 мм.

При разливке заготовок большого сечения особенно из марок стали ответственного назначения с высокими требованиями по макроструктуре возникают проблемы получения качественной заготовки, поэтому применяют не просто электромагнитное перемешивание (ЭМП) [5], а двухуровневое: в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения (зоне окончания затвердевания).

По мнению Л. Бейтельмана и многих других исследователей, для улучшения структуры заготовки необходимо интенсивное её перемешивание, но в зоне мениска требования к характеру перемешивания должны быть другие [6-8]. Величина рациональной скорости движения металла должна удовлетворять нескольким условиям:

- быть выше некоей минимальной величины, при которой шлак и неметаллические включения начинают центрифугироваться в осевую зону мениска;

- не превышать определённую максимальную величину, в противном случае, завихрение поверхности мениска может быть настолько глубоким, что невозможно будет захватывать шлак с поверхности мениска;

- избегать появления негативных металлургических эффектов в виде отрицательной ликвации и пор вдоль фронта кристаллизации;

- избегать чрезмерной интенсивности перемешивания, которая может привести к образованию поверхностных дефектов, вызванных неустойчивостью мениска (плены, заливины, ужимины и т. п.);

- уменьшать скорость движения расплава в районе мениска при разливке «под уровень», так как защитная шлаковая смесь может быть затянута в металл, что приводит к росту балла по точечной неоднородности и снижению качества макроструктуры заготовок.

На сегодняшний день действующие в РФ промышленные МНЛЗ, предназначенные для производства высококачественной продукции, в основном, оснащены системами электромагнитного перемешивания, поставляемыми зарубежными фирмами *ABB, Danieli Rotelec, SMS-Elotherm, Ergolines, Primetals* и др. Эти системы в силу конструктивных особенностей (расположение за пределами кристаллизатора и использования для их охлаждения «котельной» воды) отличает низкая надежность и высокое энергопотребление. Об этом свидетельствуют результаты их эксплуатации на МНЛЗ Магнитогорского металлургического комбината, Таганрогского металлургического завода, «Северстали», Волжского трубного завода, «Ижстали», Оскольского электрометаллургического комбината и других заводов. Большинство статоров ЭМП иностранного производства выполнены в неразборных корпусах. В этом случае дорогостоящий ремонт статоров должен производиться только на зарубежных заводах - изготовителях [5, 8 -10].

Методы исследования

Целью работы является разработка конструкции статоров ЭМП, созданных с целью импортозамещения и улучшения качества литой заготовки.

В ряде случаев при разливке заготовок большого сечения особенно из марок стали ответственного назначения с высокими требованиями по макроструктуре применяются системы ЭМП в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения (зоне окончания затвердевания). Конструкция статоров ЭМП для вторичного охлаждения производства иностранных фирм схожа с устройством систем электромагнитного перемешивания в кристаллизаторе наружного исполнения. Корпус изготавливают из немагнитной стали аустенитного класса, при этом требуются два контура охлаждения – промышленной водой для охлаждения корпуса и водой «котлового» типа для охлаждения полюсов статора.

С целью устранения выявленных недостатков зарубежных ЭМП для АО «Металлургический завод «Электросталь» была разработана двухуровневая система ЭМП (в кристаллизаторе и зоне окончания затвердевания) для машины полунепрерывного литья заготовок, производящей круглые заготовки диаметрами: 250мм и до 360. Эта работа была выполнена совместно с ЗАО «ЭМТ» и ЗАО НПП «МАШПРОМ» [11 12].

Оборудование для электромагнитного перемешивания разделено на две группы:

- статоры ЭМП, шкафы подключения промежуточные, термостойкие кабели;
- оборудование системы питания, включающее по два преобразователя частоты на ручей для ЭМП в кристаллизаторе (ЭМП-К) и для ЭМП в зоне окончания затвердевания (ЭМК-З), силовые кабели.

Статоры для этой системы представляют собой специальные электрические машины переменного тока, пониженной частоты, водопогружного типа, встраиваемые в корпуса кристаллизаторов, изготовленные из ферромагнитной стали и в специальные корпуса, изготовленные из аустенитной нержавеющей стали, устанавливаемые в зоне окончания затвердевания. Охлаждение статоров ЭМП-К и ЭМП-З осуществляют водой кристаллизатора.

Статоры ЭМП-К и ЭМП-З (рис. 1) имеют шихтованное ядро 1 цилиндрической формы, к внутренней поверхности которого, с помощью болтов 3, крепят электромагнитные полюсы с обмотками 2. Статор имеет шесть опорных стоек 4, изолированных от ядра, в которые могут быть ввернуты рым-болты 5 для монтажа статора в корпус кристаллизатора или специальный корпус для установки в ЗОЗ. Количество электромагнитных полюсов для питания трехфазным током равно шести. Схема соединения обмоток электромагнитных полюсов показана на рис. 2. В этой схеме каждая пара противоположных электромагнит-полюсов (1-4, 2-5, 3-6) образует фазную обмотку. Три фазных обмотки соединяют по схеме «звезда» и образуют обмотку статора ЭМП, создающую вращающееся электромагнитное поле во внутренней области статора. Охлаждение обмотки статора выполняют водой, протекающей под давлением через корпуса, в которые помещены статоры. Статоры полностью погружены в воду, поэтому изоляция обмоточного провода полюсов, а также соединения обмоток электромагнитных полюсов сделаны водонепроницаемыми. Магнитопровод статора имеет защиту от коррозии.

Статоры ЭМП-К для заготовок диаметрами: 250 и 360мм устанавливают в корпус кристаллизатора. Статоры ЭМП-З размещают в движущиеся каретки ЗВО (рис. 3). Перемещение статоров ЭМП-З позволяет осуществлять электромагнитное перемешивание в зоне схождения фронтов кристаллизации (слежение за «лункой»), что обеспечивает разрушение дендритов (столбчатых кристаллов) и заполнение порциями жидкого металла образующихся усадочных пустот в зоне схождения фронтов кристаллизации в районе «лунки».

Питание статоров ЭМП осуществляют от трехфазного преобразователя частоты, имеющего

на выходе регулируемые синусоидальный ток, частоту в пределах 1-15 Гц, напряжение до 380 В. Управление статорами ЭМП осуществляют с пульта управления МПНЛЗ.

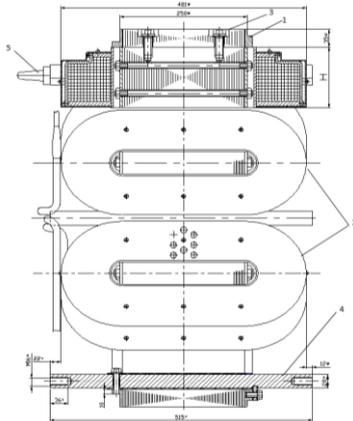


Рис. 1 Статор ЭМП (ЭМП-К, ЭМП-3). Продольный разрез (обозначения в тесте)

Разливку на МПНЛЗ в заготовки диаметрами: 250 и 360мм с применением ЭМП в кристаллизаторе и зоне окончания затвердевания производили по схеме:

- после начала вытягивания слитка включают ЭМП кристаллизатора;
- после выхода слитка из ЗВО каретку вытягивания заготовки останавливают и включают перемешивание жидкого металла в зоне окончания затвердевания вплоть до окончания разливки;
- после остановки слитка каретку ЭМП перемещают под кристаллизатор, перемешивая металл вплоть до его окончательной кристаллизации.

Анализ макроструктуры круглых заготовок сечением диаметром 250 мм и проката из них показал (см. таблицу), что применение ЭМП в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения

В целях долговременной работы электрической изоляции обмоток температура воды, используемой для охлаждения, не должна превышать 35 °С.

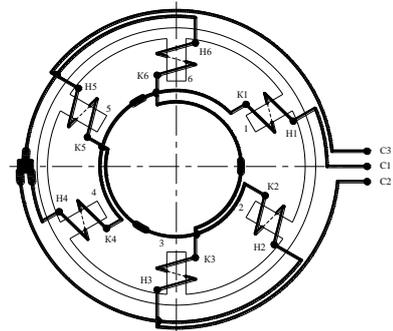


Рис. 2 Схема соединений обмоток полюсов статоров ЭМП-К, ЭМП-3

высокоэффективно и экономично, так как обеспечивает достижение положительных металлургических результатов при минимальных затратах (рис. 4-5).



Рис. 3 – Статор ЭМП-3 для литья заготовок сечением диаметрами: от 250 до 360мм

Таблица

Оценка макроструктуры литой заготовки диаметром 250 мм с ЭМП и контрольных по ОСТ 14-1-235-91

Марка стали	Физическое воздействие	Вид дефекта, балл			
		ЦП	ОЛ	ЛПТ (осевые)	КТЗ
08X18H10T	Без ЭМП	1,5	2,0	2,0	3
	С ЭМП	0,5-1,0	0,5	0	0
12X13	Без ЭМП	1,0	1,0	2,0	0
	С ЭМП	0	0	0	0

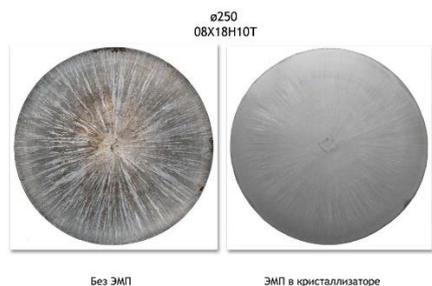


Рис. 4 Макроструктура поперечных темплетов круглых непрерывно-литых заготовок из нержавеющей марок стали, отлитых с ЭМП в кристаллизаторе ($I_f=150A$, $f=2$ Гц) и контрольных без ЭМП

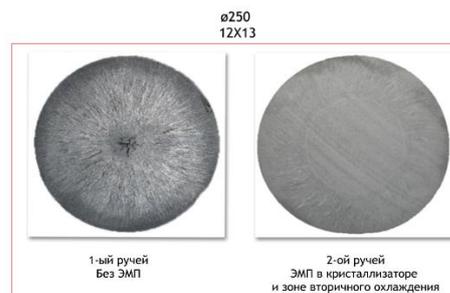


Рис. 5 Макроструктура поперечных темплетов круглых НЛЗ, отлитых с ЭМП в кристаллизаторе и ЗВО (ЭМП-К: $I_f=50A$, $f=3$ Гц; ЭМП-3: $I_f=175A$, $f=8$ Гц) и контрольных без ЭМП с развитой центральной пористостью

Выводы

Для промышленной блюмовой МПНЛЗ, производящей круглые заготовки из высоколегированных марок сталей, разработаны российские конструкции и освоены в промышленных масштабах конструктивные решения и режимы ЭМП в кристаллизаторе и зоне окончания затвердевания, позволяющие повысить качество непрерывно-литых заготовок:

- снижен балл по центральной пористости и осевой ликвации с 1,5 – 2,5 до 0,5-1,0;
- снижен балл по осевым трещинам – с 1,5-2,0 до 0,5-1,0;
- удалены полностью краевые точечные загрязнения (КТЗ) при применении ЭМП (без ЭМП балл по КТЗ был 2 – 3).

Список литературы

1. Непрерывная разливка стали: монография / К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, И.М. Ячиков //Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, – 2012. 512 с.
2. Непрерывная разливка стали / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, Е.В. Штепан. Донецк: ДонНТУ, 2011. 482 с.
3. Машины и агрегаты металлургического производства / под общ. ред. В.М. Синицкого, Н.В. Пасечника. М.: Машиностроение, 2000. 912 с.
4. Марченко И.К. Полунепрерывное литье стали. М.: Металлургия, 1986. 244 с.
5. Системы электромагнитного перемешивания для машин непрерывного литья заготовок / А.С. Смоляков, С.И. Шахов, Ю.М. Рогачиков // Тяжелое машиностроение. 2017. № 5. С. 7-11.

6. Бейтельман Л. Улучшение качества сортовых заготовок путем электромагнитного перемешивания стали в кристаллизаторе // Сталь. 1997. № 4. С. 21–24.

7. Furumai K., Matsui Y., Murai T., Y. Miki Evaluation of Defect Distribution in Continuously-Cast Slabs by Using Ultrasonic Defect Detection System and Effect of Electromagnetic Brake on Decreasing Unbalanced Flow in Mold // ISIJ Int. 2015. Vol. 55. No. 10. P. 2135–2141.

8. Кунстрайх С., Дауби П.Х. Современное состояние и новые направления развития электромагнитной обработки жидкой стали // Черные металлы. 2005, август. С. 18-25.

9. Cabai G., Cabai F. Belina M. STS bloom caster for special steels // Millenium Steel. 2015. P. 79-85.

10. Xu C. J., Zhang X. J., LI J., Wang Z. Y., Zhang L. W. Analysis of the effects of an electromagnetic brake (EMBR) on flow behaviors in the large slab continuous casting mold // Metalurgija. 2016. Vol. 55. No 3. P. 317-320.

11. Новое высокоэффективное оборудование для электромагнитного перемешивания жидкого металла при непрерывном литье круглых заготовок из спецсплавов и легированных марок стали Шахов С.И., Смоляков А.С., Грачёв В.Г., Соловьёв А.А.// Литьё и металлургия. 2011. №3 (62). С. 68-71.

12. Певзнер Б.В. Получение слитков большого сечения с улучшенными макроструктурой и поверхностью на УПНРС металлургического завода Электросталь // Новые направления в развитии оборудования непрерывной разливки металлов: материалы международного научно-практического семинара; / ГОУ ВПО УГТУ-УПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Екатеринбург, Россия. 2009. С. 50-55.

Сведения об авторах

Вдовин Константин Николаевич – д - р техн. наук, профессор , профессор кафедры литейных процессов и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Магнитогорск, Россия. E-mail:vdovin@magtu.ru.

Шахов Сергей Иосифович – канд. техн. наук, начальник отдела машин непрерывного литья металлов, АО АХК «ВНИИМЕТМАШ им. акад. А.И. Целикова». Москва, Россия. E-mail: sergshah@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ELECTROMAGNETIC MIXING OF METAL FOR CCM

Vdovin Konstantin Nikolaevich – D.Sc. (Eng.) Professor "Nosov Magnitogorsk State Technical University", Magnitogorsk, Russia. E-mail:vdovin@magtu.ru.

Shakhov Sergey Iosifovich – Ph. D.(Eng.) head of the Department of continuous casting machines, JSC "VNIIMETMASH". Akad. A. I. Tselikov. Moscow, Russia. E-mail: sergshah@gmail.com.

Abstract. *The paper considers the differences of continuous casting machines from semi-continuous casting machines of blanks. It is revealed that these are close processes. It is shown that intensive mixing is necessary to improve the structure of the workpiece metal. The requirements for ensuring the rational speed of the metal movement are stated. Developed a two-tier system PIMP (Cree-smallstore and the area of the end of solidification) for the machine semi-continuous casting, producing a round billet diameter, mm: 250 to 360. The equipment for creating EMM stators is described in detail. Are the pictures created governmental structures to EMM and examined the device. The scheme of application of AMP the casting on continuous casting machine billet diameter, mm: 250 and 360 used in the mold and the area of the end of solidification.. The analysis of macro-structures of the spilled metal is carried out and it is shown that the following points are reduced: Central porosity and axial liquation point; axial cracks point. Completely removed the regional chiseled pollution.*

Keywords: *electromagnetic mixing, stator, semi-continuous casting, billet.*

Ссылка на статью:

Вдовин К.Н., Шахов И.И. Электромагнитное перемешивание металла для машины полунепрерывного литья заготовок // Теория и технология металлургического производства. 2019. №1(28). С. 4-8.

Vdovin K.N., Shahov S.I. Electromagnetic mixing of metal for ccm [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 28, no. 1, pp.4-8.