



УДК 669.

Поступила 19.08.2013

С. И. ШАХОВ, А. С. СМОЛЯКОВ, В. Г. ГРАЧЕВ, А. А. СОЛОВЬЕВ, АХК «ВНИИМЕТМАШ» – ЗАО «ЭМТ»

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВНИИМЕТМАШ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В КРИСТАЛЛИЗАТОРАХ МНЛЗ ПРИ ЛИТЬЕ КРУГЛЫХ И СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК

ВНИИМЕТМАШ длительное время занимается проблемами электромагнитного перемешивания при непрерывной разливке сортовых и круглых заготовок. В основу концепции ВНИИМЕТМАШ положен принцип максимально возможно-го приближения статора ЭМП к жидкой фазе слитка. Являясь разработчиком оборудования МНЛЗ, в том числе и кристаллизаторов, ВНИИМЕТМАШ разработал типовой ряд устройств ЭМП, встроенных в корпус кристаллизатора без существенного изменения его конструкции.

VNIMETMASH has been dealing for a long time with the problems of electromagnetic agitation at continuous pouring of profiled and round billets. The principle of the maximum possible close approach of the EPM stator to liquid phase of ingot is put into basis of the concept of VNIMETMASH. Being the design engineer of the MNLZ equipment including crystallizers, VNIMETMASH has developed a typical number of the EMP devices built in the case of crystallizer without essential change of its construction.

В последнее время неуклонно растет доля стали, разливаемой на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Современные металлургические заводы стремятся не только увеличить производительность своих МНЛЗ, но и повысить качество непрерывнолитых заготовок (НЛЗ) и проката и существенно расширить сортамент разливаемых сталей и сплавов.

Наряду с этим эффективная металлургия и конкурентная среда требуют обеспечения ресурсосбережения и экологической чистоты производства. Поэтому для производства НЛЗ весьма актуальным является поиск новых решений, основанных, в том числе, на использовании экологически чистых видов энергии, способных создать предпосылки для повышения качества металлопродукции и улучшения технико-экономических показателей производственного процесса.

Качество НЛЗ определяется рядом технологических мероприятий, в том числе выбором режимов и параметров литья, используемыми огнеупорами на участке «сталеразливочный ковш – кристаллизатор МНЛЗ», защитой стали от вторичного окисления, оптимальными значениями температурного режима и скоростью разливки, а также конструктивными особенностями металлургического оборудования. Высокие требования к качеству макроструктуры непрерывнолитых заготовок приводят к необходимости тщательной подготовки

жидкой стали к разливке и применения ряда ограничений, например, по температуре и скорости литья, что не только снижает производительность МНЛЗ, а во многих случаях вызывает ухудшение качества НЛЗ и проката.

Кроме того, существует ряд дефектов макроструктуры НЛЗ, связанный с процессом кристаллизации, усадочными и ликвационными процессами, которые не могут быть устранены даже при оптимальных конструктивных особенностях оборудования МНЛЗ и технологических параметрах процесса непрерывной разливки.

Для подавления и предотвращения появления дефектов кристаллизационного, усадочного и ликвационного характера широкое распространение получили физические методы воздействия на кристаллизующийся слиток с помощью специальных технических средств, в том числе перемешивание жидкой фазы непрерывнолитой заготовки посредством наложения различного рода электромагнитных полей. Электромагнитное воздействие на кристаллизующийся слиток представляет собой процесс перемешивания его жидкой фазы посредством электромагнитных сил, которые возникают при взаимодействии магнитного поля с электрическим током. В этом случае исключается необходимость непосредственного контакта с жидким металлом и появляется возможность автоматического управления процессом структурообразования по всей длине жидкой лунки при различных режимах литья

и разнообразном марочном и размерном сортаментах отливаемых заготовок.

Проведенные многочисленные исследования позволили металлургам сделать однозначный вывод о высокой эффективности метода электромагнитного перемешивания (ЭМП) жидкой лунки кристаллизующегося непрерывного слитка. В настоящее время большинство вновь строящихся и реконструируемых МНЛЗ, сортамент которых включает широкий марочный сортамент разливаемых сталей, оснащаются различными типами устройств ЭМП.

Поток информации об исследованиях в данной области не ослабевает. Следует отметить, что публикуемая различными фирмами информация противоречива и имеет во многом конъюнктурный характер. Однако в большинстве работ содержится много общего. Так, ряд авторов отмечают связь металлургического эффекта при электромагнитном перемешивании со скоростью потоков жидкого металла у фронта кристаллизации. При этом величина оптимальной скорости движения металла должна удовлетворять нескольким условиям. С одной стороны, она должна быть выше некой минимальной величины, при которой шлак и неметаллические включения начинают центрифугироваться в осевую зону мениска. С другой стороны, скорость движения не должна превышать определенную максимальную величину, в противном случае завихрение поверхности мениска может быть настолько глубоким, что невозможно будет вылавливать шлак с поверхности мениска, при этом также могут появиться негативные металлургические эффекты в виде отрицательной ликвации и пор вдоль фронта кристаллизации. Для эффективного воздействия электромагнитного перемешивания рекомендуется поддерживать указанную скорость на уровне 0,3–1,0 м/с.

Наибольшее влияние на качество поверхности и макроструктуры ЛЛЗ оказывает ЭМП в кристаллизаторе. Большинство зарубежных фирм, таких, как Rotelec, ABB и др., предлагают преимущественно системы ЭМП с внешним расположением статора. В этом случае статор ЭМП охватывает

снаружи корпус кристаллизатора, выполненный из немагнитной стали аустенитного класса. Это приводит к существенному увеличению расстояния между полюсами магнитной системы и, следовательно, к увеличению габаритов статора, его массы и возрастанию нагрузки на механизм качания, если статор устанавливается на его качающуюся раму. Увеличение расстояния между полюсами, в свою очередь, приводит к снижению величины индукции и соответственно максимальной скорости в расплаве. При внешнем расположении статора требуется отдельный контур охлаждения дистиллированной водой, что значительно увеличивает капитальные и эксплуатационные затраты. Также необходимо отметить, что применение унифицированных систем ЭМП, расположенных вне корпуса кристаллизатора, в ряде случаев, когда меньший формат отливаемых заготовок существенно отличается от большего, нивелирует эффект от ЭМП при разливке заготовок минимального сечения.

ВНИИМЕТМАШ, являясь производителем современного металлургического оборудования, в том числе и кристаллизаторов МНЛЗ, разработал концепцию высокоэффективного ЭМП для кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок. В основу концепции положен принцип максимально возможного приближения полюсов статора к жидкой фазе слитка для достижения высокой скорости перемешивания при низкой потребляемой мощности. Это достигается, главным образом, за счет того, что электромагнитное перемешивающее устройство, создающее вращающее магнитное поле, встроено в корпус кристаллизатора (рис. 1). Отличительной особенностью конструкции разработанных ВНИИМЕТМАШ кристаллизаторов ЭМП является то, что охлаждение катушек полюсов статора осуществляется водой, предназначенной для охлаждения медных рабочих стенок кристаллизатора. В этом случае не требуется отдельного дополнительного контура охлаждения и способов подготовки охлаждающей воды.

При этом статор и корпус кристаллизатора проектируются на максимальный размер заготовки.



Рис. 1. Кристаллизатор электромагнитный перемешиватель для литья заготовок сечением от 250 до 360 мм

При переходе на меньший размер заготовки требуется извлечь гильзу и обечайку одного размера и затем установить и закрепить снизу и сверху фланцами гильзу и обечайку меньшего размера. Данная компоновка системы ЭМП в кристаллиза-

торе позволяет в 2–5 раз уменьшить расход потребляемой электроэнергии при одинаковом воздействии по сравнению с внешним расположением индуктора (рис. 2). Расчеты произведены для НЛЗ сечением 410 мм (слева) и 150 мм (справа).

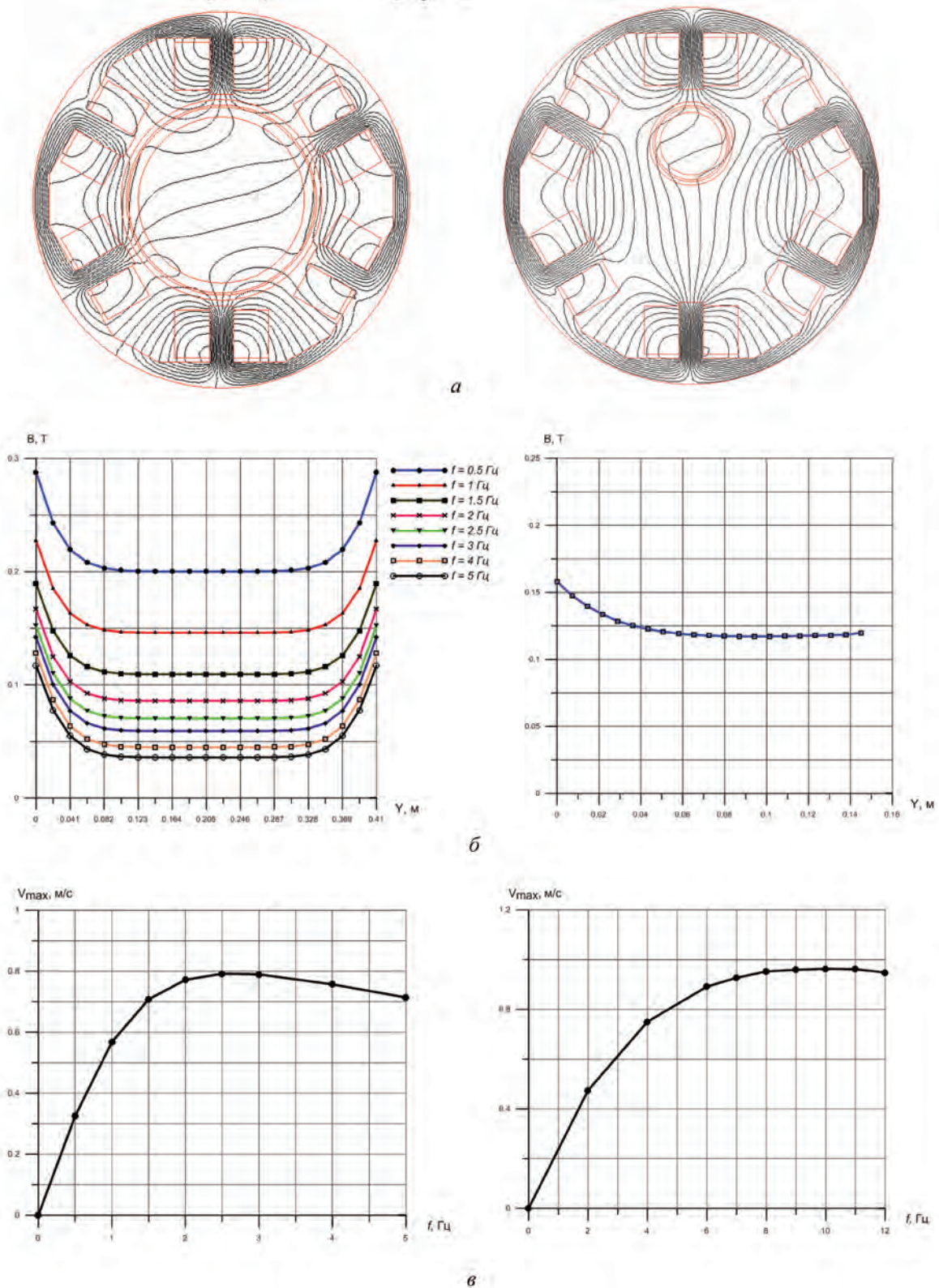


Рис. 2. Распределение силовых линий магнитного поля в статоре ЭМП при токе фазы 200 А (а); распределение амплитудных значений индукции в жидкой стали по оси полюсов при частотах 0,5–5,0 и 10 Гц (б); зависимость максимальной скорости жидкого металла у фронта кристаллизации от частоты при токе $I = 200 A$ (в)

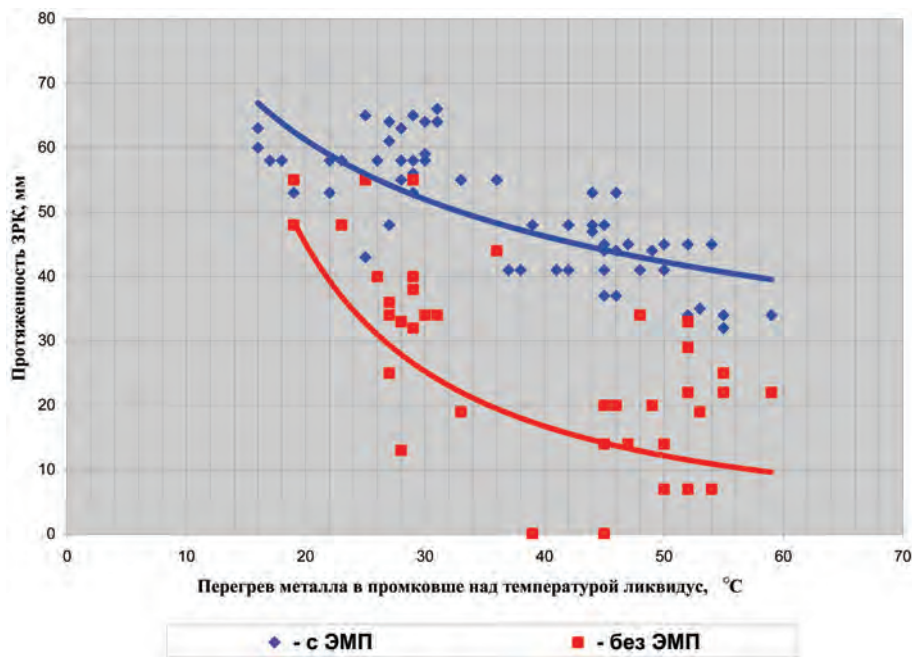


Рис. 3. Зависимость протяженности зоны равноосных кристаллов (ЗПК) от перегрева металла над температурой ликвидус при разливке в заготовки сечением 125×125 мм высокоуглеродистых марок стали. Одна точка соответствует одной плавке

Металлографические исследования качества сортовых заготовок показали, что при использовании кристаллизатора с ЭМП существенно меняется соотношение структурных зон – зона столбчатых кристаллов уменьшается, а зона равноосных – увеличивается. Даже при высоком перегреве над температурой ликвидуса доля равноосных дендритов составляет не менее 40% площади заготовки (рис. 3).

Максимальный балл по центральной пористости в квадратных заготовках небольшого сечения с ЭМП уменьшается с 4,0 до 2,5 балла (рис. 4). Снижается зональная и осевая ликвация в заготовках из высокоуглеродистой стали, что дало возмож-

ность получить прокат, в котором протяженность мартенситных участков не превышает 20 мкм.

Применение электромагнитного перемешивания в сортовых кристаллизаторах позволяет снизить исходный размер непрерывнолитых заготовок и освоить технологию разливки в сортовые заготовки небольшого сечения марок стали с широким интервалом кристаллизации, в том числе высокоуглеродистых.

Анализ макроструктуры круглых заготовок сечением 250 мм и проката из них показал, что применение ЭМП в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения высокоэффективны и экономичны, так как обеспечивают достижение положительных металлургических результатов при минимальных затратах (рис. 5–7). Так, например, снижается балл по центральной пористости и осевой ликвации с 1,5–2,5 до 0,5–1,0; по осевым трещинам – с 1,5–

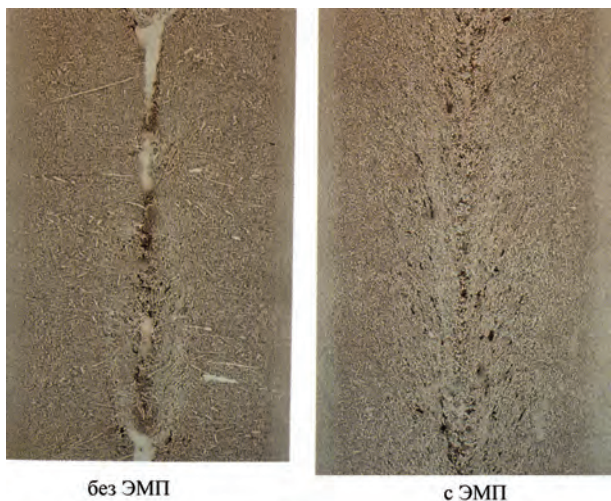


Рис. 4. Макроструктура продольных темплетов сортовых непрерывнолитых заготовок из высокоуглеродистых марок стали, отлитых с ЭМП и контрольных

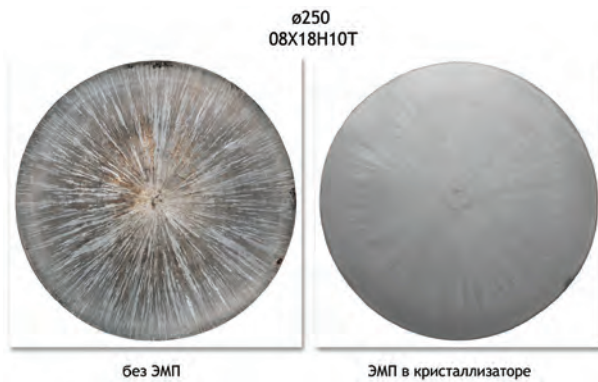


Рис. 5. Макроструктура поперечных темплетов круглых непрерывнолитых заготовок из нержавеющей марок стали, отлитых с ЭМП и контрольных

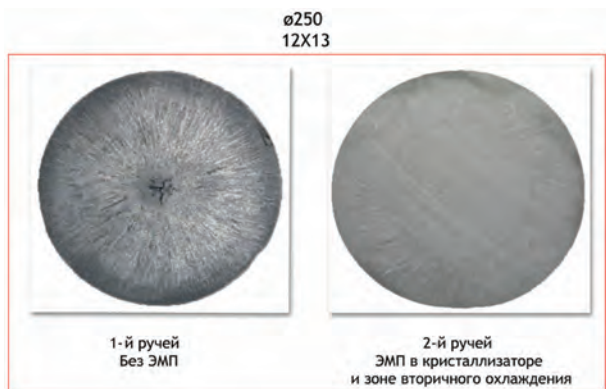


Рис. 6. Макроструктура поперечных темплетов круглых НЛЗ, отлитых с ЭМП и контрольных с развитой центральной пористостью

2,0 до 0,5–1,0, а краевые точечные загрязнения при применении ЭМП полностью отсутствуют, учитывая, что без ЭМП балл по КТЗ составляет 2–3.

В заключение необходимо отметить, что устройства электромагнитного перемешивания

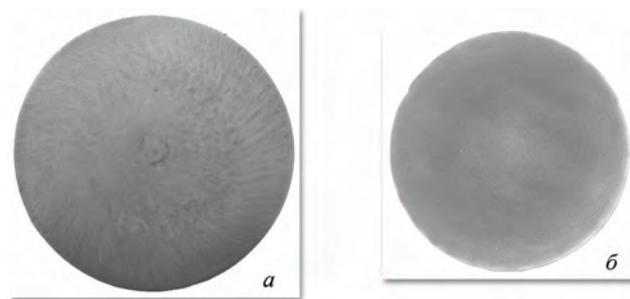


Рис. 7. Макроструктура поперечных темплетов круглых НЛЗ и проката с ЭМП: а – литая заготовка диаметром 250 мм с ЭМП; б – прокатанная заготовка диаметром 105 мм с ЭМП

в кристаллизаторах МНЛЗ разработки АХК «ВНИИМЕТМАШ» – ЗАО «ЭМТ» по сравнению с зарубежными аналогами позволяют уменьшить потребление электроэнергии до 1,1 млн. кВт·ч на один ручей ежегодно при работе МНЛЗ 320 сут в году.