



It is shown that devices of electromagnetic mixing in crystallizer produced by АНК «VNIIMETMASH» – ZAO «ETM» in comparison with foreign analogs enable to save current consumption to 6 million kilowatt/hour annually.

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

УДК 621.74

НОВОЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ КРУГЛЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ СПЕЦСПЛАВОВ И ЛЕГИРОВАННЫХ МАРОК СТАЛИ

В настоящее время металлургические заводы стремятся не только увеличить производительность МНЛЗ, отливающих круглые заготовки, но и расширить сортамент разливаемых сталей, в том числе за счет высокоуглеродистых и легированных, а также повысить качество непрерывнолитых заготовок и проката. Это происходит потому, что приходит время, когда практически вся выплавляемая сталь будет разливаться на машинах непрерывного литья.

Необходимо отметить, что качество непрерывнолитых заготовок зависит от технологических параметров литья и конструктивных особенностей оборудования. Однако есть дефекты макроструктуры непрерывнолитых заготовок, связанные с процессом кристаллизации, усадочными и ликвационными процессами, которые не могут быть устранены даже при рациональных конструктивных и технологических параметрах оборудования и процесса разливки.

Предотвращение образования или подавление развития кристаллизационных, усадочных и ликвационных дефектов возможно за счет создания управляемого принудительного движения жидкой фазы кристаллизующегося слитка, в частности, с помощью электромагнитного перемешивания. ЭМП представляет собой процесс перемешивания жидкой фазы кристаллизующегося слитка посредством электромагнитных сил, которые возникают при взаимодействии магнитного поля с электрическим током. В зависимости от характера приложения магнитного поля движение жидкого расплава может осуществляться в плоскости, перпендику-

лярной оси слитка – вращающееся поле, или в плоскости, параллельной оси слитка – бегущее поле (рис. 1).

Глубина жидкой лунки зависит от толщины отливаемого сечения и скорости разливки и может достигать на современных МНЛЗ до 25 м. Поэтому необходимо иметь возможность эффективного воздействия ЭМП в нескольких местах технологической линии МНЛЗ. Наибольшее влияние на качество заготовок, разливаемых на МНЛЗ, оказывают электромагнитные перемешивающие устройства, установленные в кристаллизаторе. Применение ЭМП в кристаллизаторе улучшает качество поверхности, подповерхностной зоны (устраняются краевые точечные загрязнения, газовые пузыри и раковины) и внутренней структуры заготовок,

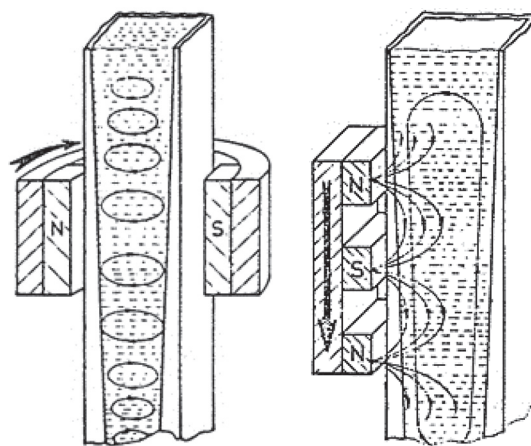


Рис. 1. Схема перемешивания жидкой фазы непрерывного слитка: а – вращающееся электромагнитное поле; б – бегущее электромагнитное поле

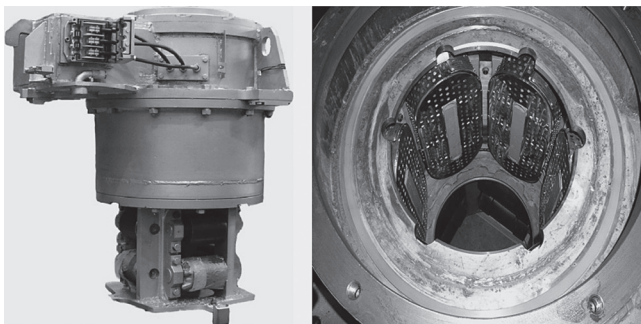


Рис. 2. Кристаллизатор-электромагнитный перемешиватель для литья заготовок диаметром 250 и 360 мм

в частности, уменьшается и рассредоточивается центральная пористость и осевая ликвация.

В существующих конструкциях кристаллизаторов-ЭМП зарубежных фирм кристаллизатор, как правило, расположен внутри корпуса индуктора, для которого требуется отдельный контур охлаждения дистиллированной водой, что значительно увеличивает эксплуатационные затраты. Кроме того, такая конструкция обладает рядом недостатков: удаленность статора от жидкой фазы слитка вызывает дополнительное увеличение мощности перемешивателя, необходимо также применение нержавеющей стали аустенитного класса для изготовления корпусных деталей кристаллизатора, а это многократно увеличивает стоимость кристаллизатора. Следует также отметить, что ремонт такой конструкции достаточно сложен и трудоемок. Кроме того, 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.

Во ВНИИМЕТМАШ разработана концепция высокоэффективного оборудования ЭМП для кристаллизаторов, зон вторичного охлаждения и окончания затвердевания. В основу 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 и перемешивателей в ЗВО и ЗОЗ. Отличительной особенностью конструкции разработанных ВНИИМЕТМАШ кристаллизаторов-ЭМП (рис. 2, 3), является то, что охлаждение катушек полюсов статора осуществляется водой, предназначенной для охлаждения медных рабочих стенок кристаллизатора. Для охлаждения устройств ЭМП в зонах вторичного охлаждения и окончания затвердевания

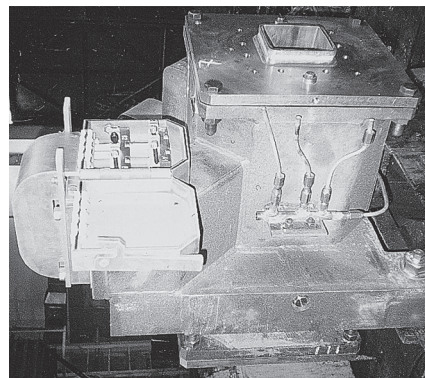


Рис. 3. Кристаллизатор-электромагнитный перемешиватель для литья заготовок сечением 125x125 мм

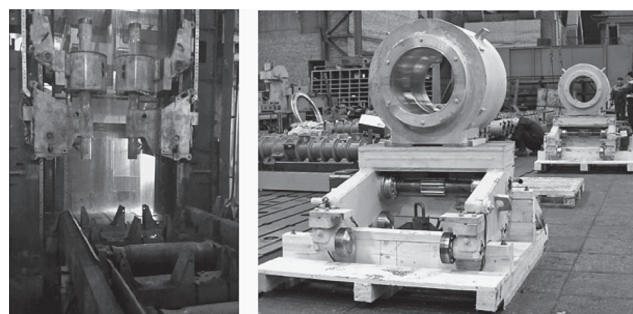


Рис. 4. Система ЭМП в зоне вторичного охлаждения УПНРС металлургического завода «Электросталь»

(рис. 4) используется вода, применяемая для охлаждения заготовок в ЗВО.

Это позволяет существенно упростить схему охлаждения, отказаться от отдельной, дорогостоящей системы охлаждения полюсов статоров дистиллированной обезмагниченной водой и, следовательно, избежать дополнительных эксплуатационных расходов. Также необходимо отметить, что зафиксированы случаи выхода из строя дорогостоящих систем ЭМП зарубежных производителей из-за отказа систем охлаждения. Применение для систем ЭМП производства ВНИИМЕТМАШ охлаждающей воды контура МНЛЗ исключает выход из строя оборудования электромагнитного перемешивания.

Полюсами ЭМП являются съемные водопогружные модули, состоящие из шихтованного ферромагнитного сердечника со специальным покрытием для предотвращения коррозии. На сердечник намотана обмотка, провод которой имеет двойную водонепроницаемую изоляцию с высокой механической и электромеханической стойкостью. Обмотка полюса защищена кожухом из нержавеющей стали аустенитного класса с перфорированными отверстиями для протока технической воды, охлаждающей каждый виток обмотки. Необходимо отметить, что интенсивность электромагнитного перемешивания определяется величиной максимальной линейной скорости V_{\max} в по-

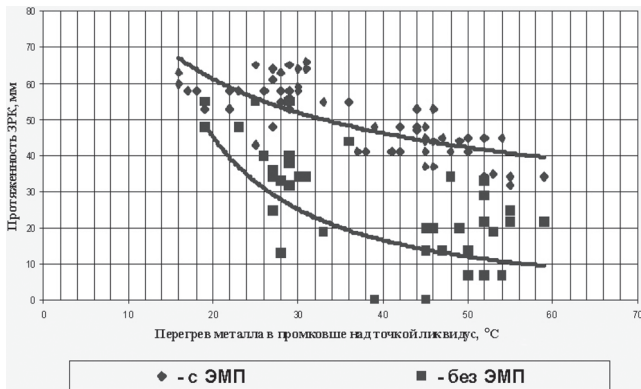


Рис. 5. Зависимость протяженности зоны равноосных кристаллов (ЗРК) от перегрева металла над температурой ликвидуса при разливке заготовок сечением 125x125 мм высокоуглеродистых марок стали

токе жидкой стали у фронта кристаллизации, которую развивает статор ЭМП. При $V_{max} < 0,3$ м/с интенсивность перемешивания не позволяет достичь удовлетворительных металлургических результатов. При $V_{max} > 1,0$ м/с возможно появление отрицательных результатов (высокая отрицательная ликвация вдоль фронта кристаллизации, выявляемая в виде белой полосы). Для получения заготовок с гарантированной качественной макроструктурой необходимо, чтобы максимальная линейная скорость перемешивания находилась в диапазоне 0,3–1,0 м/с. Данная конструкция кристаллизатора-ЭМП обеспечивает необходимые скорости перемешивания (V_{max} до 1 м/с) при низкой потребляемой мощности. Статоры в кристаллизаторе производства ВНИИМЕТМАШ потребляют от 25 кВт для квадратной заготовки небольшого сечения и до 45 кВт для круга диаметром 360 мм, а система ЭМП в ЗВО – 65 кВт, что в целом позволяет снизить в 2–3 раза энергопотребление по сравнению с зарубежным аналогом.

Металлографические исследования качества сортовых заготовок показали, что при использовании кристаллизатора с ЭМП существенно меняет-

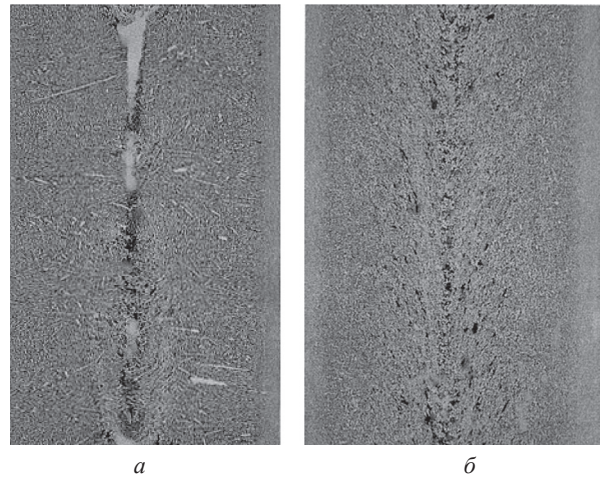


Рис. 6. Макроструктура продольных темплетов сортовых непрерывнолитых заготовок из высокоуглеродистых марок стали, отлитых с ЭМП и контрольных: а – без ЭМП; б – с ЭМП

ся 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. 5).

Максимальный балл по центральной пористости в квадратных заготовках небольшого сечения с ЭМП уменьшается с 4,0 до 2,5 (рис. 6). Снижается зональная и осевая ликвация в заготовках из высокоуглеродистой стали, что дало возможность получить прокат, в котором протяженность мартенситных участков не превышает 20 мкм (рис. 7).

Внедрение электромагнитного перемешивания в сортовых кристаллизаторах позволяет снизить исходный размер непрерывнолитых заготовок и освоить технологию разливки в сортовые заготовки небольшого сечения высокоуглеродистых марок стали.

Анализ макроструктуры круглых заготовок диаметром 250 мм и проката из них на металлургическом заводе «Электросталь» показал, что при-

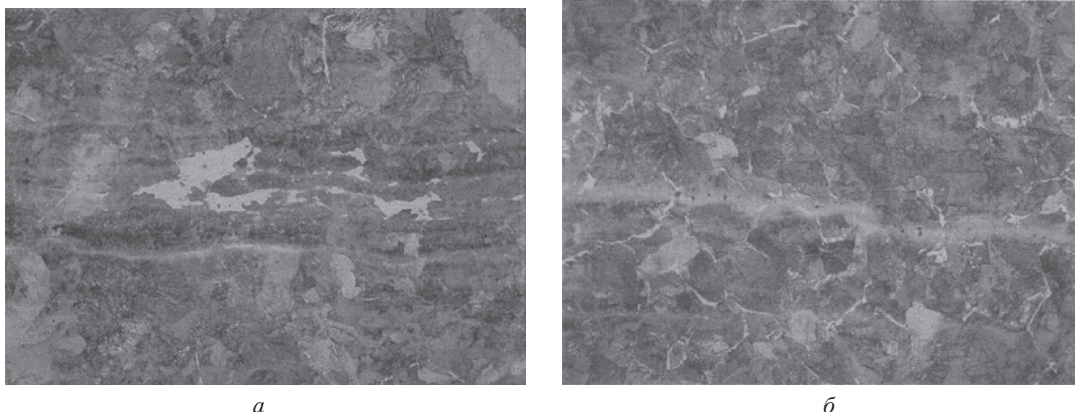


Рис. 7. Ликвационная полосчатость на продольных образцах катанки высокоуглеродистых марок стали: а – образец без ЭМП (мартенсит в центре ликвационной полосы); б – образец с ЭМП. х500

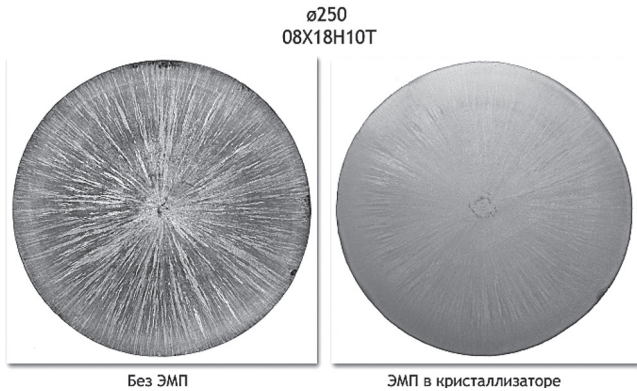


Рис. 8. Макроструктура поперечных темплетов круглых непрерывнолитых заготовок из нержавеющей марки стали, отлитых с ЭМП, и контрольных

менение ЭМП в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения высокоэффективны и экономичны, так как обеспечивают достижение положительных металлургических результатов при минимальных затратах (рис. 8–10). Так, например, снижается балл по центральной пористости и осевой ликвации с 1,5–2,5 до 0,5–1,0; по осевым трещинам – с 1,5–2,0 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 в кристаллизаторе производства АХК «ВНИИ-МЕТМАШ» – ЗАО «ЭМТ» по сравнению с зарубежными аналогами позволяют экономить потребление электроэнергии до 6 млн кВт·ч ежегодно,

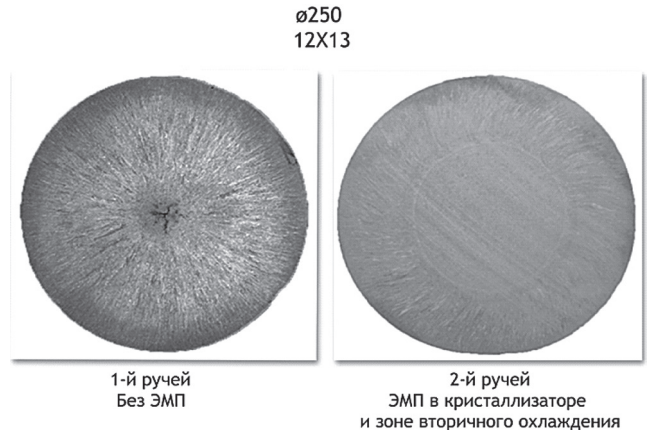


Рис. 9. Макроструктура поперечных темплетов круглых НЛЗ, отлитых с ЭМП, и контрольных с развитой центральной пористостью

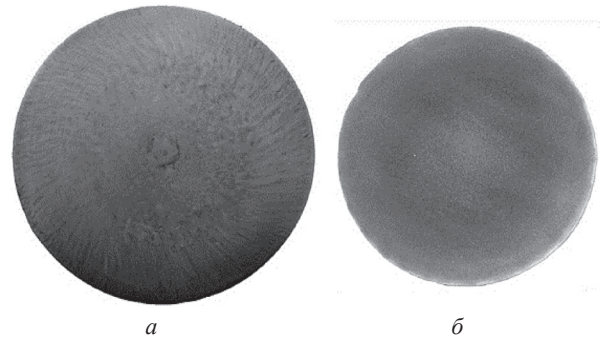


Рис. 10. Макроструктура поперечных темплетов круглых НЛЗ и проката с ЭМП: *а* – литая заготовка диаметром 250 мм с ЭМП в кристаллизаторе и ЗВО; *б* – прокатанная заготовка диаметром 105 мм с ЭМП

что составляет ориентировочно 360 тыс. долл. в год при работе многоручьевого МНЛЗ 320 дней в году.