

1. Бондаренко В.Д., Руденко Н.Р. Исследование влияния активного сечения колосниковой решетки на показатели агломерационного процесса и разработка рациональной конструкции колосников // Теория и практика металлургии. - 2005. - № 1-2. - С. 24-27.

2. О возможности дальнейшего совершенствования конструкций агломерационных лент /Е.Ф. Вегман, А.Р. Жак, Е.А. Романчиков и др. // Сталь. -1994. - № 3. - С. 7-12.

УДК 669

**Є. В. Синегін<sup>1</sup>, К. Г. Нізяєв<sup>1</sup>, С. В. Журавльова<sup>1</sup>, Р. Є. Острянін<sup>1</sup>, М. О. Дей<sup>1</sup>,  
М. О. Еконго<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

<sup>2</sup>DHM GROUP, м. Дніпро

### **МЕТОДИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ МЕТАЛУ В КРИСТАЛІЗАТОРІ МБЛЗ**

Методи електромагнітної обробки сталі почали активно розвиватися на початку 70-х рр. минулого сторіччя і сьогодні є невід'ємною частиною технології безперервного розливання сталі у всіх країнах світу. Широкого вжитку магнітогідродинамічна (МГД) обробка розплаву набуває і у кольоровій металургії, зокрема з метою отримання металевих суспензій. Експлуатаційні характеристики мідних сплавів після МГД обробки збільшуються на 30 %, в алюмінієвих сплавах зменшується на 80 % кількість голкових неметалевих включень та у 6 разів їхня довжина, зносостійкість антифрикційних алюмінієвих сплавів збільшується у 2,5÷6 разів [1].

Вплив електромагнітного поля на рідкий метал виявляється як на макро- так і на мікрорівні. На макрорівні електромагнітну енергію використовують для плавки металу та його нагрівання електричним струмом, переміщення металевого розплаву під дією електромагнітних сил, накладання тиску на рідкий метал, у тому числі у передкристалізаційний період.

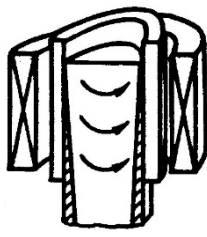
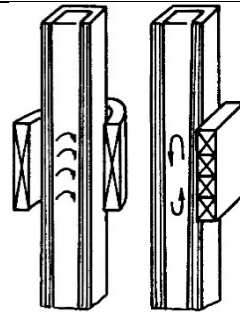
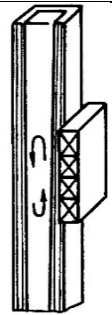
На мікрорівні магнітні поля безпосередньо впливають на атоми хімічних елементів, що входять до складу сплавів, та надають їм різних прискорень, зумовлюють ди-

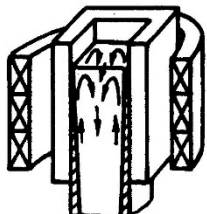
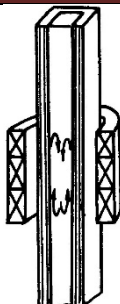
польні взаємодії в системах з феромагнітними і парамагнітними фазами та орієнтацією феромагнітних часточок уздовж силових ліній поля, змінюють величину коефіцієнта молекулярної дифузії елементів у рідкому металі та величину критичного зародка при кристалізації металу. Все це дає змогу керувати рухом металу, тиском, тепло- та масообміном в об'ємі металевого розплаву, змінюючи структуру і властивості литих заготовок. Безперечною перевагою МГД обробки є її безконтактний характер і низька інерційність [2].

При ЕМП відбувається низка важливих процесів зокрема: інтенсифікація тепло- і масообміну в об'ємі металу, що твердіє; вирівнювання температурного і концентраційного градієнту; інтенсифікація теплообміну з твердою кіркою; руйнування дендритів на фронті кристалізації; поліпшення умов асиміляції неметалевих включень шлаковою фазою. Дослідами на сплавах кольорових металів доведена можливість модифікування емульсованих неметалевих включень. За характером впливу ЕМП на технологію безперервного розливання розрізняють шість принципів методів індукційного ЕМП для сортових, блюмових та слябових МБЛЗ у кристалізаторі, зоні вторинного охолодження (ЗВО) та зоні остаточного тверднення (ЗОТ) (таблиця 1) [1, 2, 3].

ЕМП в кристалізаторі полем, що обертається (*mold electromagnetic stirring – MEMS*) – різновид індуктивного перемішування спрямований на створення обертального руху рідкого металу у кристалізаторі. Слід зауважити, що на сортових і блюмових МБЛЗ обертальний рух металу завжди ініціюється обертальним магнітним полем, а на слябових використовується два генератори лінійного магнітного поля різної направленості.

Таблиця 1. Особливості та результати використання пристроїв ЕМП

Тип МБЛЗ	Кристалізатор	ЗВО	ЗОТ
Сортова, блюмова	 <p>MEMS</p>	 <p>SEMS</p>	 <p>FEMS</p>

Слябова	 FC MEMS, EMBR	 SEMS	-
Марки сталі	низьколеговані, пружинні, холоднокатані та середньовуглецеві	нержавіючі та інструментальні	пружинні, шарикопідшипникові, спеціальні високовуглецевисті
<b>Мета ЕМП</b>			
– неметалеві включення	+		
– шпаристість	+		
– газова пори	+		
– прориви кірки	+		
– внутрішні тріщини	+	+	
– стовпчаста структура	+	+	
– осьова ліквация	+	+	+
– центральна пористість	+	+	+
– V-подібна ліквация			+

За рахунок обертання сталі неметалеві включення та газу із меншою у порівнянні з металом густиною спрямовуються до центральної частини безперервнолітої заготовки (БЛЗ), звідки конвекційними потоками переносяться до дзеркала металу і асимілюються шлаком. Крім того, вимушена конвекція призводить до ламання гілок дендритів, пригнічуючи розвиток зони транскристалізації. Уламки дендритів, що відіграють роль штучних зародків, додатково подрібнюють структуру, зменшуючи осьову ліквацию та центральну пористість. Поліпшення умов теплообміну рідкої фази із кіркою заготовки збільшує товщину кірки на виході з кристалізатора, зменшуючи імовірність проривів кірки під кристалізатором та вірогідність утворення внутрішніх тріщин [3, 4].

Другою системою ЕМП, що застосовується переважно на слябових МБЛЗ, є системи електромагнітного гальмування (*electromagnetic brake* – EMBR). Метою якої є гальмування струменя сталі, що витікає з кристалізатора. Гальмування струменя дозволяє зменшити вірогідність проривів за рахунок поліпшення умов первинного охолодження сталі, а також зменшує глибину занурення газових і неметалевих включень у рідку сталь [2, 3, 4].

Використання системи керування потоками у кристалізаторі (*fluent control mold electromagnetic stirring* – FC MEMS) показує хороші результати у комплексі із застосуванням безнапірних заглибних стаканів. Метою FC MOLD є зменшення ефекту розмивання кірки заготовки потоками металу, що витікає з отворів заглибного стакану перпендикулярно стінкам кристалізатора. Основний ефект – поліпшення умов формування твердої кірки заготовки [3, 4].

На етапі вторинного охолодження заготовки застосовують системи електромагнітного перемішування із обертальним або лінійним магнітним полем (*strand electromagnetic stirring* – SEMS). Їх мета – пригнічення розвитку стовпчастих кристалів, а також усереднення хімічного складу та температури рідкої фази [1, 3, 4].

ЕМП на фінальній стадії тверднення (*final electromagnetic stirring* – FEMS) та її перспективний аналог електромагнітний бустер (комплекс у складі FEMS та «м'якого» обтиснення) зазвичай використовують з метою пригнічення осьової ліквідації та усадочної шпаристості. Наразі використання FEMS обмежено через труднощі у визначенні його розташування та режимів роботи [3, 4].

Використання МГД-систем вельми доцільно і за розливання сталі на МБЛЗ валкового типу. Їх використання спрямоване на виконання трьох основних задач технології: організація перемішування металу у проміжному ковші; організація підводу рідкої сталі у міжвалковий простір; запобігання бічного витікання металу з міжвалкового простору. Розташування цих систем обмежується промковшем, заглибним стаканом та кристалізатором [5].

### Перелік посилань

1. The Effects of Electromagnetic Stirring on Solidification Structure of Continuously Cast SUS430 Stainless Steel Slabs / H. Takeuchi, H. Mori, Y. Ikehara [et al.] // Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan. – 1981. – №2. – P. 109-116.
2. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник / Д.Ф. Чернега, В.С. Богушевський, Ю.Я. Готвянський [та ін.]; За ред. Д.Ф. Чернеги, Ю.Я. Готвянського. – К.: Вища школа, 2006. – 503 с.
3. Воронов В.Ф. Повышение качества стали и снижение эксплуатационных затрат при использовании индукционного перемешивания / В.Ф. Воронов, А.Г. Шалимов // Труды VIII конгресса сталеплавильщиков. Нижний Тагил, 18-22 октября 2005 г. – М.: ОАО «Черметинформация», 2005. – С. 562-568.

4. Электромагнитные воздействия на жидкий и кристаллизующийся металл при непрерывной разливке стали: перспективы использования мирового опыта и отечественных разработок в металлургии Украины / В.И. Дубоделов, М.С. Горюк, А.Н. Смирнов, А.Ф. Колесниченко // 50 лет непрерывной разливке стали в Украине: Сб. научн. тр. / под редакцией Д.А. Дюдкина, А.Н. Смирнова. – Донецк: «Ноулидж», 2010. – С. 529.

5. Горюк М.С. Перспективи застосування оригінального магнітодинамічного обладнання в технологіях валкового лиття / М.С. Горюк, В.К. Погорський, М.А. Слажнев // Литейное производство: технологии, материалы, оборудование, экономика и экология: Материалы II международной научно-практической конференции. Киев, 19-21 ноября 2012 г. – Киев, 2012. – С. 77-79.

УДК 539.5

**А. Л. Сиротенко<sup>1</sup>, С. М. Зінченко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Український державний університет науки і технологій м. Дніпро

<sup>2</sup> Нікопольський регіональний центр моніторингу освіти та соціального партнерства

УДУНТ, м. Нікополь

### **ЗАЛЕЖНІСТЬ МІЖ ВПЛИВОМ ДОМІШОК НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ТИТАНУ ТА ЯКІСТЮ ВИРОБНИЦТВА ХОЛОДНОДЕФОРМОВАНИХ ТРУБ**

Технологічні процеси виробництва холоднодеформованих труб із титану та його сплавів широко застосовуються у мировій практиці. При цьому проблеми підвищення якості титанових труб при холодній пільгерної прокатці висувують ряд актуальних задач щодо дослідження впливу домішок на структуру та властивості титану.

Структура та механічні властивості титану залежать від присутніх в ньому домішок. Ці домішки розділяються на два класи: перший клас – домішки, що утворюють з титаном розчини впровадження (O, N, C, H); другий клас – домішки, що утворюють з титаном розчини заміщення (Fe та Si).

Залізо утворює з  $\alpha$ - та  $\beta$ -Ті тверді розчини заміщення та стабілізує  $\beta$ -фазу. Зі зниженням температури розчинність заліза зменшується та при температурі 500 °С стає меншою 0,01%. Залізо здійснює значно менший вплив на властивості титану, ніж домішки впровадження.