

для збільшення обсягу рідкого покривного шлаку вміст MgO має бути в межах 8,6-9,8%, а вміст Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> складати 12-15% при CaO/SiO<sub>2</sub> більше 1,1.

### Список літератури

1. Анализ рафинировочных процессов ковшевой обработки стали / Буга И.Д., Троцан А.И., Белов Б.Ф., Носоченко О.В. [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – №3. – С. 16-20.

2. Сігарьов Є.М., Кочмола Д.С., Чубін К.І. Вплив покривного шлаку на перебіг ковшової десульфурзації чавуну // *Теорія і практика металургії*. - №1-2. – 2018. – С. 67-75.

УДК 621.74.047:621.746.27

**О. М. Смірнов, А. Ю. Семенко, Ю. П. Скоробагатько, М. С. Горюк, Ю. О. Смірнов,  
В. В. Буряк, Д. І. Гойда, А. О. Горшков, Л. М. Лакомська**

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

*e-mail:* [semenko.au@gmail.com](mailto:semenko.au@gmail.com)

### **ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЗОВНІШНІХ ФІЗИЧНИХ ДІЙ У КРИСТАЛІЗАТОРІ, ЗОНІ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ЗОНІ ФІНАЛЬНОГО ТВЕРДНЕННЯ БЕЗ- ПЕРЕРВНОЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ**

Сучасні тенденції розвитку процесів одержання безперервнолитих заготовок мають на меті поліпшення якості лиття, підвищення продуктивності процесу, ресурсо- та енергозбереження. Для досягнення зазначених цілей можна виділити наступні кроки, що ґрунтуються на застосуванні зовнішніх фізичних дій: забезпечення по можливості малонапорного надходження розплаву з проміжного ковша через занурений сталерозливний стакан до кристалізатора машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) або гальмування високошвидкісних потоків розплаву безпосередньо у кристалізаторі; забезпечення підведення розплаву по всій ширині кристалізатора; збільшення тепловідводу в кристалізаторі; вплив на формування поверхні безперервнолітої заготовки в кристалізаторі; забезпечення видалення газових та неметалевих включень з рідкометалевої ванни в зоні кристалізатора; збільшення тепловідводу в зонах

вторинного охолодження та фінального тверднення безперервнолитої заготовки; вплив на внутрішню структуру заготовки, подавлення ліквідаційних процесів у зонах вторинного охолодження та фінального тверднення безперервнолитої заготовки; м'яке обтиснення безперервнолитої заготовки та максимально можливе наближення її геометрії до кінцевого продукту в зонах її вторинного охолодження та фінального тверднення.

Широко застосовуються на практиці ряд способів та пристроїв для забезпечення необхідних режимів надходження розплаву в кристалізатор МБЛЗ. Їх застосування визначаються маркою сплаву, типорозміром одержуваної заготовки, вимогами щодо якості її поверхні, структури і властивостей, продуктивністю процесу тощо. Метою є передусім підвищення ККД кристалізатора (збільшення тепловідводу), скорочення технологічної довжини МБЛЗ, зменшення собівартості продукції, створення передумов для можливої механічної обробки тверднучої гарячої заготовки одразу після її виходу з кристалізатора. Зокрема, для деяких видів металопродукції діючі стандарти провідних промислово розвинених країн світу передбачають обов'язкове застосування електромагнітного перемішування на різних стадіях формування заготовки.

При виготовленні заготовок значної ширини і водночас відносно малої товщини (тонкі сляби або смуга і листова продукція, одержані литтям у двовалковий кристалізатор) актуальним є вирішення проблеми розосередження рідкометалевого потоку по всій ширині порожнини кристалізатора або міжвалкового зазору. Для цього застосовують спеціальні щілиноподібні розливні стакани типу «бобровий хвіст» або електромагнітні системи, дія яких ґрунтується на використанні ефекту Гартмана.

Також при виробництві слябів через значний металостатичний напір при розливанні та високу лінійну швидкість розплаву часто застосовують електромагнітні пристрої для гальмування потоку (EMBR), які можуть бути вбудовані безпосередньо в кристалізатор, однак у будь-якому разі є вельми складними та дорогими за вартістю.

При одержанні сортових заготовок у кристалізаторі МБЛЗ використовуються передусім системи, що забезпечують видалення газів і неметалевих включень за рахунок застосування вібрації, пульсаційного (газоімпульсного) або електромагнітного перемішування.

Також електромагнітні системи можуть застосовуватися для відтиснення поверхні заготовки від стінок кристалізатора, а комплексне застосування систем електромагнітного перемішування у кристалізаторі, зонах вторинного охолодження і фінального тверднення заготовки має на меті подавлення структурної та фізико-хімічної не-

однорідності по перерізу і довжині заготовки (запобігання ліквідації і сегрегації, зменшення – аж до по можливості повного усунення – розмірів зони стовпчастих кристалів, забезпечення ізотропії властивостей тощо).

Попередні дослідження співробітників ФТІМС НАН України дозволили створити необхідні передумови застосування різноманітних технічних рішень, у т. ч. з використанням електромагнітних полів і спеціалізованих МГД-пристроїв, для стабілізації температурних та гідродинамічних параметрів надходження рідкого металу з проміжного ковша через занурений сталерозливний стакан до кристалізатора МБЛЗ.

За результатами проведеного аналізу можна стверджувати, що у кристалізаторі МБЛЗ доцільне використання МГД-пристрою, який завдяки особливостям своєї конструкції поєднує функції гальмування рідкометалевого потоку та його перемішування. Завдяки цьому суттєво зменшиться глибина проникнення високотемпературного струменя розплаву у тіло тверднучої заготовки, що дозволить скоротити технологічну довжину МБЛЗ. Зокрема, таким чином буде більш ефективно використано можливості кристалізатора в частині відведення тепла, які до сьогодні через високу динаміку розливання реалізовані не більше ніж на 70-80%.

В зоні фінального тверднення заготовки доцільно застосувати систему валків для її м'якого механічного обтиснення (SMR). Це дозволить суттєво наблизити конфігурацію заготовки до вимог щодо геометрії кінцевого продукту, поліпшити якість поверхні, зменшити кількість підповерхневих дефектів, вплинути на процеси структуроутворення, ліквідації і сегрегації у центральній частині перерізу заготовки. Також завдяки проведенню обтиснення щойно сформованої гарячої тверднучої заготовки, значно скоротяться подальші часові та енергетичні витрати на операції її нагріву-охолодження під прокатування.

Одним з підходів до вирішення проблеми поліпшення якості тверднучої заготовки є вивчення перспектив застосування електромагнітних бустерів – спеціальних пристроїв, які у поєднанні з механічним обтисненням тверднучої заготовки використовують електричний струм і явище надпровідності для створення сильних магнітних полів (індукція  $\sim 10$  Тл). Такі схрещені поля створюють в рухомому злитку електромагнітну силу, яка спрямована вздовж осі заготовки протилежно напрямку лиття і у кілька разів перевершує гравітаційну складову процесу кристалізації. В результаті створюється рух рідкої фази з міждендритного простору, і порожнечі, що утворилися в окремих місцях заготовки через «перехоплення» рідкої лунки і в цілому є наслідком нерівномірності фронту кристалізації, заповнюються рідкою фазою. В результаті спільної дії обтискних валків і електромагнітної сили ефект обтиснення посилюється, що особливо

важливо при розливанні блюмів, оскільки їх каркас має значно більшу жорсткість, ніж у сляба, що істотно збільшує необхідне зусилля обтискання. На сьогодні в Україні подібні розробки взагалі відсутні, тому слід вважати за доцільне проведення попередніх теоретичних розрахунків, математичного і фізичного моделювання щодо техніко-економічної перспективності застосування таких пристроїв.

УДК 621.74.047:621.746.27

**О. М. Смірнов<sup>1</sup>, В.Є. Ухін<sup>2</sup>, А. Ю. Семенко<sup>1</sup>, Ю. П. Скоробагатько<sup>1</sup>, Ю. О. Смірнов<sup>1</sup>,  
М. С. Горюк<sup>1</sup>, Д. І. Гойда<sup>1</sup>, Л. С. Воронько<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

<sup>2</sup>ТОВ «ШЕФФІЛД РЕФРАКТОРІС УКРАЇНА», Дніпро

*e-mail:* [semenko.au@gmail.com](mailto:semenko.au@gmail.com)

### **ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ УМОВ РОЗЛИВАННЯ РІДКОЇ СТАЛІ І ФОРМУВАННЯ БЕЗ- ПЕРЕРВНОЛИТИХ ЗАГОТОВОК В КРИСТАЛІЗАТОРІ МБЛЗ**

Відомо, що картина руху розплаву в кристалізаторі МБЛЗ багато в чому визначається інтенсивністю та характером поведінки падаючого струменя, який витікає з проміжного ковша через занурений сталерозливний стакан. При цьому потрапляння струменя в кристалізатор супроводжується перемішуванням (бурлінням) металу біля поверхні та у об'ємі рідкометалевої лунки (рис.), що погіршує роботу змащення, сприяє зтягуванню в метал бульбашок газу та шлакових включень, ускладнює роботу пристрою для автоматичного контролю рівня металу та ін. Найбільш сильний вплив ефекту падіння струменя в рідкометалеву ванну кристалізатора спостерігається при розливанні сортових заготовок на високошвидкісних МБЛЗ.

Використання системи «стопор-моноблок» – «стакан-дозатор» – «занурений стакан» дозволяє більш точно й вчасно регулювати витрату металу під час розливання в автоматичному режимі, не змінюючи швидкість витягування заготовки. При цьому забезпечується збереження сталого рівня металевого розплаву в кристалізаторі, що найбільш точно враховує особливості формування скоринки заготовки про всій довжині гільзи при поточній швидкості лиття.