

великого діаметра для магістральних нафто– і газопроводів та металознавчі аспекти його використання. Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет». *Збірник наукових праць НГУ*. 2021. № 65. С. 99–106. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.099>.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-29>

METHODS OF ELECTROMAGNETIC STIRRING OF METAL IN THE CCM MOLD

МЕТОДИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ МЕТАЛУ В КРИСТАЛІЗАТОРІ МБЛЗ

Oleshko M.V.

*student (group 136s-22-1m), LLC
“Technical university “Metinvest
polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine*

Олешко М.В.

*студент гр. 136С-22-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Malii Kh.V.

*PhD (Engineering), LLC “Technical
university “Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Малій Х.В.

*к.т.н., ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Synehin Ye.V.

*PhD (Engineering), LLC “Technical
university “Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Синегін Є.В.

*к.т.н., ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

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 дипольні 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 декілька принципових методів індукційного ЕМП для сортових, блюмових та слябових МБЛЗ у кристалізаторі, зоні вторинного охолодження (ЗВО) та зоні остаточного тверднення (ЗОТ) [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.

За рахунок обертання сталі неметалеві включення та гази 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 трансристалізації. Уламки дендритів, що відіграють роль штучних зародків, додатково подрібнюють структуру, зменшуючи осьову ліквідацію 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].

Другою системою ЕМП, що застосовується переважно на слябових МБЛЗ, є системи електромагнітного гальмування (*electromagnetic brake* – ЕМБР). 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].

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].

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].

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].

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.

Перелік використаних джерел

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. Горюк М.С. Перспективи застосування оригінального магнітодинамічного обладнання в технологіях валкового лиття /

М.С Горюк, В.К. Погорський, М.А. Слажнев. *Ливарне виробництво: технології, матеріали, обладнання, економіка та екологія*: Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 19-21 листопада 2012 г. Київ, 2012. С. 77–79.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-30>

STRUCTURE AND PROPERTIES OF A LOW-CARBON STEEL WIRE AFTER COMBINED COLD DEFORMATION

СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ ДРОТУ З НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ ПІСЛЯ КОМБІНОВАНОГО ХОЛОДНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

Pashynska O.G.

*DSc (Engineering), Senior researcher,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”, Zaporizhzhia;
E.O. Paton Electric Welding Institute,
Kyiv, Ukraine*

Пашинська О.Г.

*д.т.н., старший науковий
співробітник, ТОВ «Технічний
університет «Метінвест
політехніка», м. Запоріжжя;
Інститут електрозварювання імені
Є.О. Патона Національної академії
наук України, м. Київ, Україна*

Skulskyi V.Yu.

*DSc (Engineering), Senior researcher,
E.O. Paton Electric Welding Institute,
Kyiv, Ukraine*

Скульський В.Ю.

*д.т.н., старший науковий
співробітник, Інститут
електрозварювання імені
Є.О. Патона Національної академії
наук України, м. Київ, Україна*

Boyko I.O.

*Ph.D., Associate Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”, Zaporizhzhia;
E.O. Paton Electric Welding Institute,
Kyiv, Ukraine*

Бойко І.О.

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

The positive effect of shear stresses on the plasticity of metals during deformation is known. Therefore, the combination of the shear with the drawing process can increase the technological plasticity of the wire. This idea served as the basis for the development of a combined deformation method consisting of drawing with shear. The aim of the work was to increase the