

МАГНІТОГІДРОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ РОЗЛИВАННЯ І ТВЕРДІННЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

ISSN 2077-1304. Met. lit'e Ukr., vol. 31, 2023, № 2 (333), 69-72

<https://doi.org/10.15407/steelcast2023.02.069>

УДК 537.84

С.Л. Поливода, наук. співр., e-mail: etma@i.ua, <https://orcid.org/0009-0002-8906-0693>

О.В. Сірий, голов. конструктор, <https://orcid.org/0009-0006-7721-5976>

О.М. Гордня, голов. технолог, <https://orcid.org/0009-0005-7667-417X>

В.О. Твердохвалов, канд. техн. наук, наук. співр., e-mail: tverdohvalov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3756-7639>

О.В. Перехода, голов. технолог, <https://orcid.org/0009-0008-8755-8192>

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

Вплив електромагнітного перемішування розплаву на технологічний процес одержання алюмінієвого порошку

На прикладі модернізації виробництва алюмінієвого порошку показана ефективність включення до технологічного процесу операції електромагнітного перемішування розплаву. Існуюча технологічна схема характеризувалась неефективністю через необхідність переливання розплаву ковшем з роторної печі до печей опору, підвищення витрат електроенергії через необхідність перегріву всієї ванни рідкого металу до температури інжекції та складність регулювання температури розплаву, що призводило до кристалізації металу у форсунці або вимагало його значного перегріву вище 900 °С. В ході модернізації проміжні печі опору були замінені на піч опору ємністю 1,5 т, оснащену електромагнітним перемішувачем рідкого металу. Це призвело до підвищення продуктивності технологічного процесу, зниження енергетичних витрат і підвищення рівня автоматизації. Система перемішування забезпечує безконтактний силовий вплив на рідкий метал і дозволяє підтримувати необхідні температурні і гідродинамічні режими розплаву у тиглі печі опору. Для футерування каналу перемішувача використано суміш на основі волограну, який має високу вогнетривкість, низьку щільність і теплопровідність та високу хімічну стійкість до рідких алюмінієвих сплавів і низьку схильність до заростання оксидами. Застосування постійного електромагнітного перемішування розплаву виключило його перегрів у тиглі печі і стабілізувало температуру в межах 790 ± 10 °С. При цьому, температура металу в зоні інжекції склала 840-850 °С. Стабілізація температурних режимів інжекції розплаву дозволила виключити його кристалізацію у форсунці і підвищити термін її служби. Зниження температури інжекції на 50-60 °С дозволило зменшити окиснення часток порошку, що підвищило його якість. Проведена модернізація виробництва підвищила виробничу потужність одержання порошку алюмінієвих сплавів з 300 до 500 кг/годину.

Ключові слова: алюмінієві сплави, електромагнітне перемішування розплаву, інжекція, виробництво алюмінієвого порошку, модернізація виробництва.

Електромагнітне перемішування розплаву є одним з найважливіших та найбільш ефективних факторів інтенсифікації процесів плавлення і рафінування алюмінієвих сплавів, засвоєння в них компонентів, підвищення однорідності складу, структури та властивостей. Доцільність його застосування доведена великою кількістю впроваджень в ливарному виробництві та металургії і зокрема показана на прикладі модернізації виробництва алюмінієвого порошку методом інжекції розплаву.

До модернізації технологія включала розплавлення твердої шихти і доведення розплаву до необхідного хімічного складу у роторній газовій печі, стабілізацію температури розплаву у двох печах опору САТ-0,6 з наступним переливанням у роздавальну піч опору САК-0,4 з відділенням для розміщення інжекційної форсунки. Така технологічна схема мала істотні недоліки, основними з яких були значні трудозатрати, обумовлені необхідністю переливання приготовленого сплаву ковшем з роторної печі в печі опору, підвищені

витрати електроенергії через необхідність перегріву всієї ванни рідкого металу до температури інжекції, складність регулювання температури розплаву, що призводило до кристалізації металу у форсунці або його значного перегріву (понад 900 °С).

Для підвищення продуктивності технологічного процесу, зниження витрат за рахунок застосування ресурсозберігаючих технологій і підвищення рівня автоматизації, було проведено докорінну реконструкцію виробництва. Печі САТ і САК були замінені на піч опору ємністю 1,5 т, оснащену електромагнітним перемішувачем рідкого металу у вигляді окремої магнітодинамічної одиниці (МДО). Роторна газова піч і піч опору встановлені на різних рівнях для переливання розплаву по жолобу.

МДО забезпечує безконтактний силовий вплив на рідкометалевий виток, який є вторинною обмоткою індуктора, шляхом накладення електромагнітних полів, що дозволяє підтримувати необхідні температурні і гідродинамічні режими розплаву у тиглі печі опору. МДО (рис. 1) являє собою П-подібний горизонтальний канал з відкритою вертикальною ділянкою для встановлення форсунки. Канал охоплює індуктор, який складається з Ш-подібного магнітопровода і котушки, розташованої на центральному стрижні. МДО встановлена на передній стінці печі опору. Напряга живлення перемішувача — від 220 до 380 В, частота — 50 Гц, максимальна потужність — 55 кВт.

За відомою методикою [1] були проведені експериментальні дослідження напрямку і швидкості руху розплаву при максимальній потужності індуктора. Картина руху металу в тиглі печі в горизонтальній, середній по висоті металу площині (рис. 2), узгоджується з теоретичним аналізом руху металу [2]. Швидкість руху розплаву на виході з гирла каналу в тигель і вхід в канал складала відповідно 1,4 м/с і 1,25 м/с. Біля передньої стінки тигля розташована вихрова структура, що приводиться в рух потоком металу, що рухається по кільцю. При цьому максимальна швидкість

руху в ній становить 0,8 м/с, і в міру наближення до стінки тигля вона знижується до 0,4 м/с. На відстані 2/3 довжини тигля від гирла каналів спостерігається два протилежно спрямовані вихори, швидкість руху в яких зменшується з 1 до 0,3 м/с по мірі віддалення від гирла. Біля задньої стінки тигля швидкість руху металу становить 0,1-0,15 м/с. Таким чином, практично весь об'єм розплаву в печі перемішується без утворення застійних зон.

Футеровка каналу МДО виконана з волограну [3], який має високу вогнетривкість (1883 К), низькі щільність (1300 кг/м³) і теплопровідність (0,16 Вт/м · К) [4] та високу хімічну стійкість до рідких алюмінієвих сплавів. Футеровка каналу, виконана з цього вогнетриву, має низьку схильність до заростання оксидами. Однак, в процесі промислової експлуатації печі опору з МДО виникла проблема просочення футеровки каналу металом, яке досягало глибини 15 мм. Найбільша глибина просочення стінок каналу спостерігалася в зоні розташування магнітопроводу індуктора, що пояснюється наявністю в цій області електромагнітних сил максимальної щільності, утворених взаємодією струму в металі з полем розсіювання індуктора і власним магнітним полем. Крім того, просочений металом шар футеровки є електропровідним, що значно знижує енергетичні показники МДО. Ця проблема була вирішена зміною рецептури футерувальної маси, що дозволило збільшити термін служби каналу з 3 до 8 місяців.

Застосування постійного електромагнітного перемішування розплаву виключило його перегрів у тиглі печі і стабілізувало температуру в межах 790 ± 10 °С. При цьому, за рахунок місцевого перегріву розплаву в рідкометалевому витку кільцевого горизонтального каналу температура металу в зоні інжекції складала 840-850 °С. Стабілізація температурних режимів інжекції розплаву дозволила виключити кристалізацію розплаву у форсунці і підвищити термін її служби. Зниження температури інжекції на 50-60 °С дозволило зменшити окиснення часток порошку, що підвищило його якість. Проведена модернізація виробництва підвищила виробничу потужність одержання порошку алюмінієвих сплавів з 300 до 500 кг/годину.

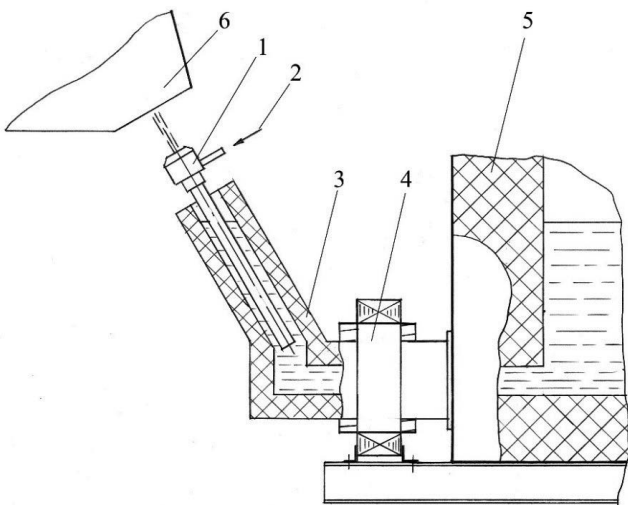


Рис. 1. Схема МДО, встановленої на печі опору: 1 — форсунка; 2 — стиснене повітря; 3 — канал; 4 — індуктор; 5 — піч опору; 6 — бункер для порошку

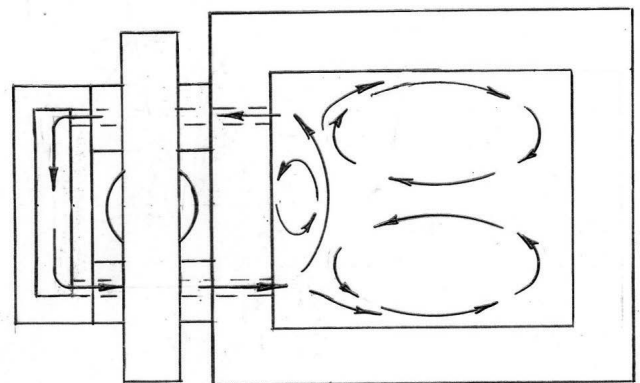
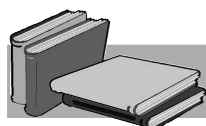


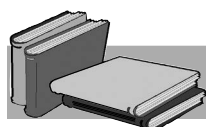
Рис. 2. Схема руху рідкого металу в тиглі печі опору при електромагнітному перемішуванні



ЛІТЕРАТУРА

1. Гориславец Ю.М., Глухенький А.И. Определение скорости вращательного движения жидкого металла в устройстве непрерывного рафинирования. *Техническая электродинамика*. 2008. № 6. С. 60-64.
2. Тир Л.Л., Столов М.Я. Электромагнитные устройства для управления циркуляцией металла в электропечах. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Металлургия, 1991. 280 с.
3. А. с. 669710 СССР, МКИЗ СО4В 35/80. Шихта для изготовления огнеупорного материала / В.П. Полищук, Л.П. Пужайло. Опубл. 15.06.81. Бюл. № 22.
4. Пужайло Л.П., Блохина С.В., Прохоренко Л.Н. Исследование теплофизических и эксплуатационных свойств вологран — нового материала для футеровки МДН. Применение магнитодинамических установок в литейном производстве. Тезисы республиканского научно-практического семинара. Уфа, 1980. С. 105-107.

Надійшла 27.04.2023



REFERENCES

1. Horyslavets, Yu.M., Hlukhenkyi, A.I. (2008). Determination of the speed of rotational motion of liquid metal in a continuous refining device. *Technical Electrodynamics*, no. 6, pp. 60-64 [in Russian].
2. Tir, L.L., Stolor, M.Ya. (1991). Electromagnetic devices for controlling metal circulation in electric furnaces. 2nd edition as restated and supplemented. Moscow: Metallurgiya, 280 p. [in Russian].
3. A. s. 669710 USSR, MKIZ CO4V 35/80. Slag for the manufacture of refractory material. Polishchuk V.P., Puzhailo L.P. Published on June 15, 1981. Bulletin No. 22 [in Russian].
4. Puzhailo, L.P., Blokhyna, S.V., Prokhorenko, L.N. (1980). Investigation of thermophysical and performance properties of vologran — a new material for MDN linings. Application of magneto-dynamic installations in foundry production. Theses of the Republican Scientific and Practical Seminar. Ufa, pp. 105-107 [in Russian].

Received 27.04.2023

Summary

S.L. Polyvoda, Research Scientist, e-mail: etma@i.ua,
<https://orcid.org/0009-0002-8906-0693>

O.V. Siryi, Chief Designer, <https://orcid.org/0009-0006-7721-5976>

O.M. Hordynia, Chief Technologist, <https://orcid.org/0009-0005-7667-417X>

V.O. Tverdokhvalov, PhD (Engin.), Senior Research Scientist,
 e-mail: tverdohvalov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3756-7639>

O.V. Perekhoda, Chief Technologist, <https://orcid.org/0009-0008-8755-8192>

*Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine
 (Kyiv, Ukraine)*

Effect of electromagnetic melt mixing on the technological process of aluminium powder production

Efficiency of including the operation of electromagnetic stirring is shown on example of aluminium powder production modernization. The existing technological scheme was characterized by inefficiency due to the need to pour the melt with a ladle from the rotary furnace to the resistance furnaces, increased electricity costs due to the need to overheat the entire bath of liquid metal to the injection temperature, and the difficulty of adjusting the temperature of the melt, which led to the metal crystallization in the nozzle or required its significant overheating above 900 °C. Due to modernization, the intermediate resistance furnaces were replaced by a resistance furnace with a capacity of 1.5 tons, equipped with an electromagnetic stirrer of liquid

metal. This led to an increase in the production productivity, decrease in energy costs and an increase in the level of automatization. Stirring system provides a non-contact influence on the liquid metal and allows to maintain the necessary temperature and hydrodynamic regimes of the melt in the crucible of the resistance furnace. To form a stirrer channel, a mixture based on vologran was used. It has high heat resistance, low density and thermal conductivity, high chemical resistance to liquid aluminium alloys and low tendency to oxides overgrowth. The use of melt electromagnetic stirring eliminated its overheating in crucible and stabilized the temperature near point of $790 \pm 10^\circ\text{C}$. At the same time, the temperature of a metal in the injection zone was $840\text{-}850^\circ\text{C}$. Stabilizing the temperature regimes of melt injection made it possible to exclude its crystallization in the nozzle and increase its service life. Lowering the injection temperature by $50\text{-}60^\circ\text{C}$ made it possible to reduce the oxidation of powder particles, which increased its quality. Modernization of production increased the production capacity of aluminium alloy powder from 300 to 500 kg/hour.

Keywords

Aluminium alloys, electromagnetic stirring of the melt, injection, production of aluminium powder, modernization of production.