

Yuriy Kuleshkov, Prof., DSc., Mikhail Krasota, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Timofey Rudenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Alexander Matvienko, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Application of micro-arc oxidation for a part hardening made of aluminium alloys and repaired by plastic deformation

The objective of the research is to analyse the scientific and technical information on hardening of parts of aluminium alloys by micro-arc oxidation, particularly the parts, which were repaired by hot plastic deformation.

This article presents the analysis of the possibility to apply a new method of hardening of working surfaces of parts by micro-arc oxidation to increase wearability of working surfaces of the parts made of aluminium alloys, in particular the bodies of gear pumps. The work presents the essence of the process of hardening of details by micro-arc oxidation and the main physical and chemical characteristics of the hardening coating. It was stated that the adhesive strength and mechanical characteristics of the coating largely depend on the condition of the surface under hardening, in particular on the method of preparatory processing.

It was established that the hardening coating of metal after plastic deformation gets better adhesive strength, thickness and hardness. The work presents basic information on micro-arc oxidation which will facilitate further application of the hardening method in repair industry.

micro-arc oxidation, hardening of aluminium alloys, plastic deformation, adhesive strength, wearability, micro-hardness of coating, ceramic metal

Одержано 25.01.17

УДК 621.74

В.М. Ломакін, доц., канд. техн. наук, В.В. Клименко, проф., д-р техн. наук, А.В. Ломакін

Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

E-mail: spherical@mail.ru

В.І. Дубодєлов, проф., д-р техн. наук, М.С. Горюк, ст. наук. сп-к., канд. техн. наук

Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, м.Київ, Україна

Дослідження впливу температури і швидкості руху розплаву на процес розчинення легуючих добавок в рідкому чавуні

Досліджено та вивчено вплив тепло-кінетичних та масо-обмінних процесів в магнітодинамічному міксері-дозаторі моделі МДН-6Ч на швидкість розчинення ферохрому у рідкому чавуні. Виконано розрахунки конвективної дифузії хрому та експериментальним шляхом встановлено раціональний режим роботи магнітодинамічної установки при отриманні розплавів легованого чавуну легований чавун, хром, магнітодинамічний міксер, конвекція розплаву, дифузія

В.Н. Ломакин, доц., канд. техн. наук, В.В. Клименко, проф., д-р техн. наук, А.В. Ломакин

Кировоградский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина

В.И. Дубоделов, проф., д-р техн. наук, М.С. Горюк, ст. наук. с-к, канд. техн. наук

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев, Украина

Исследование влияния температуры и скорости движения расплава на процесс растворения легирующих добавок в жидком чугуна

Исследовано и изучено влияние тепло-кинетических и массообменных процессов в магнитодинамическом миксере-дозаторе модели МДН-6Ч на скорость растворения феррохрома в жидком чугуна. Выполнены расчеты конвективной диффузии хрома и экспериментально установлен рациональный режимы работы магнитодинамической установки при получении расплавов легированного чугуна

легированный чугун, хром, магнитодинамический миксер, конвекция расплава, диффузия

Постановка проблеми. На стадії отримання хромового чавуну визначальними є теплові і фізико-хімічні процеси, що протікають між введеними добавками ферохрому і металевим розплавом.

В діючих технологіях питанням якісного приготування розплавів хромового чавуну приділяється недостатня увага. Незважаючи на значну конвекцію рідкого металу в промислових печах швидкість розчинення тугоплавких добавок відносно невелика і в ряді випадків визиває небажані затримки плавок. Самим розповсюдженим способом уведення в розплав невеликих добавок ферохрому пов'язаний із зануренням твердих його шматків у ківш з металом. При цьому для прискорення розчинення і гомогенізації розплав доцільно перемішувати, що здійснити гравітаційним, механічним або пневматичними способами досить складно.

Один із ефективних способів приготування розплавів чавуну, легованого хромом, полягає у застосуванні засобів магнітної гідродинаміки, зокрема магнітодинамічної установки моделі МДН-6Ч, коли метал-розчинник нагнітається по одному з каналів в робочий простір [1]. Доцільність застосування МГД-установки для приготування хромового чавуну пояснюється високим ККД такого агрегату при нагріванні рідкого металу і розчиненні уведеного ферохрому, можливістю здійснення інтенсивного регульованого перемішування чавуну і наступної дозованої його розливки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес засвоєння ферохрому при уведенні в ємність з металевим розплавом складається із трьох одночасних стадій: розчинення, дифузії у граничному шарі і конвективного переносу по об'єму ємності [2]. Спочатку тверда кірка намерзає на шматок ферохрому, а потім плавиться. При цьому тугоплавкий феросплав прогривається за рахунок тепла, що підводиться від рідкого чавуну шляхом конвекції та тепла кристалізації на поверхні. Потім кірка розплавляється і при температурі плавлення ферохрому, набагато вищій ніж металу-розчинника, шматок феросплаву розчиняється без плавлення. Атоми хрому відриваються від кристалічної решітки і переходять в розплав з утворенням поблизу поверхні твердого тіла розчину. При цьому можливе утворення легкоплавких сполук.

Постановка завдання. Задача дослідження полягала у визначенні раціонального поєднання температури металу-розчинника і швидкості подачі розплаву із каналу в робочу ємність установки МДН-6Ч для отримання мінімального часу розчинення ферохрому і максимальної продуктивності при виплавці сплаву з заданою масовою часткою хрому.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення поставленої задачі були виконані розрахунки кінетики розчинення ферохрому в магнітодинамічній установці.

В механізмі розчинення технічних речовин, в даному випадку ферохрому, крім молекулярного переносу має місце технічна ерозія твердого зразка шляхом проникнення розплаву по порам структури в глибину матеріалу і відокремлення цілих зерен. У зв'язку з цим при розрахунку часу розчинення та інших параметрів, що характеризують процес, коефіцієнт D в формулах конвективної дифузії необхідно замінити на ефективний параметр розчинення Φ .

Для розрахунку швидкості розчинення ферохрому в чавуні і оцінки необхідних для реалізації такого процесу параметрів роботи магнітодинамічної установки можуть бути використані результати експериментальних досліджень і аналітичних розрахунків, виконаних в роботі [3]. Зокрема в ній наводяться експериментальні значення ефективних параметрів Φ дифузії хрому, що визначені методом обертового диска з рівнодоступною поверхнею. Зв'язок між питомою швидкістю розчинення і ефективним параметром дифузії хрому виражається наступною емпіричною формулою:

$$V_p = 0.62 \cdot \Phi^{\frac{2}{3}} \cdot \nu^{\frac{1}{6}} \cdot \sqrt{W} \cdot \frac{C_n}{1 - C_n}, \quad (1)$$

де V_p – питома швидкість розчинення зразка ферохрому, кг/(м²с);

Φ – ефективний параметр розчинення, м²/с;

ν – кінематична в'язкість розплаву, м²/с;

W – швидкість обертання диска, хв⁻¹;

C_n – концентрація насичення хрому в залізі.

Час розчинення (τ_p) шматків ферохрому розраховували по відомій емпіричній формулі [3]:

$$\tau_p = \frac{2,6 \cdot \rho_m^{0,5}}{\Phi^{\frac{2}{3}} \cdot \nu^{\frac{1}{6}} \cdot C_n} \cdot \sqrt{\frac{G_0}{U}}, \quad (2)$$

де ρ_m – густина металу-розчинника, кг/м³;

G_0 – маса шматка ферохрому, кг;

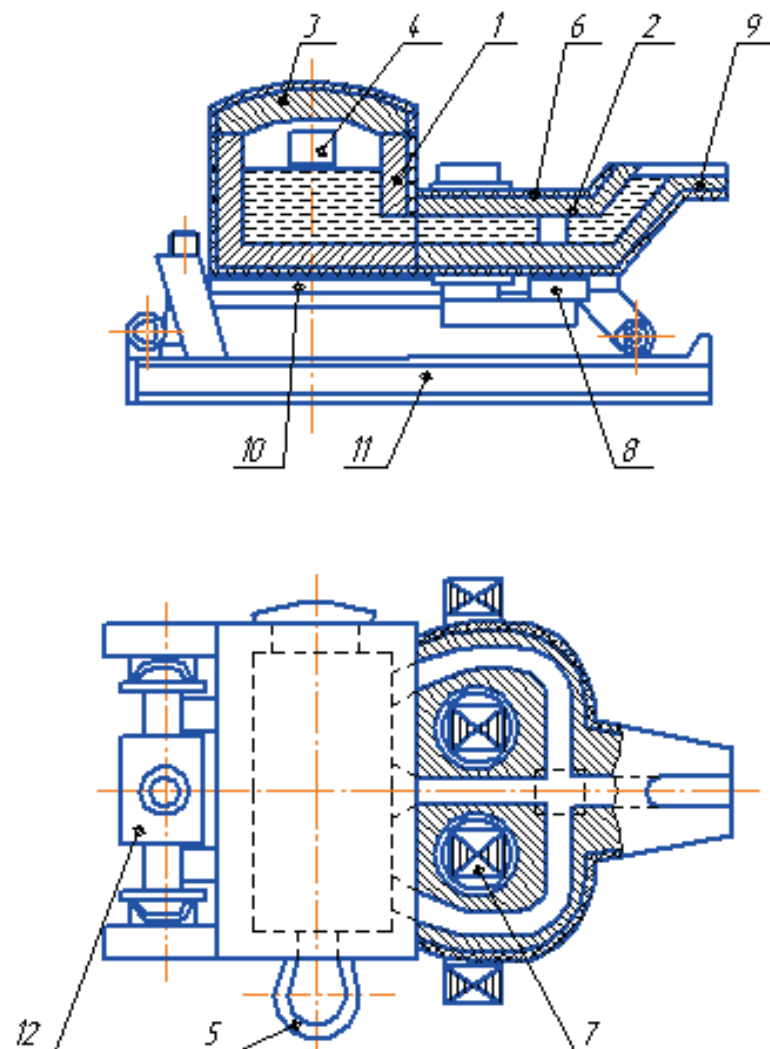
U – швидкість руху металу-розчинника, м/с.

Розрахунки розчинення ферохрому виконані для інтервалу швидкостей циркуляції рідкого металу в системі робоча ємність-канал МГД-установки (0,1–0,5 м/с), що можна отримати в магнітодинамічній установці моделі МДН-6Ч (рис. 1). При цьому було зроблено припущення, що температура розплаву постійна у часі і об'ємі. Результати виконаних розрахунків приведені нижче (рис. 2), при співставленні з експериментальними даними.

В обсяг дослідження входило також вивчення процесу легування чавуну хромом на натурних об'єктах. Чавун хімічного складу: вуглець – 3%, кремній – 2%, марганець – 0,25%, хром – 0,05%, сірка – 0,1%, фосфор – 0,1% виплавляли в дуговій печі ДСП – 6. Перед випуском металу із печі брали пробу на хімічний аналіз і вимірювали температуру чавуну.

Дослідження проводилось з використанням промислової установки МДН-6Ч. Для оцінки впливу електромагнітного перемішування на швидкість розчинення ферохрому і усереднення хімічного складу чавуну, розплав при температурі 1330° С зливали із печі у ківш, а потім заливали в установку МДН-6Ч. Далі розплав нагрівали до температур 1380-1420° С, що рекомендовано в роботі [3]. Зважування необхідної кількості ферохрому проводили з похибкою не більше 1%. Уведення добавок ферохрому здійснювали на поверхню рідкого металу. Замішування в розплав, розчинення і рівномірний розподіл реагенту по всьому об'єму чавуну забезпечувалось при перемішуванні, що створювалося дією електромагнітних сил в МГД-установці.

Потрібний вміст хрому в чавуні складав 0,55-0,60%. Проби на хімічний аналіз відбирались перед завантаженням феросплаву, в процесі його розчинення без електромагнітного перемішування і в процесі розчинення з електромагнітним перемішуванням. Відбір проб виконували із тигля і зливного носка. Вміст хрому в чавуні визначали спектральним методом.



- 1 – тигель; 2 – індукційна магнітодинамічна одиниця; 3 – кришка тигля;
 4 – вікно для скочування шлаку; 5 – жолоб для доливання металу;
 6 – зварний корпус; 7 – індуктор; 8 – електромагніт; 9 – носок для зливу металу;
 10 – рама; 11 – основа; 12 – механізм стабілізації рівня металу

Рисунок 1 – Схема магнітодинамічної установки моделі МДН-6Ч

При виконанні дослідження встановлено, що при завантаженні ферохрому у розплав в робочій ємності установки МДН-6Ч має місце коливання температури. Для зниження таких коливань завантаження шихти виконувалось порціями. Коливання температури при цьому не перевищували $\pm 30^{\circ}\text{C}$.

Результати дослідження представлено в табл. 1.

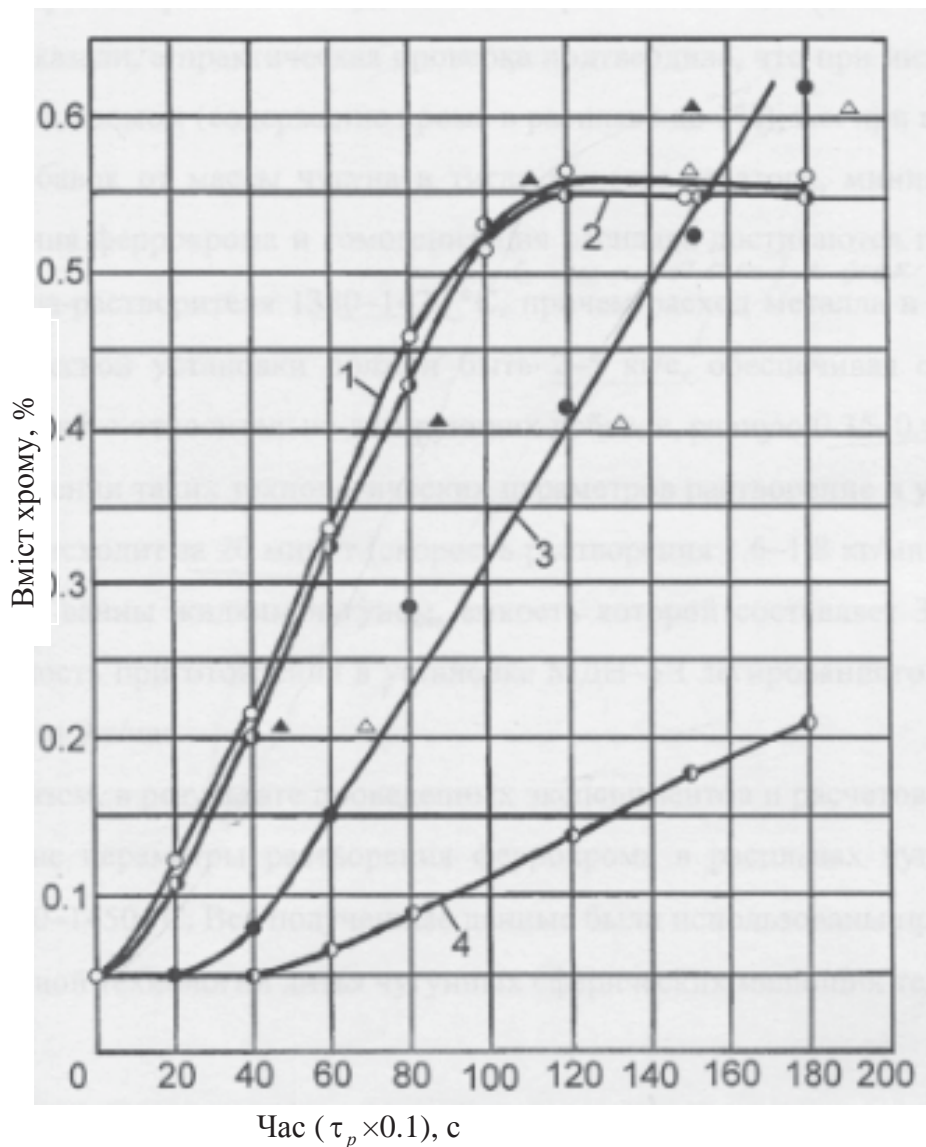
Таблиця 1 – Результати експериментів

Режим роботи МДН-6Ч	Час відбору проб з моменту завантаження феросплаву, ($\tau_{\delta} \times 0.1$), с	Вміст розчиненого хрому у чавуні, мас. %	
		тигель	носок
Нагрівання без електромагнітного перемішування	Вихідний сплав	0,05	0,05
	20	0,05	0,05
	40	0,08	0,05
	60	0,15	0,06
	80	0,29	0,09
	100	0,36	0,12
	120	0,41	0,14
	150	0,52	0,18
	180	0,63	0,21
Нагрівання з електромагнітним перемішуванням (U=0.35-0.45 м/с)	Вихідний сплав	0,05	0,05
	20	0,12	0,11
	40	0,21	0,20
	60	0,34	0,33
	80	0,46	0,43
	100	0,51	0,52
	120	0,56	0,55
	150	0,55	0,55
	180	0,56	0,55

Згідно з даними табл. 1 електромагнітне перемішування рідкого металу ефективно впливає на прискорення процесу засвоєння чавуном хрому.

По отриманим експериментальним даним побудовані криві зміни масової частки хрому (рис. 2) в рідкому чавуні в залежності від часу розчинення ферохрому. Крім того, на тому ж рисунку показані розрахункові значення часу розчинення ферохрому до вмісту 0,2%, 0,4%, 0,55% і 0,60% хрому у чавуні.

Як видно на рис.2 розрахункові значення тривалості засвоєння чавуном тугоплавкого ферохрому добре узгоджуються з експериментальними даними. Розрахунки показали, а практична перевірка підтвердила, що при низькому легуванні чавуну хромом (вміст хрому в розплаві до 1%), мінімальний час розчинення ферохрому і гомогенізація розплаву досягаються при температурі металу-розчинника 1380-1420° С.



- 1 – тигель (з електромагнітним перемішуванням розплаву);
 2 – носок (з електромагнітним перемішуванням розплаву);
 3 – тигель (без електромагнітного перемішування розплаву);
 4 – носок (без електромагнітного перемішування розплаву);
 ▲ – розрахунок (при швидкості перемішування розплаву 0,35-0,45 м/с);
 Δ – розрахунок (при швидкості перемішування розплаву 0,15-0,25 м/с);
 ● – експеримент (без електромагнітного перемішування розплаву);
 ○ – експеримент (з електромагнітним перемішуванням розплаву)

Рисунок 2 – Зміна вмісту хрому в рідкому чавуні

Висновки. В результаті проведених експериментів і розрахунків отримані кінетичні параметри розчинення ферохрому в розплавах чавуну для температур 1350-1450° С. Витрата металу в каналі магнітодинамічної установки має бути ~2-5 кг/с, що забезпечує швидкість руху розчинника відносно шматків легуючих добавок на рівні 0,35-0,45 м/с. При дотриманні таких технологічних параметрів розчинення і засвоєння ферохрому у кількості 35 кг (~0,55-0,6% Cr на бт чавуну-розчинника) відбувається за ~20 хв (швидкість розчинення 1,6-1,8 кг/хв) і продуктивність МДН-6Ч становить ~15 т/год хромового чавуну.

Список літератури

1. Гидродинамика и тепломассообмен процесса усвоения ферросплавов в металлическом расплаве [Текст] / А.С. Носков, А.Л. Завьялов, В.И. Жучков, А.В. Некрасов. – Свердловск: Препр. / АН СССР. Ин-т металлургии, 1987. – 68 с.
2. Физико-химические методы исследования металлургических процессов [Текст] / С.И. Филиппов, П.П. Арсентьев, В.В. Яковлев, М.Г. Крашенников. – М.: Металлургия, 1968. – 551 с.
3. Должиков, А.А. Исследование процессов массопереноса при приготовлении жидких ферросплавов [Текст] / А.А. Должиков, А.М. Верховлюк // Сб. МГД в литейном производстве и металлургии. – К.: ИПЛ АН УССР, 1987. – С. 48-49.

Viktor Lomakin, Assos. Prof., PhD tech. sci., Vasil Klimenko, Prof., DSc., Andriy Lomakin

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Viktor Dubodelov, Prof., DSc., Maksim Goryuk, Assos. Prof., PhD tech. sci.

Physical and technological Institute of metals and alloys academy of sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Investigation of the effect of temperature and speed of movement in the melt dissolution of alloying elements in the molten iron

The aim of the study was to determine the rational combination of the temperature of the metal-solvent and the rate of supply of the melt from the channel to the working capacity of the MDN-6CH unit in order to obtain the minimum dissolution time of ferrochrome and the maximum productivity in smelting the alloy with a given mass fraction of chromium.

It was explored and studied an influence of the heat-kinetic processes on a speed of ferrochromium dissolution in a liquid cast iron in a magnetodynamic mixer-feeder (MDN-6CH). It was done calculations of the chromium's convective diffusion and it was set the rational mode of magnetodynamic installation's operation when this installation was receiving a melt of the cast iron.

Calculations showed a practical test confirmed that at low doping iron with chromium (chromium content in molten less than 1%), minimum duration dissolution and homogenization of molten ferrochrome reached at the metal-solvent at a temperature 1380-1420° C. The consumption of metal in the channel of the magnetodynamic installation should be ~ 2-5 kg / s, which ensures the rate of movement of the solvent relative to the pieces of alloying additives at a level of 0.35-0.45 m/s.

alloy cast iron, chrome, magnetodynamic mixer, melt convection, diffusion

Одержано 19.04.17

УДК 621.432

С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук, С.С. Михайлюта, асп.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна

E-mail: markob0@ukr.net

Аналіз стану та перспективи розвитку технологічних методів зміцнення головок поршнів автотракторних двигунів

В статті розглянуто основні технологічні методи зміцнення головок поршнів автотракторних двигунів: вдосконалення складу і структури алюмінієвих сплавів і технології термічної обробки; застосування високоміцних вставок в зоні кільцевої канавки; розробка прогресивних систем масляного охолодження поршня; армування алюмінієвих сплавів волокнами і дисперсними частинками, створення композиційної структури; розробка прогресивних конструкцій складового поршня; застосування зміцнюючих покриттів. Проаналізовано переваги та недоліки існуючих технологій. Виділено сучасні підходи що до моделі формування іонно азотованих поверхневих шарів, відзначено

© С.І. Маркович, С.С. Михайлюта, 2017