

Підвищення властивостей сплавів алюмінію дією постійного магнітного поля на розплав при твердненні

В. І. Дубодєлов, академік НАН України
О. В. Середенко, кандидат технічних наук
А. С. Затуловський, доктор технічних наук
В. О. Середенко, доктор технічних наук

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

Встановлено умови підвищення властивостей сплавів алюмінію з елементами, що утворюють алюмініди, обробкою постійними магнітними полями. Досліджено їх дію, як на нерухомий розплав, так і той що рухається, у періоди охолодження і тверднення. Визначено перспективи розроблених технологічних процесів, які пов'язані з економією, екологічною безпекою, відсутністю додаткових енергозатрат та електрообладнання.

Сплави алюмінію широко використовуються в якості конструкційних і функціональних матеріалів в сучасній техніці при постійному зростанні вимог до їхніх властивостей. Серед перспективних засобів впливу на якість металовиробів активно розвиваються зовнішні впливи, зокрема, дія постійних магнітних полів, що накладаються на розплав в процесі отримання литих заготовок та деталей. З метою розвитку такого засобу впливу на метал в рамках комплексної теми фонду цільових фундаментальних досліджень Президії НАН України III-33.07.569 виконувався проект “Дослідження обробки алюмінієвих сплавів постійними магнітними полями”.

Вивчали бінарні сплави на основі алюмінію, додатковими компонентами яких, були елементи, що утворюють інтерметалідні сполуки. Дослідження проводились у статичних умовах (нерухомий розплав), при яких тигель з металом переміщувався з печі у зазор електромагніту. Мікротвердість сплавів визначалась за допомогою прибору ПМТ-3. Триботехнічні випробування проводились при терті ковзання по сталевому (65Г) контртілу із застосуванням мастильного матеріалу (індустріальної оливи). Стійкість сплаву до корозії досліджувалась згідно ГОСТ 9.021-74.

У роботі використовувались піч електроопору, експериментальна установка на базі електромагніту постійного струму з системою керування і контролю часових, термічних, електричних і магнітних параметрів. Також у дослідженнях застосовувався металографічний метод, світловий та електронний мікроскопи, методи хімічного, спектрального і мікрорентгеноспектрального аналізу.

* В роботі приймали участь к.т.н. Косинська А.В., Богатирьова Ж.Д., Паренюк О.А.

Дія магнітного поля з різною індукцією на метал характеризувалась безрозмірним числом Гартмана (критерій Ha), що поєднувало параметри магнітного впливу і властивостей сплавів (питомого електричного опору, щільності та в'язкості) [1].

Було вивчено вплив постійного магнітного поля на величину мікротвердості зерен б-твердого розчину Al бінарних сплавів та їх зносостійкість. Зміну вказаних властивостей зафіксовано за допомогою безрозмірних співвідношень (симплексів) K_H і K_I . Для мікротвердості $K_H = H_{\mu 0} / H_{\mu i}$, де $H_{\mu 0}$ – мікротвердість сплаву, необробленого магнітним полем, (контрольного), $H_{\mu i}$ – мікротвердість сплаву, обробленого магнітним полем, при різних (i) рівнях його впливу. Відповідно симплекс зносостійкості $K_I = I_0 / I_i$, де I_0 – зносостійкість контрольного сплаву, I_i – зносостійкість сплаву, обробленого магнітним полем, при різних рівнях (i) його впливу.

В якості прикладу встановлених залежностей симплексів властивостей сплавів від величини критерія Гартмана на рис. 1 і 2 наведено дані для кількох експериментальних сплавів.

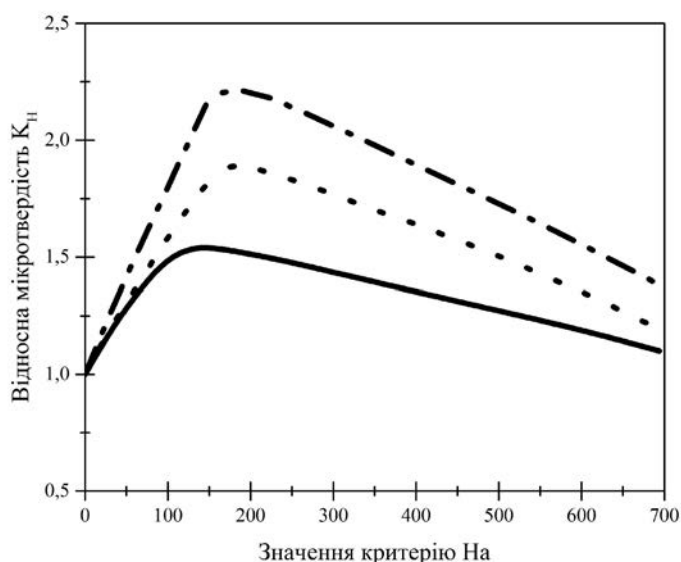


Рис. 1. Залежність відносної мікротвердості (K_H) алюмінієвих сплавів від дії постійного магнітного поля, що характеризується значеннями критерія Ha .

На рис. 1 та рис. 2 видно, що криві являють сім'ю ланцюгових ліній з однаковим рівнем початку і різними рівнями кінців. Залежності, що відображені на рис. 1, є зворотними, а на рис. 2 звичайними ланцюговими лініями. При таких умовах екстремальні значення функцій знаходяться математичними методами і потребують визначення багатьох параметрів, що значно ускладнює розрахунок [2]. Експериментально визначено, що для досліджених сплавів максимальні значення мікротвердості і мінімальні показники зносу досягається у діапазоні чисел $135 < Ha < 215$.

Дані по властивостям сплавів, що вивчалися у рамках зазначеної теми, були доповнені дослідженнями впливу магнітного поля на характер

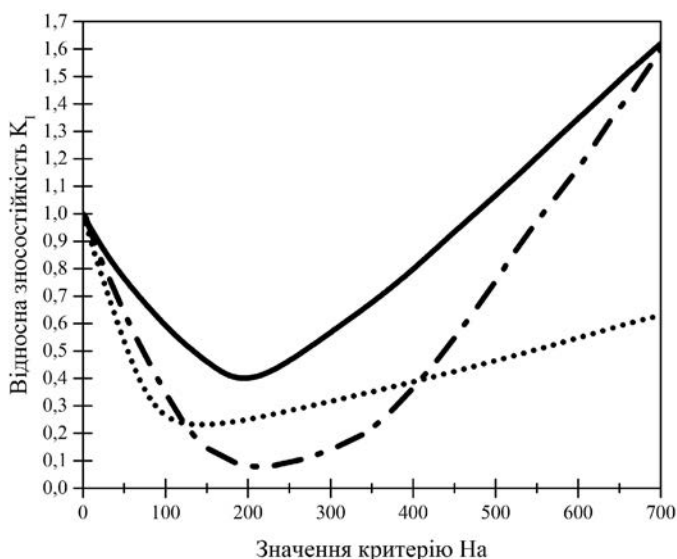


Рис. 2. Залежність відносної зносостійкості (K_r) алюмінієвих сплавів від дії постійного магнітного поля, що характеризується значеннями критерію Na .

корозійних уражень сплаву типу ВАЛ 14, що не містив шкідливої домішки Cd. Під дією магнітного поля у діапазоні $0 < Na \leq 700$ зменшувалась кількість зон підповерхневого корозійного ураження. Найбільшим чином – до 3,6 рази число уражень знизилось при $50 < Na < 100$.

У подальшому досліджували сплави алюмінію перитектичної системи з компонентами (Mn, Cr, Ti, Zr), що входять у групу найбільш поширених перехідних металів, які застосовуються у промислових сплавах. Визначено, що одним з перспективних методів зовнішніх впливів, що діють на формування структури, яка забезпечує рівень властивостей, у тому числі спеціальних, у перед- та кристалізаційний періоди, є накладання постійного магнітного поля на метал, що охолоджується і твердне в процесі заливання ливарних форм.

Виділено основні механізми і ефекти впливу постійного магнітного поля на структуроутворення металу в процесі заливання і тверднення (магнітотепловий ефект, явище магнітного охолодження, ефект Зеебека, МГД-ефекти – Гартмана та “гасіння турбулентності”). Для оцінки характеристик процесу дії на метал визначено критерії подібності (Пекле (Pe), Фур’є (Fo), Біо (Bi), Нусельта (Nu), Рейнольдса (Re), Гартмана (Ha), параметра МГД-взаємодії (N), Прандтля магнітного (Pr_m)). Дослідження проводились в умовах, що відповідали значенням $Pe = 130 \dots 1500$; $Fo = 2,7$; $Bi = 0,8$; $Nu = 1,0$; $Re = 9000 \dots 10000$; $Ha = 270 \dots 340$; $N = 1,0 \dots 2,0$; $Pr_m = 2,8 \cdot 10^{-6}$.

Під впливом постійного магнітного поля на сплави алюмінію мікротвердість зерен α -твердого розчину Al збільшилась по відношенню до аналогічної характеристики контрольного сплаву для сплаву Al – $6,4 \pm 0,04$ % Mn на 20 %, Al – $0,102 \pm 0,008$ % Zr на 14 %; Al – $3,5 \pm 0,075$ % Cr і Al – $0,23 \pm 0,01$ % Ti на 10 %. Разом з тим в сплавах Al – Ti і Al – Zr

Плавлення і кристалізація

зменшився розмір зерен внаслідок дії магнітного поля відповідно у 2 та 2,5...3,0 рази, крім того в системі Al – Zr розміри інтерметалідів зменшились у 2...5 разів.

Дослідження було доповнено вивченням впливу постійного магнітного поля під час заливання і тверднення на характер корозійних уражень сплаву алюмінію ВАЛ 10 без додавання Cd. При швидкості охолодження розплаву $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ відносна площа поверхні S (відсоток від загальної площі) зразків сплаву, що мали корозійні ураження при накладанні магнітного поля ($N = 0,6$; $Na = 51$) зменшилась в 3,5 рази у порівнянні з контрольним сплавом. Підвищення швидкості охолодження до $25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ контрольного сплаву знизило вказаний показник в 3 рази в порівнянні з меншою швидкістю його охолодження ($10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$). Площа поверхні зразків сплаву, ураженої корозією в умовах охолодження зі швидкостями 10 і $25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ при аналогічній дії магнітного поля, зрівнялась. В умовах швидкості охолодження металу $25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ і дії магнітного поля при $N = 2,3$; $Na = 103$ відбулось деяке зростання площі уражень (рис. 3).

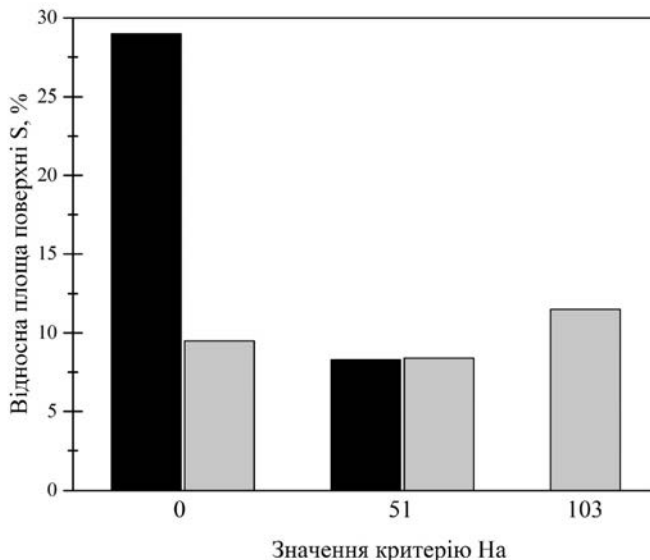


Рис. 3. Залежність відносної площі поверхні ураженої корозією зразків сплаву ВАЛ 10 (без кадмію) від швидкості охолодження і рівня дії постійного магнітного поля.

Таким чином, магнітне поле на корозійні ураження поверхні сплаву діє аналогічно підвищенню швидкості охолодження. Використання магнітного поля, зокрема, доцільно для виливків, частини яких охолоджуються в різних умовах.

На базі отриманих результатів створено наукові основи технологій виготовлення спеціальних сплавів з евтектичною і перитектичною діаграмами стану бінарних і потрійних низьколегованих та легованих алюмінієвих сплавів, оброблених постійним магнітним полем в процесі руху при охолодженні і твердненні. Розроблено технології модифікування матриці сплавів, модифікування інтерметалідних сполук, сумісного модифікування

сплавів алюмінію постійним магнітним полем і активними модифікаторами, що зменшує їх витрату. Основні параметри технологічного процесу: температура металу перед заливкою перевищує температуру ліквідус для сплавів, близьких за складом до евтектичних та до перитектичних, на 150 °С, сплавів з перитектичною та заперитектичною концентрацією компонентів – на 175 °С; температура графітових форм перед заливкою – 20 °С; швидкість входу струменю у розплав 1,1...1,5 м/с; середня швидкість підйому рівня розплаву у формі – 0,03 м/с; середня швидкість охолодження металу до температури кристалізації – 18 °С/с. Параметри розроблених технологій відповідають встановленим значенням чисел подібності (Re, Ha, N, Pe, Fo, Bi), за допомогою яких визначаються технологічні режими обробки сплавів.

Визначено, що перспективи розробленого процесу електромагнітної обробки постійним магнітним полем сплавів на основі алюмінію перитектичної системи, пов'язані, перш за все, із формуванням спеціальних структур сплавів в перед- та кристалізаційному періоді для надання матеріалу нових характеристик. Створення таких структур ґрунтується на проявах дії поля – зменшенні структурних складових, зміні морфології інтерметалідних фаз, підвищенні їх мікротвердості, орієнтуванні інтерметалідів та ін. Використання таких можливостей дії магнітного поля перспективне для створення жароміцних і композиційних матеріалів спеціального призначення. Встановлено факти впливу постійного магнітного поля на легованість матриці, зміну α -фази, зміну розмірів та конфігурації інтерметалідів, що співпадають з процесами, які мають місце у подібних матеріалах при твердненні в умовах дуже високих швидкостей охолодження. Це створює можливість розширення ступеня легування алюмінієвих сплавів. Особливий інтерес представляють ливарні високоміцні та жароміцні алюмінієві сплави, які перевершують деформівні за експлуатаційними температурно-часовими параметрами. До числа таких перспективних матеріалів можуть бути віднесені сплави, леговані та високолеговані марганцем, можливості яких мають значний потенціал, особливо в плані спеціальних властивостей. Цей потенціал може бути реалізовано завдяки застосуванню постійного магнітного поля, оскільки створення високих швидкостей охолодження при твердненні особливо великих виливків та зливків у виробничих умовах не завжди технічно можливо. Перспективи використання розроблених технологій, заснованих на дії слабких постійних магнітних полів, що створюються постійними магнітами, також пов'язані з економією, екологічною безпекою, відсутністю додаткових енергозатрат та електрообладнання.

Література

1. Гельфгат Ю. М., Лиелаусис О. А., Щербинин Э. В. Жидкий металл под действием электромагнитных сил. – Рига: Зинатне, 1975. – 248 с.
2. Меркин Д. Р. Введение в механику гибкой нити. – Москва: Наука, 1980. – 240 с.

References

1. Gel'fgat Yu. M., Lielausis O. A., Shcherbinin E. V. *Zhidkiy metall pod deystviem elektromagnitnykh sil* (Liquid metal under the influence of electromagnetic forces), Riga: Zinatne, 1975, 248 p. [in Russian].
2. Merkin D. R. *Vvedenie v mekhaniku gibkoy niti* (Introduction to flexible thread mechanics), Moskva: Nauka, 1980, 240 p. [in Russian].

Одержано 01.10.18

В. И. Дубоделов, Е. В. Середенко, А. С. Затуловский, В. А. Середенко

Повышение свойств сплавов алюминия действием постоянного магнитного поля на расплав при затвердевании

Резюме

Определены условия повышения свойств (микротвердости, износостойкости, коррозионной стойкости) сплавов алюминия с металлами, образующими алюминиды, обработкой постоянными магнитными полями. Исследовано их действие, как на неподвижный расплав, так и тот, что движется в периоды охлаждения и затвердевания. Установлены факты влияния постоянного магнитного поля на изменение α -фазы, изменение размеров и конфигурации интерметаллидов, повышения эффективности модификаторов. Аналогичные структурные изменения происходят при повышении скоростей охлаждения. Определены перспективы разработанных технологических процессов, связанные с возможностью экономии модификаторов, экологической безопасностью, отсутствием дополнительных энергозатрат и электрооборудования.

V. I. Dubodelov, Ye.V. Seredenko, A. S. Zatulovskyi, V. A. Seredenko

Increase of properties of aluminum alloys by the action of a permanent magnetic field on melting at solid state

Summary

Conditions of increase of properties (microhardness, wear resistance, corrosion resistance) of aluminum alloys with metals forming aluminides, processing by constant magnetic fields are determined. Their effect is studied, both on a stationary melt, and on that which moves during periods of cooling and hardening. The facts of the influence of a constant magnetic field on the change of the α -phase, the change in the size and configuration of intermetallics, and the increase in the efficiency of the modifiers are established. Similar structural changes occur with an increase in cooling rates. The prospects of the developed technological processes, which are connected with the possibility of economy of modifiers, ecological safety, absence of additional energy inputs and electrical equipment, are determined.