

## *Мікронеоднорідність зерен алюмомідного сплаву при твердненні у слабкому постійному магнітному полі*

В. О. Середенко, доктор технічних наук

О. В. Середенко, кандидат технічних наук

А. В. Косинська, кандидат технічних наук

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

*Визначено, що в алюмомічному сплаві слабке постійне магнітне поле з індукцією 0,1, 0,25, 0,75 і 1,00 Тл зменшує значення мікротвердості і збільшує їх однорідність в усіх зонах окремих зерен сплаву, а з індукцією 0,50 Тл в зоні 2/3 відстані від центру зерна за напрямком до його границі збільшує мікротвердість і зменшує однорідність її значень у всіх зонах зерен. Показано, що метод вимірювання мікротвердості можна застосовувати для якісної оцінки зміни вмісту міді у зернах основи сплаву, обробленого магнітним полем\*.*

Властивості сплавів залежать від кількості і однорідності розподілу легуючих елементів у їх зернах [1]. При аналізі особливостей формування литої структури сплавів евтектичної системи на прикладі сплаву Ag – 7,5 % Cu (вміст міді в евтектичній точці 28,5 %), було показано, що у дендритах сплаву виникають ліквацийні ділянки – центральні, багаті на срібло, та оточуючі їх ділянки з підвищеним вмістом міді [2]. Збільшення вмісту легуючих елементів і зниження ліквачії у дендритних чарунках сплаву, з метою підвищення його властивостей (у тому числі високоміцних сплавів АЛ 19 і ВАЛ 10) досягається перерозподілом компонентів між зернами і міжзеренними об'ємами сплавів за допомогою прискореного охолодження і термообробки [1 – 3]. Для оцінки неоднорідності розподілу елементів по зерну сплаву, зміни складу фаз широко використовується визначення мікротвердості [1, 4, 5]. Мікротвердість залежить від багатьох факторів: складу сплаву, орієнтації і розмірів його зерен, якості обробки поверхні шліфа, величини прикладеного навантаження [6, 7].

Відомо, що накладання сильного постійного магнітного поля на сплав, що охолоджується і твердне може привести до пригнічення сегрегації елементів добавок в зернах його основи і цей прояв дії поля носить складний характер [8]. При вивченні впливу слабого постійного вертикального магнітного поля з індукцією В 0,045, 0,090, 0,135, 0,180, 0,225 і 0,275 Тл на мікротвердість дендритів  $\alpha$ -твердого розчину у безперервнолитих зливках сплаву алюмінію АЛ4 було відмічено деяке її збільшення (~ 18 %), що пов'язували з підвищенням розчинності кремнію, марганцю і заліза в основі сплаву [9]. Однак в роботі не приведено залежності зміни мікротвердості різних зон окремих зерен сплаву

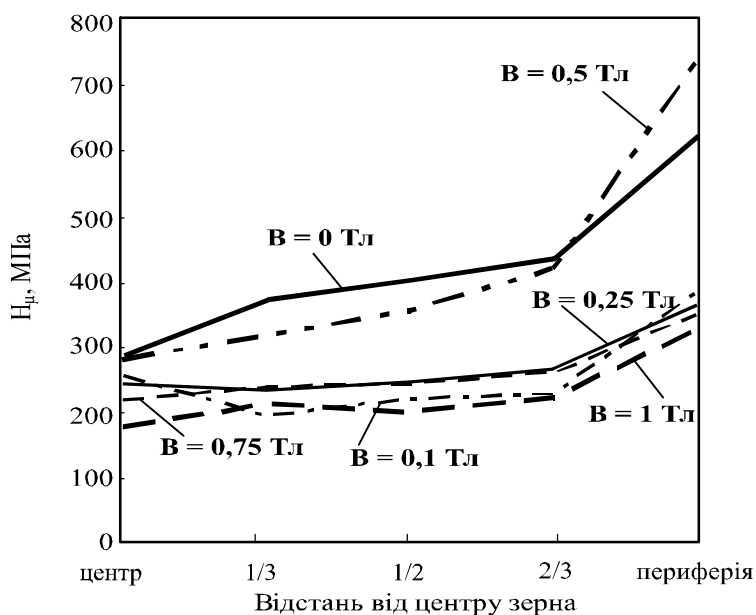
\* В роботі брала участь О. А. Набока

для розглянутих значень індукції магнітного поля. Як показали результати досліджень впливу слабого магнітного поля на вміст міді у зернах сплаву Al – 3,5 % Cu, її кількість збільшується при індукції  $B = 0,25$  Тл і зменшується при  $B = 0,50$  Тл порівняно зі сплавом, не обробленим магнітним полем, за рахунок перерозподілу міді між його зернами і міжзеренними об'ємами [10].

Метою даної роботи було дослідження дії слабого постійного магнітного поля на мікротвердість різних зон окремих зерен алюмінієвого сплаву типу ВАЛ без екологічно небезпечного кадмію, з меншою кількістю міді ( $\leq 3,7$  %). Решта елементів марганець, титан і цирконій була характерна для легуючих у сплавах ВАЛ, але їх вміст був малий ( $\leq 0,05$  %) і вони не чинили суттєвого впливу на мікротвердість зерен. Домішки заліза і кремнію відповідали їх концентраціям у промислових сплавах ( $< 0,2$  %). Зразки сплаву були закристалізовані без (контрольні) і під дією слабого постійного магнітного поля з індукцією 0,10, 0,25, 0,50, 0,75 і 1,00 Тл. Швидкість охолодження сплаву складала  $\sim 1$  °C/с, що характерно для звичайних засобів лиття. Зі зразків сплаву виготовляли шліфи, які після травлення в 1 % розчині фтороводневої кислоти в суміші етилового спирту (30 %) і дистильованої води (70 %) досліджували на металографічних мікроскопах METAM-P1, Neophot-2 і приладі ПМТ-3 для вимірювання мікротвердості при навантаженні 5 г.

Встановлено, що під впливом постійного магнітного поля змінився середній розмір зерен сплаву, який склав при  $B = 0,10, 0,25, 0,50, 0,75$  і 1,00 Тл відповідно 62,1, 64,4, 62,4, 51,6 і 54,1 мкм. Тобто, середній розмір зерен сплаву зменшився від 5 до 24 % порівняно зі сплавом, не обробленим постійним магнітним полем. Тому дослідження мікротвердості проводили у найбільших перерізах зерен сплаву з розмірами  $\sim 100$  мкм на площині шліфів. Зерна сплаву досліджували в зонах: центр, на відстані  $1/3, 1/2$  і  $2/3$  від центру, а також на периферії зерна на відстані  $\sim 5$  мкм від його границі. Значення мікротвердості ( $H_{\mu}$ ) зон зерен сплаву, обробленого і необробленого постійним магнітним полем, наведено на рисунку.

З рисунку видно, що слабке постійне магнітне поле призводить до зміни мікротвердості в різних ділянках зерен сплаву. Мікротвердість зерен сплаву для всіх зразків зростає від центра до периферії. В порівнянні зі сплавом, не обробленим постійним магнітним полем мікротвердість зменшується при накладанні магнітного поля, крім випадку  $B = 0,5$  Тл. Під впливом магнітного поля з індукцією  $B = 0,5$  Тл мікронеоднорідність зерен сплаву збільшується. Різниця у значеннях  $H_{\mu}$  для периферії і центра зерен сплаву при  $B = 0$  Тл складала 2,2 рази. З ростом індукції магнітного поля ця різниця змінилась: характеристика мікротвердості зменшилась у 1,5 – 1,6 рази для  $B = 0,10, 0,25$  і 0,75 Тл, та у 1,9 рази для  $B = 1,00$  Тл і зросла в 2,7 рази при обробці сплаву магнітним полем з індукцією 0,50 Тл. Під впливом магнітного поля мікротвердість в центральній зоні зерен сплаву знижується. Порівняно зі зразками, отриманими при  $B = 0$  Тл, у найбільшому ступені – в 1,6 рази ( $B = 1,00$  Тл) і у найменшому – в 1,02 рази ( $B = 0,50$  Тл). Для решти значень індукції магнітного поля дана зміна складала 1,1 – 1,3 рази. На периферії зерен найбільше падіння значення  $H_{\mu}$  порівняно з контрольними зразками було відмічено при  $B = 1,00$  Тл – у 1,9 рази. Така зміна величини мікротвердості



Зміна мікротвердості в зонах зерен алюмомідного сплаву під впливом слабкого постійного магнітного поля

для  $V = 0,10, 0,25$  і  $0,75$  Тл була відповідно 1,6, 1,8 і 1,7 рази. В результаті дії на сплав слабкого постійного магнітного поля з індукцією  $0,50$  Тл, на відміну від інших розглянутих значень  $V$ , мікротвердість зерен сплаву на периферії зростає в 1,2 рази порівняно з металом, отриманим без дії магнітного поля.

На рисунку показано, що характер зміни мікротвердості в зернах сплаву корелює з розподілом вмісту міді у тих самих зонах зерен матеріалу аналогічного складу [10]. Це дозволяє використовувати метод вимірювання мікротвердості для якісної оцінки зміни вмісту міді у зернах основи сплаву.

Накладання слабкого постійного магнітного поля на сплав, що охолоджувався та тверднув при дії індукції від  $0,10$  до  $0,25$  і від  $0,75$  до  $1,00$  Тл приводить до збільшення однорідності значень мікротвердості за перерізом зерен. Магнітне поле з індукцією  $0,50$  Тл підсилює неоднорідність мікротвердості в розглянутих зонах зерен сплаву. У всіх зонах зерен сплаву (за виключенням дії магнітного поля з індукцією  $0,50$  Тл) вона зменшується при обробці постійним магнітним полем у розглянутих інтервалах зміни значень його індукції. Дія магнітного поля з  $V = 0,50$  Тл в зоні  $\sim 2/3$  відстані від центра зерна за напрямком до його границі приводить до зростання значень  $H_{\mu}$  в порівнянні з контрольними зразками.

## Література

1. Аристова Н.А., Колобнєв И.Ф. Термическая обработка литейных алюминиевых сплавов. М.: – Металлургия, 1977. – 144 с.

2. Райнз Ф. Диаграммы фазового равновесия в металлургии. – М.: Металлургиздат, 1960. – 357 с.
3. Добаткин В.И., Елагин В.И. Гранулируемые алюминиевые сплавы. – М.: Металлургия, 1981. – 176 с.
4. Григорович В.К. Твёрдость и микротвёрдость металлов. – М.: Наука, 1976. – 230 с.
5. Абросимова Г.Е., Аронин А.С., Зверькова И.И. // Физика твёрдого тела. – 1998. – 40, № 1. – С. 10 – 16.
6. Боярская Ю.С., Грабко Д.З., Кац М.С. Физика процессов микроидентирования. – Кишинёв: Штиинца, 1986. – 294 с.
7. Мащенко В.И., Дощечкина И.В., Кухарёва И.Е. // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2010. – № 51. – С. 85 – 89.
8. Ren W.L., Ren Z.M., Zhang T. // Proc. 6 th Int. Conf. on Electromagnetic Processing of Materials. – Dresden: Germany, 2009. – P. 792 – 795.
9. Живодёров В.М., Ананченко Т.О. // Литейн. пр-во. – 1986. – № 5. – С. 7 – 8.
10. Середенко О.В. // Металознавство та обробка металів. – 2012. – № 2. – С. 50 – 53.

Одержано 30.01.13

**В. А. Середенко, Е. В. Середенко, А. В. Косинская**

### **Микронеоднородность зёрен алюмомедного сплава при затвердевании в слабом постоянном магнитном поле**

#### **Резюме**

Определено, что в алюмомедном сплаве слабое постоянное магнитное поле с индукцией 0,10, 0,25, 0,75 и 1,00 Тл уменьшает значения микротвёрдости и увеличивает их однородность во всех зонах отдельных зёрен сплава, а с индукцией 0,50 Тл в зоне 2/3 расстояния от центра зерна по направлению к его границе увеличивает микротвёрдость и уменьшает однородность её значений во всех зонах зёрен. Показано, что метод измерения микротвёрдости можно применять для качественной оценки изменения содержания меди в зёрнах основы сплава, обработанного магнитным полем.

**V. A. Seredenko, E. V. Seredenko, A. V. Kosynska**

### **Research of grains microinhomogeneous of the aluminum with copper alloys solidified in weak constant magnetic field**

#### **Summary**

It was determined, that in the aluminum with copper alloy weak constant magnetic field with induction of 0.10, 0.25, 0.75 and 1.00 T reduces the value of microhardness and increases its uniformity in all areas of individual grains of the alloy, and with induction of 0.50 T in the zone of 2/3 distance from the center of a grain toward its boundary increases microhardness and reduces the uniformity of its values for all grain zones. It was shown that the method of measuring the microhardness can be used for qualitative estimation of changes of the copper content in the base alloy grains treated by magnetic field.