

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ КВАЗІКРИСТАЛІЧНОЇ  
ФАЗИ В СПЛАВАХ Al-Cu-Cr**

**С. Б. Піляєва, с.н.с., І. М. Спиридонова, проф., д. т. н., К. В. Устінова, асп.,  
Н. О. Здоровець, м.н.с.**

*Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара*

**Вступ**

Дослідження квазікристалів відносяться до числа активно розвиваючихся напрямків фізики твердого тіла та матеріалознавства. Квазікристали принципово відрізняються від періодично-впорядкованих кристалів відсутністю трансляційної симетрії. Вони мають особливий тип аперіодичного дальнього порядку і можуть мати обертальну симетрію не сумісну з періодичністю. Крім ікосаедричних фаз до таких відносяться аксіальні фази з октагональною та декагональною структурами.

Квазікристалічні фази в системі Al-Cu-Cr є метастабільними і утворюються після загартування з рідкого стану. В деяких випадках до утворення квазікристалів приводить відпал загартованих сплавів. Відомо, що в системі Al-Cu-Cr може бути отримані ікосаедрична та декагональна квазікристалічні фази. В роботі [1] методами рентгеноструктурного аналізу та диференціальної скануючої калориметрії досліджували еволюцію структури сплаву  $Al_{67}Cu_{22}Cr_{11}$  при механічному сплавленні та послідовному відпалі. Нагрів механосплавлених композицій призводить до утворення декагональної квазікристалічної фази. Дослідження фазових рівноваг сплавів Al-Cu-Cr за температур 800-1000 °C виконано в роботі [2]. Показано, що декагональна фаза з цих температур не була виявлена. Однак в цій роботі були представлені ізотермічні перерізи діаграми стану системи Al-Cu-Cr за температур 800-1000°C та рентгенограми однофазних зразків потрійних фаз. Це такі фази, як  $\zeta$  з гексагональною структурою, кубічна  $\beta$ -фаза,  $\kappa$ -фаза, яка подібна до  $\gamma$  фази та має ромбоедричну решітку. В роботі [3] було досліджено сплави складу  $Al_{67}Cu_{20}Cr_{13}$ ,  $Al_{69}Cu_{21}Cr_{10}$ ,  $Al_{65}Cu_{24}Cr_{11}$ ,  $Al_{75}Cu_{10}Cr_{15}$  та  $Al_{78}Cu_{10}Cr_{12}$ . Показано, що для зразків цих сплавів, отриманих механічним сплавленням та відпалених в температурній області 500-600°C, квазікристалічна декагональна фаза є стабільною.

**Методика експерименту**

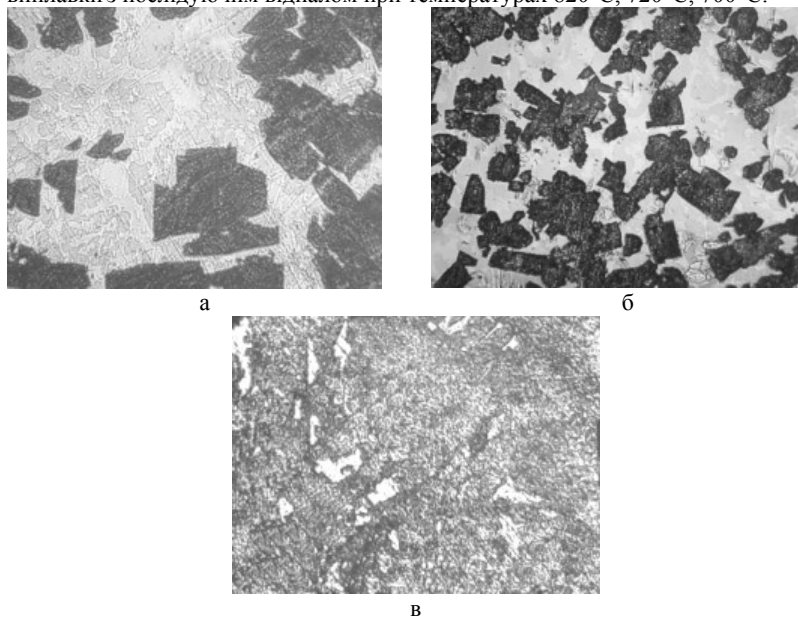
Для перевірки результатів про те, що декагональна фаза може бути стабільною була здійснена спроба здобути сплав системи Al-Cu-Cr складу  $Al_{67}Cu_{22}Cr_{11}$ , що містить квазікристали, звичайними промисловими технологіями. Для цього використовували чисті матеріали: гранульований алюміній марки ЧДА, карбонільний хром та електролітичну мідь. Щоб отримати однорідні за хімічним складом сплави, порошки шихтових матеріалів ретельно перемішували, спресовували та сплавили в печі опору Таммана з графітним нагрівником. Плавки виконували в графітових тиглях. Контроль температури здійснювали за допомогою платино-платинородієвої термопари, яку опускали в розплав в захисній кварцовій оболонці.

Перемішування розплаву здійснювали алундовим стрижнем в процесі плавки не менше трьох разів: після плавлення, в середині 10-15 хвилинної витримки за температури, яка перевищує на 50-100 К температуру лінії ліквідусу, і безпосередньо перед розливанням. Дзеркало розплаву захищали від окислення переплавленою бурою. Розплав розливали у графітовий кокіль нагрітий до температур 700, 720 та 820°C, а потім переносили у муфельну піч, нагріту до відповідних температур, і витримували в печі 2 години. Для стабілізації утворення квазікристалічних фаз здійснювали також термоциклювання сплаву  $Al_{67}Cu_{22}Cr_{11}$  в інтервалі температур 630-1100°C. При температурі 1100°C зразки були повністю розплавлені.

Фазовий склад сплавів визначали методом мікрорентгеноспектрального аналізу на мікроскопі JSM – 6490, а також на оптичному мікроскопі «Неофот - 21». Рентгеноструктурний аналіз проводили за допомогою рентгенівського дифрактометра ДРОН-3 у монохроматизованому  $Cu-K_{\alpha}$  випромінюванні при напрузі  $U = 35$  кВ і анодному струмі  $I = 10$  мА. Для дослідження фізичних властивостей отриманих сплавів використовували діаметричний аналіз за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3 при навантаженні 5Н та витримці під навантаженням не менше 10 секунд.

### Результати експерименту та їх обговорення

На рисунку 1 наведено структури сплавів  $Al_{67}Cu_{22}Cr_{11}$ , отримані після виплавки з послідовним відпалом при температурах 820°C, 720°C, 700°C.



**Рис. 1.** Мікроструктура сплавів системи  $Al_{67}Cu_{22}Cr_{11}$ : а – після відпалу при температурі 820°C; б – після відпалу при температурі 720°C; в – після відпалу при температурі 700°C,  $\times 400$



Мікроструктура сплавів після термоциклічної обробки подібна до мікроструктури сплавів, наведених на рисунку 1,б, але відрізняється зменшенням об'ємної частки квазікристалічної фази – DQC  $Al_{69}Cu_{21}Cr_{10}$ .

Мікротвердість ограненої фази  $\zeta$ -фази ( $Al_{72}Cu_{17}Cr_{11}$ ) складала 11 ГПа, фази DQC з округлою границею поділу – 9,2 ГПа, дендритів із світло-сірим забарвленням  $\kappa$ -фази ( $Al_{67}Cu_{14}Cr_{19}$ ) – 10,4 ГПа.

Мікроструктура сплаву ( $Al_{67}Cu_{22}Cr_{11}$ ) після охолодження і відпалу за температури 700°C характеризується відсутністю  $\zeta$ -фази ( $Al_{72}Cu_{17}Cr_{11}$ ) – огранених кристалів з темним забарвленням і збільшенням об'ємної долі фази DQC ( $Al_{69}Cu_{21}Cr_{10}$ ) (рис. 1, в).

На рисунку 2 представлені дифрактограми сплавів системи  $Al_{67}Cu_{22}Cr_{11}$  після виплавки та послідувочого відпалу при температурах 700°C та після термоциклічної обробки. Результати рентгеноструктурного аналізу показали, що фазовий склад сплаву  $Al_{67}Cu_{22}Cr_{11}$ , що пройшов відпал при температурі 820°C, не містить декагональну квазікристалічну фазу і складається з фаз  $Al_2Cu$ , потрійної гексагональної фази  $\xi$  та  $\kappa$ -фази, що співпадає з результатами мікроструктурного аналізу.

Відпал після виплавки сплавів  $Al_{67}Cu_{22}Cr_{11}$  за температур 700°C та 720°C приводить до утворення квазікристалічної декагональної фази (DQC) (рис. 1 б, в). Термоциклічна обробка пригнічує утворення квазікристалічної декагональної фази DQC  $Al_{69}Cu_{21}Cr_{10}$ .

### Висновки

1. Відпал після виплавки сплавів  $Al_{67}Cu_{22}Cr_{11}$  за температур 700°C та 720°C приводить до утворення квазікристалічної декагональної фази (DQC).

2. Термоциклічна обробка приводить до зменшення об'ємної частки квазікристалічної декагональної фази в порівнянні з результатами, отриманими після виплавки та відпалу за температур 700°C та 720°C.

### Список использованных источников

1. Чердинцев В. В., Е. А. Леонова, С. Д. Калоскин Формирование декагональной квазикристаллической фазы при механическом сплавлении и последующем нагреве сплава  $Al_{67}Cu_{22}Cr_{11}$  // Физика металлов и материаловедение. – 2003. – Т. 95. – №5. – С. 80–87.
2. Grushko B., E.Kowalska-Strzeciwiłk, B.Przepiorzyki, M.Surowiec An investigation of Al-Cu-Cr phase diagram: Phase equilibria at 800-1000°C //Jornal of alloys and compounds. – 2006. – 417. – P. 121– 126.
3. Tcherdyntsev V.V., A. P. Shevchukov, T. A. Sviridova, S. D.Kaloshkin Phase transformation in mechanically alloyed Al-Cu-Cr powders // INCOME 2008. –P.200– 204.