

УДК 669.712.3:669.714(048)

## ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА СТРУКТУРА ЛІГАТУРИ $AlTi_3NC$

*В. М. Рибак, О. В. Шнирко*

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»*

*Розглянуто технологію виготовлення лігатури  $AlTi_3NC$  нетрадиційним способом. Досліджено її структуру, фазовий та хімічний склад. Показано перспективність використання лігатури для легування алюмінію та алюмінієвих сплавів.*

*Рассмотрена технология изготовления лигатуры  $AlTi_3NC$  нетрадиционным способом. Исследовано ее структуру, фазовый и химический состав. Показана перспективность использования лигатуры для легирования алюминия и алюминиевых сплавов*

*The technology of making ligature  $AlTi_3NC$  are considered an untraditional method. Investigate its structure, phase and chemical composition. Perspective of the use of ligature for alloying of aluminium and aluminium alloys is shown.*

### **Вступ**

При виробництві деталей з алюмінію та алюмінієвих сплавів на промислових підприємствах доволі часто використовують оброблення розплавів спеціальними лігатурами, які подрібнюють зерно і дозволяють підвищити фізико-механічні характеристики кінцевих сплавів.

Як відомо, лігатури забезпечують ефективно подрібнення зерна алюмінію та алюмінієвих сплавів за рахунок введення в розплав дрібнодисперсних фаз, які служать додатковими центрами кристалізації. Введення лігатур призводить до покращення механічних властивостей кінцевих сплавів. В промисловості широко використовуються такі лігатури, як  $AlTi$ ,  $AlTiB$ ,  $AlTiC$ ,  $AlTiN$ ,  $AlSr$  різних складів [1, 2, 3, 4].

Для подрібнення первинної кристалічної структури алюмінію давно використовуються лігатури, що містять титан. Невирішеною проблемою є отримання із них дрібнозернистих включень інтерметалідів та однорідного розподілу цих включень. Зазвичай, мікроструктура таких лігатур

складається із різноманітних по формі і розмірам часток інтерметаліду  $Al_3Ti$ . Наявність крупних (більше 1 мм) голчастих включень  $Al_3Ti$  знижує ефективність модифікування [5].

Найбільш універсальною лігатурою вважається лігатура  $AlTiV$ , яка забезпечує ефективне подрібнення зерна алюмінієвих сплавів за рахунок введення в розплав дрібнодисперсних кристалів двобориду титану, які служать центрами кристалізації [6].

Але в деяких випадках, використання лігатури  $AlTiV$  не дає бажаного ефекту. Це відбувається, наприклад, в алюмінієвих розплавах вторинного переплаву, які мають підвищений вміст цирконію або хрому (ефект отруєння часток двобориду титану цирконієм) [7]. Також дану лігатуру не можна використовувати у випадках, коли необхідно повністю виключити тверді інтерметалідні частки в сплаві, наприклад в пластинах для літографії, виробництві фольги і т.д. В даних випадках використовують лігатури  $AlTi$ ,  $AlTiC$ ,  $AlTiN$  [8].

В лігатурі  $AlTi$  титан утворює інтерметаліди  $AlTi_3$ , які мають вигляд блочних включень або голок, що рівномірно розподілені по усій алюмінієвій матриці [9].

Лігатура  $AlTiC$  дозволяє значно збільшити ефект модифікування алюмінієвих сплавів у порівнянні з лігатурою  $AlTi$  [10], але цей ефект спостерігається при легуванні алюмінієвих сплавів з вмістом титану до 0,05 %. Це зумовлено тим, що до вказаної концентрації титану алюмінід титану не утворюється і карбід титану являється єдиним ефективним зародком. При концентраціях титану більше 0,05 % роль карбіду титану як зародка незначна у зв'язку з появою в розплаві великої кількості алюмініду титану, який в більшому ступені задовольняє принципам структурної і розмірної відповідності у порівнянні з карбідом титану [11].

Результати проведених досліджень підтверджують висновки, зроблені в роботі [12], згідно з яких, при введенні в алюмінієвий розплав дисперсних часток  $TiN$  і  $TiCN$ , відбувається їх розчинення в алюмінії, причому азот переходить в розчин  $\alpha-Al$ . Але при цьому дані частки утворюють конгломерати, із декількох кристалів, схожих за своєю морфологією з  $Al_3Ti$ .

Функцію зародка кристалізації алюмінію, який містить дисперсні частки  $TiN$ , виконує складна фаза, в центрі якої розташовано конгломерат із нітридних часток, розташованих в середині оболонки із алюмінатів титану [13, 14].

Отримання лігатур з частками  $TiN$  і  $TiCN$  є технологічно складним і відносно дорогим процесом. Тому в даній роботі показана можливість утворення часток інтерметалідів титану в розплавленому алюмінії нетрадиційним способом.

### **Постановка задачі дослідження**

Як відомо [15], при обробленні карбамідом розплавленого алюмінію, в якому знаходиться деяка кількість розчиненого титану (біля 0,05 %), відбуваються процеси переходу розчиненого в алюмінії титану в дрібнодисперсні фази інтерметалідів титану. Ймовірно, що дані процеси відбуваються внаслідок взаємодії титану з продуктами розпаду карбаміду – азотом і вуглецем. До кінця дані процеси ще не вивчені, але даний ефект можливо використати з метою отримання лігатури з великою кількістю дрібнодисперсних фаз.

Тому задача даної роботи полягає в отриманні лігатури з великою кількістю часток інтерметалідів титану нетрадиційним способом, а також в дослідженні її структури, фазового і хімічного складу.

### **Методика проведення експериментів**

Лігатуру готували за наступною схемою: В індукційній печі ВЧГ4-10/0,44 розмістили 1 кг алюмінію А0. Після розплавлення алюмінію при температурі 900 °С у розплав додали 0,03 кг стружки титану. Після повного розплавлення стружки залили контрольну пробу лігатури AlTi3, а потім додали в піч 0,06 кг карбаміду. Після цього розплав розлили по виливницям та отримали прутки лігатури AlTi3NC діаметром 12 мм.

З отриманих прутків були виготовлені зразки для дослідження лігатури на мікроструктуру, фазовий та хімічний склад.

Мікроструктуру лігатури AlTi3NC та її фазовий склад досліджували на растровому електронному мікроскопі Selmi РЭМ-106И з системою локального мікрорентгеноспектрального аналізу (ЛРСА). Дослідження фазового складу лігатури проводили за допомогою рентгенівських дифрактометрів ДРОН-4 та ДРОН-УМ1.

Хімічний склад отриманої лігатури досліджували методом емісійного спектрального аналізу за допомогою фотоелектричної системи МФС-8, методами хвильової дисперсії та енергодисперсійного аналізу за допомогою растрового електронного мікроскопу РЕММА-101А з мікроаналізатором.

### **Результати досліджень**

Хімічний склад лігатури AlTi3NC у перерахунку на масові відсотки представлений в табл. 1.

**Таблиця 1.** Хімічний склад лігатури AlTi3NC

Масовий вміст елементів, %										
Al	Mg	Si	Mn	Cu	Ti	Fe	Zn	Ni	N	C
основа	-	0,33	0,02	0,02	2,70	0,46	0,06	0,01	0,61	0,13

Спектри лігатури AlTi3NC представлені на рис. 1, 2. Структури - на рис. 3, 4.

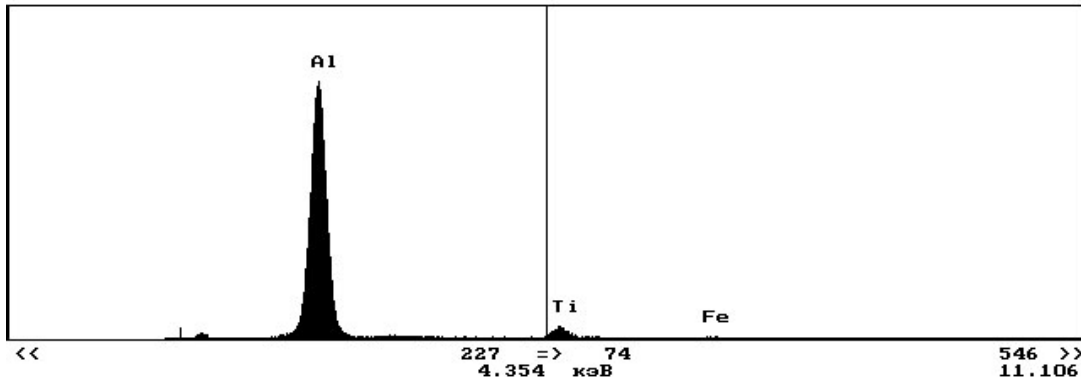


Рис.1 Енергодисперсійний спектр лігатури AlTi3NC

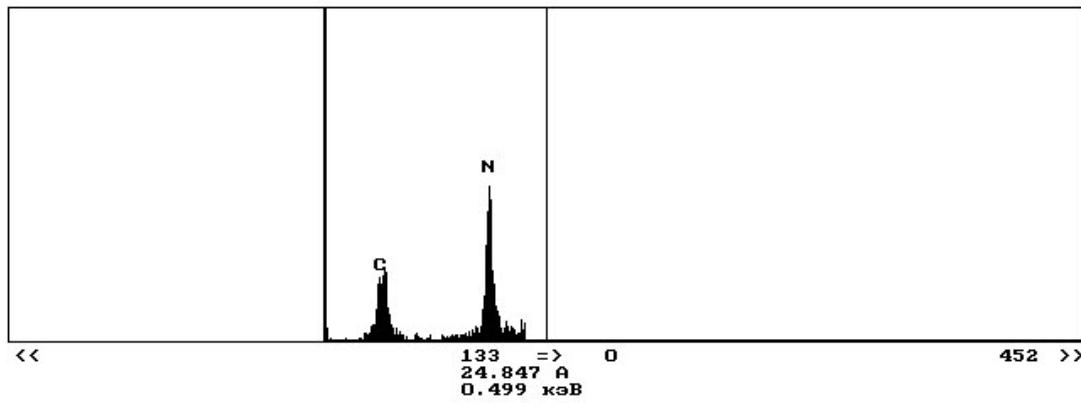


Рис.2 Хвильовий дисперсійний спектр лігатури AlTi3NC

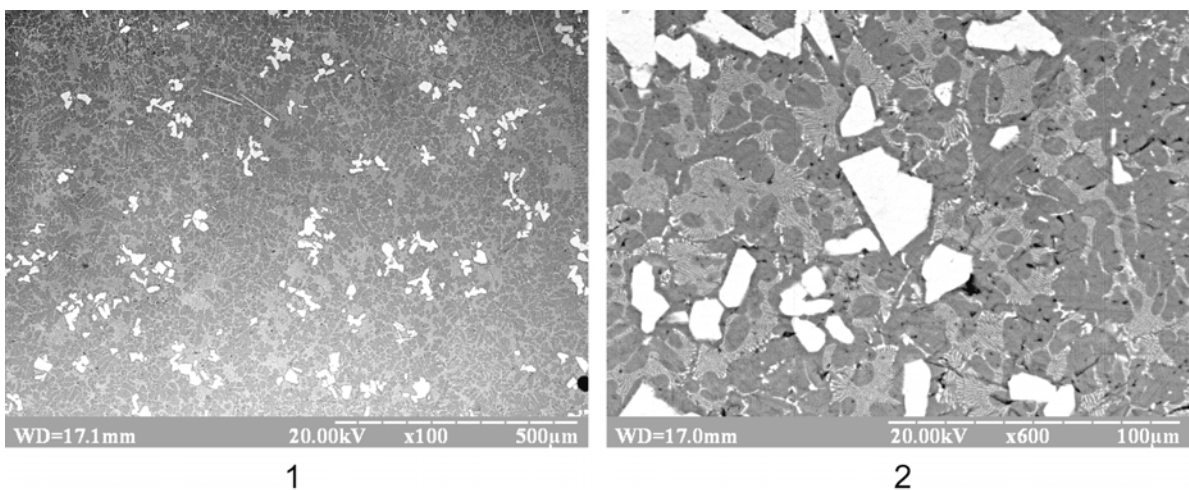


Рис.3 Мікроструктура лігатури AlTi3NC: 1 – x100, 2 – x600

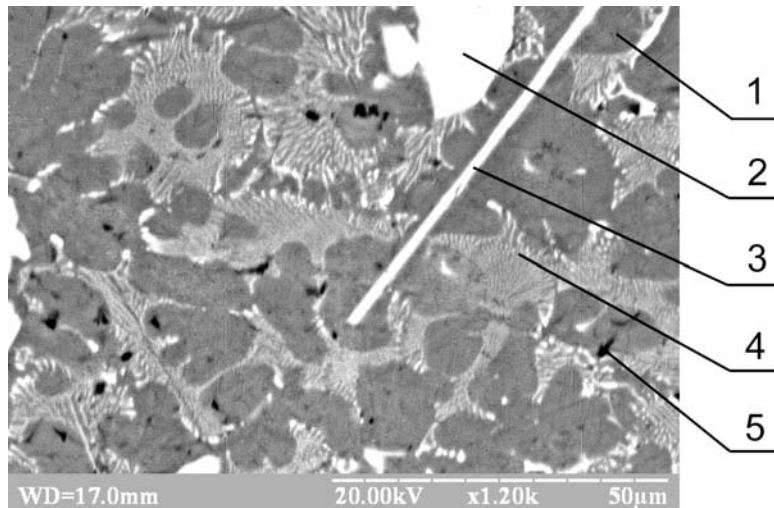


Рис.4 Мікроструктура лігатури AlTi3NC (x1200): 1 –  $\alpha$ -Al твердий розчин; 2 – пластини  $Al_3Ti$ ; 3 – голки AlTi; 4 – евтектика (Al)+(Al<sub>3</sub>Fe); 5 – пора

Локальним мікрорентгеноспектральним аналізом встановлено хімічний склад кожної із фаз. Так,  $\alpha$ -твердий розчин алюмінію складається з 98,23 % Al, 0,95 % Ti, 0,44 % Si, 0,35 % Mg, 0,03 % Cu, пластини алюмінату титану  $Al_3Ti$  - з 71,99 % Al, 26,47 % Ti, 0,95 % Si, 0,27 % Cu, 0,22 % Mg, 0,10 % Fe, голки алюмінату титану AlTi – з 49,85 % Al, 49,29 % Ti, 0,48 % Si, 0,28 % Fe, 0,11 % Mg), евтектика (Al)+(Al<sub>3</sub>Fe) – з 84,36 % Al, 14,31 % Fe, 0,72 % Si, 0,43 % Mg, 0,18 % Ti.

На рис. 5.5 представлена дифрактограма лігатури AlTi3NC, знята за допомогою дифрактометра ДРОН-4.

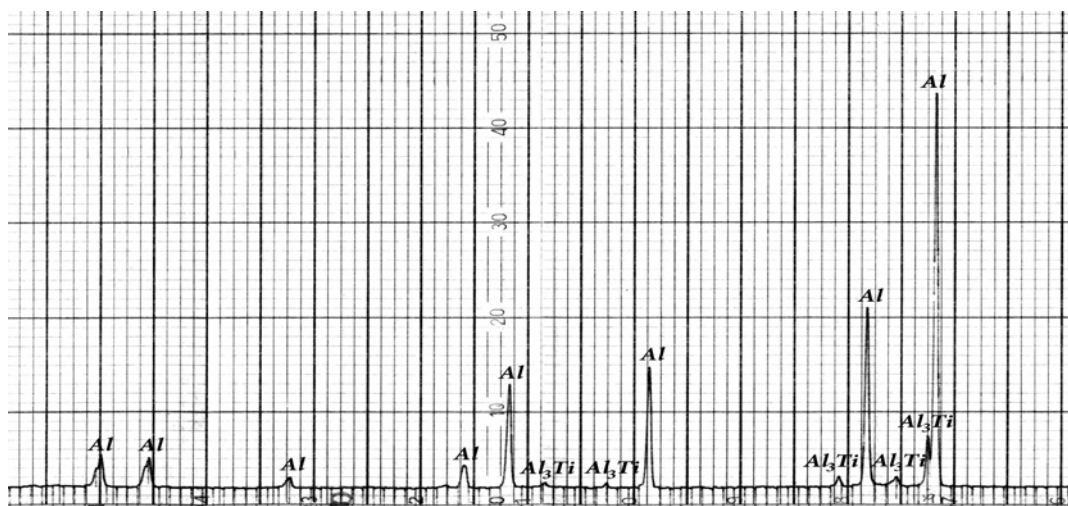


Рис.5 Дифрактограма лігатури AlTi3NC ( $2^\circ/\text{хв.}$ ,  $\lambda\text{CuK}\alpha$ )

Як видно із наведеної дифрактограми, окрім фази чистого алюмінію, чітко видна фаза  $Al_3Ti$ .

У результаті досліджень зразка лігатури на дифрактометрі ДРОН-УМ1 додатково були виявлені сліди оксидів титану  $TiO_2$  та  $TiO$ . Інших можливих фаз нітридів і карбідів не виявлено, можливо через недостатню чутливість приладів. Параметр решітки лігатури дорівнює  $4,051 \text{ \AA}$ .

### **Висновки**

Проведені дослідження свідчать про те, що отримана за допомогою карбаміду лігатура  $AlTi_3NC$  має у своїй структурі велику кількість дрібнодисперсних фаз інтерметалідів титану „правильної”, з точки зору формоутворення, форми. Дані інтерметаліди, при додаванні в алюмінієвий розплав лігатури  $AlTi_3NC$ , повинні виконувати функцію додаткових центрів кристалізації, подрібнювати зерно і підвищувати механічні властивості сплавів.

Наступні дослідження по даній темі необхідно провести в напрямку дослідження впливу отриманої лігатури на структуру і властивості алюмінію.

### **Литература**

1. Бродова И. Г. Взаимосвязь структуры и модифицирующей способности Al-Ti и Al-Zr лигатур при получении отливок из высокопрочных силуминов / И. Г. Бродова, Д. В. Башлыков, Т. И. Яблонских [и др.] // Литейное производство. – 1999. – № 1. – С. 23 – 25.
2. Михаленков К. В. Новые аспекты в применении нитрида титана для упрочнения алюминиевых сплавов / К. В. Михаленков, В. Г. Могилатенко, В. Райф // Процессы литья. – 1997. – № 1. – С. 41 – 49.
3. Михаленков К. В. К вопросу об усвояемости тугоплавких соединений жидкими алюминиевыми сплавами / К. В. Михаленков, Д. Ф. Чернега, В. Г. Могилатенко [и др.] // Процессы литья. – 1996. – № 1. – С. 3 – 10.
4. Колмаков А. И. Исследование возможности введения ультрадисперсных частиц окиси алюминия в алюминий и его расплавы / А. И. Колмаков, В. И. Силаева, Т. В. Соловьева [и др.] // Применение ультразвука в промышленности: Республиканский научно-технический сборник. – М.: Машиностроение, 1972. – С. 72 – 76.
5. Гаврилин И. В. Новые модификаторы для алюминиевых сплавов / И. В. Гаврилин, В. М. Баландин // Литейное производство. – 1993. – № 10. – С. 16 – 17.
6. Коровина Т. А. Применение лигатуры Al-Ti-V для стабилизации механических свойств алюминиевых литейных сплавов / Т. А. Коровина, Г. К. Щербакова, О. Н. Семенова [и др.] // Литейное производство. – 1993. – № 1. – С. 8 – 9.
7. Ливанов В. А. Непрерывное литье алюминиевых сплавов / В. А. Ливанов, Р. М. Габидуллин, В. С. Шипилов. – М.: Металлургия, 1977. – 168 с.
8. Чернега Д. Ф. Свойства вторичных алюминиевых сплавов, модифицированных нитридом титана / Д. Ф. Чернега, З. Бондарек, К. В. Михаленков [и др.] // Литейное производство. – 1991. – № 3. – С. 6 – 7.

9. Гзовский К. Ю. Микролегирование алюминиевых сплавов Al-Ti-C-лигатурой / К. Ю. Гзовский, О. М. Бялик, Л. В. Голуб [и др.] // Литейное производство. – 2001. – № 4. – С. 15 – 17.
10. Михаленков К. В. Модифицирование алюминия титаном, цирконием и лигатурами AlTiB и AlTiC / К. В. Михаленков, Д. Ф. Чернега // Литейное производство. – 2001. – № 4. – С. 17 – 20.
11. Овсянников Б. В. Влияние модифицирования лигатурой TiCAI на свойства слитков и плит сплава В95пч / Б. В. Овсянников // Цветные металлы. – 2003. – № 10. – С. 85 – 88.
12. Могилатенко В. Г. Азотопроницаемость, коэффициент диффузии и растворимость азота в жидком алюминии и сплавах Al-Si / В. Г. Могилатенко // Процессы литья. – 1997. – № 3. – С. 24 – 33.
13. Стеценко В. Ю. О механизме модифицирования силуминов / В. Ю. Стеценко // Металлургия машиностроения. – 2008. – № 1. – С. 20 – 23.
14. Михаленков К. В. Некоторые вопросы получения литых дисперсноупрочненных и композиционных материалов / К. В. Михаленков, В. Г. Могилатенко // Процессы литья. – 1997. – № 4. – С. 51 – 53.
15. Рибак В. М. Технологія рафінування ливарних алюмінієвих сплавів / В. М. Рибак, Д. Ф. Чернега // Наукові вісті НТУУ „КПІ”. – 2009. – № 6. – С. 111 – 115.