

НАНОТЕХНОЛОГІЯ – РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИЙ СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ ВИСОКОЯКІСНОЇ ПРОДУКЦІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

**Калініна Н. Є., д.т.н. професор, Цокур Н. І., аспірантка,
Носова Т. В., к.т.н, доцент, Мороз Я. В., аспірант,
Дніпровський Національний університет ім. Олеся Гончара**

***Анотація.** Встановлено вплив модифікування дисперсними композиціями на структуру та механічні властивості деформованих алюмінієвих сплавів для листових заготовок у машинобудуванні. Досліджено алюмінієві сплави систем Al-Mg, Al-Mg-Sc. Модифікатором досліджуваних сплавів обрано нанодисперсну композицію на основі порошку карбиду кремнію SiC розміром часток 50...100 нм. Проведені промислові плавки сплавів AMg6, 1571, 1420. Розроблено технологічний процес виплавки при оптимальній кількості 0,2% модифікатора від маси розплаву. Встановлено взаємозв'язок зеренної структури модифікованих сплавів з підвищеним комплексом механічних властивостей.*

***Ключові слова:** алюмінієві сплави, наномодифікатор, карбід кремнію, структура, механічні властивості.*

NANOTECHNOLOGY – A RESOURCE-SAVING WAY OF OBTAINING HIGH-QUALITY ENGINEERING PRODUCTS

**Kalinina N. E., Ph.D. Prof., N. I. Tsokur, graduate student,
Nosova T. V., Ph.D., associate professor, Y. V. Moroz, graduate student,
Dnipro National University named by Olesya Honchara**

***Abstract.** The effect of modification with dispersed compositions on the structure and mechanical properties of deformed aluminum alloys for sheet blanks in mechanical engineering has been established. Aluminum alloys of the Al-Mg, Al-Mg-Sc systems were studied. A dispersed composition based on SiC silicon carbide powder with a particle size of 50...100 nm was selected as a modifier of the studied alloys. Industrial smelting of AMg6, 1571, 1420 alloys was carried out. The technological process of smelting was developed with the optimal amount of 0.2% of the modifier from the mass of the melt. The relationship between the grain structure of modified alloys and the increased complex of mechanical properties has been established.*

***Key words:** aluminum alloys, nanomodifier, silicon carbide, structure, mechanical properties.*

Вступ

У напружених конструкціях авіаційної та ракетно-космічної техніки широкого поширення набули деформовані алюмінієві сплави систем Al-Mg, Al-Mg-Sc завдяки вдалому поєднанню комплексу фізико-механічних властивостей, технологічності та корозійної стійкості. Сучасні промислові сплави на алюмінієвій основі мають межу текучості $\sigma_{0,2}$ до 400 МПа, відносне подовження δ до

15% [1,2]. Основними шляхами підвищення механічних властивостей алюмінієвих сплавів є зміцнення твердого розчину, дисперсійне зміцнення, термомеханічна обробка, модифікування [3, 4, 5].

Аналіз публікацій

В розглянутих роботах недостатньо вивчені особливості структури алюмінієвих сплавів модифікованих лігатурами на основі Ti [6]. У відомих публікаціях не встановлені зв'язки структури і властивостей алюмінієвих сплавів та немає відомостей по модифікуванню алюмінієвих сплавів наноконпозиціями.

Результати досліджень та їх обговорення

Враховуючи високі вимоги до продукції авіакосмічної промисловості, в даній роботі були вивчені алюмінієві сплави системи Al-Mg, Al-Mg-Sc. Для отримання виливків з високими властивостями доцільно застосовувати модифікування розплавів малими добавками нанодисперсних композицій тугоплавких сполук, що ініціюють кристалізацію. Модифікатори їх впливу можна розділити на дві групи [5, 6]:

- модифікатори, які є безпосередніми зародками кристалізації;
- інокулятори-модифікатори.

Метою даної роботи є розробка технології нанодисперсного модифікування алюмінієвих сплавів як способу ресурсозбереження дорогих легуючих елементів.

Для вивчення мікроструктури використовували шліфи, вирізані залитих заготовок після відпалу (рис. 1а, б), а також після деформації (рис. 2а, б). Травлення проводили у реактиві концентрованої плавикової кислоти HF. Дослідження мікроструктури проводили на шліфах з використанням оптичного мікроскопа Neophot 2 при збільшенні 50, 100, 200. Мікрорентгеноспектральний аналіз проводили з метою визначення хімічного складу в точках (на межах зерен та фаз), розподілу мікролегуючого елемента - скандія. Випробування проводили на багатоцільовому растровому мікроскопі JSM-6360LA, оснащену системою рентгеноспектрального енергодисперсійного мікроаналізу JED 2200 (рис.3).

Зеренна структура сплаву 1571 у литому стані представлена на рис.1. Після модифікування досягнуто подрібнення структури з 240 мкм до 154 мкм., в 1,5 рази менше порівняно з вихідним станом. Мікроструктура сплаву 1571 у деформованому стані представлена на рис. 2. Після деформування мікроструктура сплаву 1571 характеризується наявністю витягнутих вздовж напрямку деформації зерен α -твердого розчину алюмінію, тобто при деформуванні мікроструктура сплаву 1571 набуває орієнтованості зерен у напрямку деформації.

Після гарячої деформації у вихідному сплаві 1571 спостерігається неоднорідність зерен. У модифікованому сплаві 1571 після деформації отримана однорідна дрібнозерниста дисперсна структура α -Al твердого розчину. Мікроструктура сплавів у рівноважному стані складається з α -твердого розчину алюмінію та інтерметаліду Al_3 (Sc_x, Zr_{x-1}). Основними мікролегуючими елементами у сплаві 1571 є скандій та цирконій.

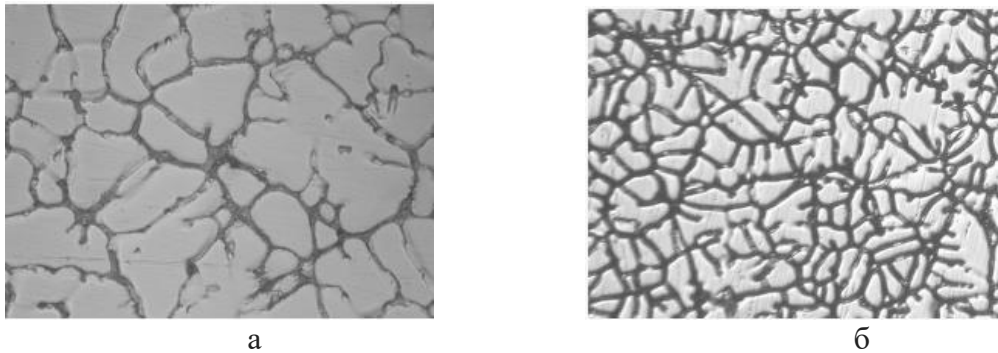


Рисунок 1 – Мікроструктура литого сплаву 1571:
а – до модифікування, х200, б – після модифікування, х200

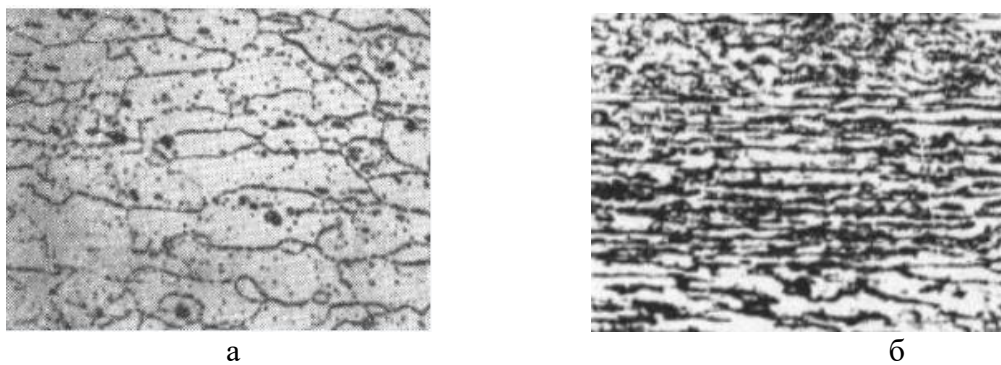


Рисунок 2 – Мікроструктура деформованого сплаву 1571: а – після деформації немодифікованого сплаву, х200, б – після деформації модифікованого сплаву, х200

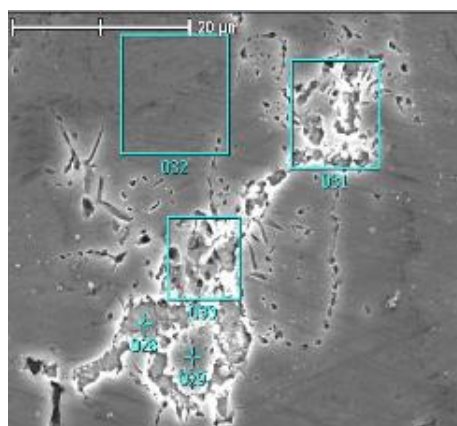


Рисунок 3 – Розподіл легуючих елементів у модифікованому сплаві 1571 у точках включення та матриці, х 2000

Розподіл даних елементів з перерізу зразка рівномірний: скандій і цирконій присутні як в основі сплаву-матриці, так і по межах зерен. У модифікованих зразках кремній концентрується у включеннях, утворюючи оксид SiO_2 , підвищуючи міцність матеріалу (рис. 1).

Ліквіація вуглецю за перерізом зразка практично відсутня, що сприяє досягненню однорідної структури сплаву та підвищенню властивостей міцності. Проводили фрактографічний аналіз зламів на малогабаритному растровому електронному мікроскопі МРЕМ-100. Структурними елементами у сплаві 1571 до модифікування виступає евтектика. Евтектика має сітчасту структуру, межах якої концентруються неметалеві включення. Це знижує властивості міцності матеріалу. На поверхні зламу зразка до модифікування (рис. 4а) спостерігається міжзеренне руйнування, яке представляється як розщеплення по межах зерен. На фрактограмі чітко видно межі зерен. Мікроструктура сплаву 1571 після модифікації не містить евтектики. На поверхні зламу модифікованого зразка спостерігається в'язке руйнування, яке проходить через тіло зерна (рис. 4б). Результати дослідження зразків після випробування на ударну в'язкість представлені на рис. 4.

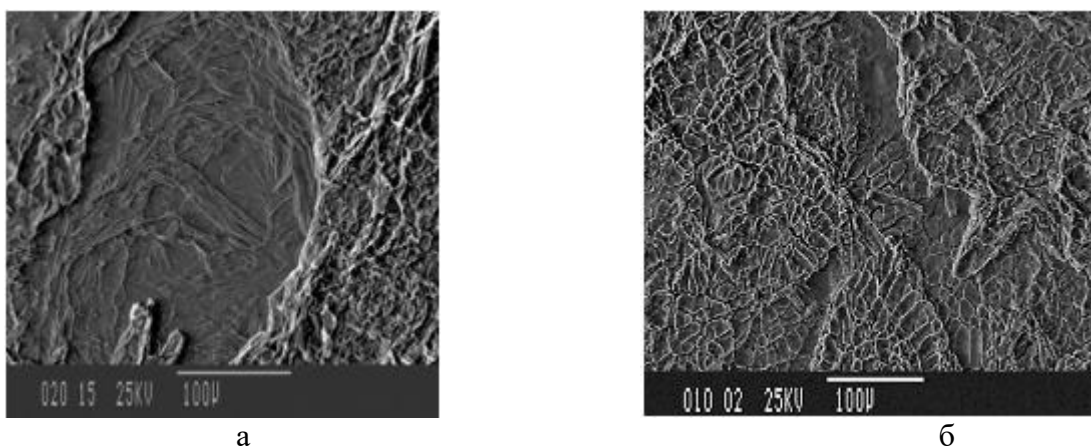


Рисунок 4 - Злам зразка сплаву 1571 після випробування на ударну в'язкість при 20°C :
а - немодифікований сплав, $\times 170$; б - модифікований сплав, $\times 200$

У вихідних зразках сплаву 1571 спостерігається переважно крихкий злам (рис. 4а). У модифікованому стані - змішаний вид зламу, з переважанням в'язкої складової (рис. 4б).

Висновки

1. Проведені промислові плавки сплавів АМг6, 1420, 1571 в індукційній печі САТ-0,15 ємністю тигля 50 кг. Розроблено технологічний процес виплавки із запровадженим модифікатором, а саме: кількість наномодифікатора, механізм введення, температурно-часові умови його дії. Оптимальна кількість наномодифікатора – 0,2 % від ваги розплаву.

2. Досліджено макро- та мікроструктуру сплавів до і після модифікування, досягнуто стабілізацію структури та подрібнення зерна модифікованих сплавів.

3. Проведено механічні випробування листів сплавів 1571, 1420 до та після модифікування. Встановлено вплив нанодисперсного модифікатора карбиду кремнію β -SiC на структуру і механічні властивості алюмінієвих сплавів 1571, 1420.

4. Одержано подрібнення зерна модифікованих сплавів 1571, 1420, досягнуто однорідний розподіл легуючих елементів по перерізу заготовки.

Література

1. Ищенко А.Я., Лабур Т.М. Сварка современных конструкций из алюминиевых сплавов: учебник. Киев, 2013. 405 с.

2. Кривов Г.А., Матвиенко В.А., Афанасьева Л.Ф. Мировая авиация на рубеже XX-XXI столетий. Промышленные рынки: учебник. Киев : КВИЦ, 2015. 295 с.

3. Wemah K. Equipment for Aluminium Welding: Svetsdren, No2, 2016. P. 11 –13.

4. Jkura, N. Nagisawa, S. Iwata Technological developments for realizing aluminum bridges: Journal of Japan Institute of night Metals, No9, 2004. P. 380 – 387.

5. Мальцев М.В. Модифицирование структуры металлов и сплавов: М: Metallurgia, 1994. 214 с.

6. Немененок Б.М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов: Л : Технопринт, 2016. 272 с.

7. Калинина Н.Е., Вилищук З.В., Калинин В.Т. Особенности модифицирования алюминиевых сплавов системы Al-Mg: Авиационно-космическая техника и технологи, No7 (84), 2016. С. 80-83.

8. Калинин В.Т., Дудников А.С., Качан А.Я., Калинина Н.Е. Получение нанокристаллических композиций управляемым плазмохимическим синтезом: Вестник двигателестроения. Запорожье: ЗНУ, No1, 2017. С. 86-90.