

УДК 669.71

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.94.0.55

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МОДИФІКУВАННЯ ЛИВАРНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Калініна Н. Є., Носова Т. В., Мамчур С. І., Цокур Н. І., Комаров М. О.
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Анотація. Вивчено вплив модифікування дисперсними композиціями на зеренну структуру та механічні властивості промислових алюмінієвих сплавів. Алюмінієві сплави систем Al-Si, Al-Mg-Sc, Al-Cu-Mn модифікували дисперсним порошком Mg_2Si з розміром часток до 200 нм. Розрахована кількість модифікатора для введення у розплав. Вивчено фізико-хімічні властивості дисперсного Mg_2Si . Здійснено плавлення сплавів АЛ4С, 1570, 2219, АК9ч у вихідному стані та з обробленням розплавів Mg_2Si . Визначено залежності розміру частинок та кількості модифікатора на механічні властивості сплавів та механізм взаємодії модифікатора з алюмінієвим розплавом під час кристалізації. Під час промислових експериментів визначено найбільш ефективний розмір часток Mg_2Si для підвищення σ_m сплаву АК9ч зі 115 до 260 МПа у литому стані. Визначено оптимальний вміст Mg_2Si (0,10 %) для підвищення σ_m алюмінієвих сплавів.

Ключові слова: алюмінієвий сплав, структура, механічні властивості, дисперсний модифікатор.

Вступ

Створення дисперсних матеріалів безпосередньо здійснюється в процесі розроблення із застосуванням нанотехнологій. На приладах плазмохімічного синтезування можна отримувати спектр нанодисперсних сполук, зокрема карбіди, нітриди, карбонітриди, силіциди різноманітних елементів (Si, Al, Ti, V, Mo, W та ін.), а також нанодисперсні порошки чистих металів [1–3].

У виробництві вітчизняної ракетно-космічної техніки застосовують неіржавкі сталі, ливарні та деформовані алюмінієві й магнієві сплави, ливарні нікелеві сплави. Для деталей ракетно-космічної техніки (РКТ) можуть бути корисними перспективні напрями з оброблення наномодифікаторами сплавів різноманітних систем легування.

Аналіз публікацій

Модифікування дисперсними композиціями різноманітних сплавів досліджувалося в працях В. І. Большакова, О. А. Кузіна, В. П. Сабурова, статтях та наукових роботах інших видатних вчених-матеріалознавців [4–6]. Дослідження модифікування дисперсними композиціями алюмінієвих сплавів є продовженням робіт, в яких вивчалася ця тематика.

Мета і постановка завдання

Мета роботи – визначити вплив модифікування дисперсними композиціями на зеренну структуру та механічні властивості алюмінієвих сплавів. Для досягнення мети

поставлені такі завдання: вивчити фізико-хімічні властивості дисперсного модифікатора та механізм взаємодії дисперсного модифікатора з алюмінієвим розплавом під час кристалізації.

Вплив модифікування на структуру та властивості алюмінієвих сплавів

Матеріалом дослідження є алюмінієві сплави систем Al-Si, Al-Mg-Sc, Al-Cu-Mn, АЛ4С, 1570, 2219, АК9ч. Запропоновано модифікування алюмінієвих сплавів дисперсним порошком карбіду кремнію Mg_2Si з розміром часток до 200 нм. Дисперсний Mg_2Si отримано методом плазмохімічного синтезування. Здійснені дослідно-промислові процеси плавлення алюмінієвих сплавів. Досліджено структуру та механічні властивості сплавів у литому та деформованому станах.

З огляду на принцип щодо кристалографічної та розмірної відповідності ізоморфності кристалічних решіток алюмінію і тугоплавких сполук [7, 8] визначено, що модифікаторами алюмінієвих сплавів можуть бути карбіди кремнію, ніобію й танталу, а також карбіди й нітриди титану, цирконію, гафнію та ванадію. Як ефективний модифікатор ливарних алюмінієвих сплавів запропоновано нанодисперсний порошок карбіду кремнію Mg_2Si з розміром часток до 200 нм [5], який отримано методом високотемпературного плазмохімічного синтезування [4].

Дія нерозчинних додатків, ізоморфних до алюмінію, аналогічність впливу розчинних

елементів дотримується лише тоді, коли кількість нерозчинного додатка перевищує кількість кристалів, що утворилися довільно за тих самих умов [3, 5]. Таким чином, зі збільшенням кількості нерозчинного додатка, зокрема частинок карбіду кремнію, розмір зерна спочатку зменшується, а потім буде постійним.

Мікроструктура сплаву АЛ4 до і після модифікування наведена на рис. 1.

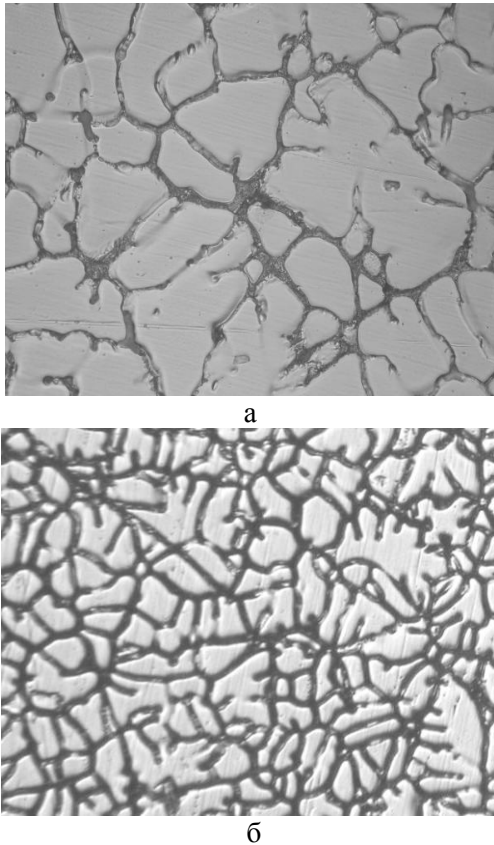


Рис. 1. Мікроструктура сплаву АЛ4 до (а) і після модифікування (б), $\times 100$

У вихідному стані визначено крупнозернену структуру з середньою площею $15,6 \text{ мм}^2$. Після модифікування досягнуто подрібнення зерна до $7,6 \text{ мм}^2$.

Механізм впливу дисперсних частинок силіциду магнію на формування структури доевтектичних алюмінієвих сплавів під час кристалізації полягає в тому, що основна їхня маса виштовхується фронтом кристалізації у рідку фазу і бере участь у подрібненні структурних складових сплаву. Частинки карбіду кремнію сприяють також дисперсному зміцненню сплаву, оскільки дисперсні фази є додатковими бар'єрами для переміщення дислокацій, а отже, підвищують характеристики міцності ливарних алюмінієвих сплавів.

На механічні властивості алюмінієвих

сплавів суттєво впливають розміри частинок зміцнювальної фази. Під час промислових експериментів із застосуванням дисперсних частинок Mg_2Si в широкому діапазоні розмірів $0,075 \dots 0,100$; $10 \dots 20$; $30 \dots 40$; $50 \dots 60$ і $90 \dots 100 \text{ мкм}$ було визначено, що зі зменшенням розмірів частинок карбіду кремнію до 100 нм межа міцності сплаву АК9ч збільшується з 115 до 260 МПа (рис. 2).

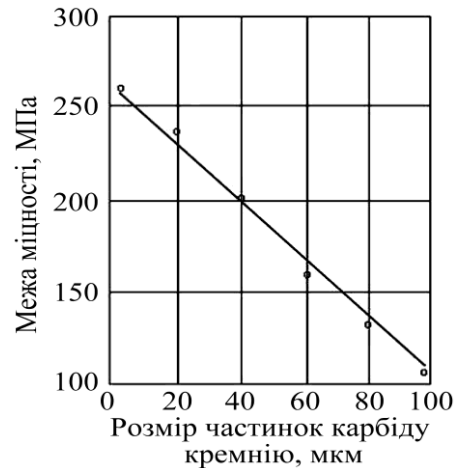


Рис. 2. Вплив розмірів частинок Mg_2Si на міцність сплаву АК9ч

Для визначення оптимальної кількості модифікатора карбіду кремнію було здійснено процеси промислового плавлення та термічне оброблення зразків за режимом Т6 (гартування та штучне старіння).

Для комп'ютерного оброблення даних складу сплавів і вмісту модифікаторів використали програму Microsoft Excel. Під час аналізу результатів було визначено, що модифікування частинками карбіду кремнію в кількості $0,1 \text{ мас. \%}$ максимально підвищує пластичність (δ) сплаву АК9ч за одночасного збільшення межі міцності (σ_B) та межі течкості (σ_T).

Збільшення кількості модифікатора SiC від $0,10$ до $0,25 \text{ \%}$ в сплаві АК9ч суттєво не впливає на механічні властивості, а за вмісту SiC більше $0,25 \text{ \%}$ незначною мірою знижується параметр σ_B . Незначне зниження межі плинності сплаву АК9ч спостерігається під час введення більше ніж $0,1 \text{ мас. \%}$ модифікатора Mg_2Si .

Таким чином, механічні характеристики ливарного алюмінієвого сплаву АК9ч значно підвищуються з додаванням до розплаву $0,1 \text{ мас. \%}$ нанодисперсних частинок карбіду кремнію. Якість ливарних алюмінієвих сплавів під час модифікування залежить від таких

чинників, як природа дисперсної фази, температура розплавлення, режими його перемішування під час додавання частинок. У процесі вивчення впливу температури на ступінь засвоєння тугоплавких частинок Mg_2Si визначено, що за певної для цього розплаву температури спостерігається максимум засвоєння частинок. Характерною особливістю результатів досліджень, здійснених з різноманітними тугоплавкими композиціями в алюмінієвих сплавах, є досягнення максимуму засвоєння частинок за нижнього значення температури розплавів.

Висновки

Вивчено фізико-хімічні властивості дисперсного модифікатора – карбіду кремнію Mg_2Si . Здійснено промислове плавлення сплавів АЛ4С, 1570, 2219, АК9ч у вихідному стані та з обробленням розплавів порошковим модифікатором. Визначено механізм взаємодії дисперсного модифікатора з алюмінієвим розплавом під час кристалізації. У процесі дослідження здійснено подрібнення зеренної структури модифікованих сплавів. Визначено вплив розміру часток та кількості модифікатора на механічні властивості алюмінієвих сплавів.

Література

1. Большаков В. И., Куцова В. З., Котова Т.В. Наноматериалы и нанотехнологии. Днепропетровск: ПДАБА, 2016. 220 с.
2. Структура, властивості та використання конструкційних наноматеріалів: монографія / Калініна Н. Є. та ін. Львів: Простір, 2017. 304 с.
3. Сутугин А. Г. Кинетика образования малых частиц при объемной конденсации. Физикохимия нанодисперсных систем: сб. тр. Ин-та металлургии им. А. А. Юайкова. Москва: Наука, 1987. С. 15–21.
4. Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов // Черепанов А. А. и др. Новосибирск: Наука, 1995. 344 с.
5. Кузін О. А., Яцюк Р. А. Металознавство та термічна обробка металів: підручник. Львів: Афіша, 2002. 304 с.
6. Алюміній та сплави на його основі // Куцова В. З. та ін. Дніпропетровськ: Пороги. 2004. 136 с.
7. Костин В. А., Григоренко Г. М., Жуков В. В. Модифицирование структуры сварных швов высокопрочных низколегированных сталей наночастицами тугоплавких металлов. Строительство, материаловедение, машиностроение. 2016. Вып. 89. – С. 93-98.
8. Модифицирование сталей и сплавов дисперсными инкуляторами / Сабуров В. П., Еремин Е. Н., Черепанов А. А., Миннеланов Г. Н. Омск: ОмГТУ, 2002. 257 с.
9. Young-Domd K., Zin-Hyoung L. The effect of grain refining and oxide inclusion on the fluidity of AL-4,5Cu-0,6Mn and A356 alloys. Mater. Sci. and Eng. 2003. №12. P. 372–376.

References

1. Bolshakov V. I., Kutsova V. Z., Kotova T.V. Nanomaterials and nanotechnologies. Dnipropetrovsk: PDABA, 2016. 220 p.
2. The structure, power and control of the construction of nanomaterials: monograph / Kalinin N. N. that in. Lviv: Space, 2017. 304 p.
3. Sutugin A. G. Kinetics of formation of small particles at volume condensation. Physicochemistry of nanodispersed systems: collection of articles. tr. Institute of metallurgy them. A. A. Yuaykov. Moskva: Nauka, 1987. S. 15–21.
4. Plasma-chemical synthesis of ultra-dispersed powders and their application for modification of metals and alloys / Cherepanov A. A. and others. Novosibirsk: Science, 1995. 344 p.
5. Kuzin O. A., Yatsyuk R. A. Metal production and thermal processing of metals: pidruchnik. Lviv: Afisha, 2002. 304 p.
6. Aluminum and alloy on yogo basis /. Kutsova V. Z. that in. Dnipropetrovsk: Pohorns, 2004. 136 p.
7. Kostin V. A., Grigorenko G. M., Zhukov V. V. Modification of the structure of welded joints of high-strength low-alloy steels with nanoparticles of refractory metals. Construction, material science, mechanical engineering, 2016. No. 89. S. 93–98.
8. Modification of steels and alloys with dispersed inoculators / Saburov V. P., Eremin E. N. Cherepanov A. A., Minnlanov G. N. Омск: OmSTU, 2002. 257 p.
9. Young-Domd K., Zin-Hyoung L. The effect of grain refining and oxide inclusion on the fluidity of AL-4,5Cu-0,6Mn and A356 alloys. Mater. Sci. and Eng. 2003. №12. P. 372–376.

Калініна Наталія Євграфівна, д.т.н., професор кафедри технології виробництва, тел. 095-550-28-00, e-mail:

kalinina.dnu@gmail.com.

Носова Тетяна Валеріївна, к.т.н., доцент кафедри технології виробництва, тел. 096-570-69-35,

e-mail: amaretanya0512@gmail.com,

Мамчур Стелла Ігорівна, к.т.н., доцент кафедри технології виробництва, тел. (+38) 098-411-22-46, e-mail:

1964stella1965@gmail.com,

Цокур Наталія Іванівна, аспірант кафедри технології виробництва, тел. (+38) 098-071-80-08, e-mail: monicaa13.06@gmail.com.

Комаров Микита Олександрович, студент,
тел. (+38) 066-630-48-48, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, вул. Наукова 1, Дніпро, 49000, Україна.

Studying the process of modification of lithium aluminum alloys

Abstract. *The effect of modification with dispersed compositions on the grain structure and mechanical properties of industrial aluminum alloys has been studied. Aluminum alloys of the Al-Si, Al-Mg-Sc, Al-Cu-Mn systems were modified with dispersed Mg₂Si powder with a particle size of up to 200 nm. The amount of modifier to be added to the melt is calculated. The physicochemical properties of dispersed Mg₂Si have been studied. Melting of the AMg6, 1570, 2219, AK9ch alloys in the initial state and with the treatment of Mg₂Si melts have been carried out. The action of insoluble applications, isomorphic to aluminum, the similarity of the influence of soluble elements holds only when the amount of insoluble addition exceeds the number of crystals formed arbitrarily under the same conditions. Thus, with an increase in the amount of insoluble addition, in particular silicon carbide particles, the grain size first decreases and then remains constant. The mechanism of the influence of dispersed particles of magnesium silicide on the formation of the structure of hypoeutectic aluminum alloys during crystallization is that their bulk is pushed out by the crystallization front into the liquid phase and participates in the refinement of the structural components of the alloy. To determine the optimal amount of silicon carbide modifier, industrial melting and testing were performed on specimens that underwent heat treatment according to the T6 mode (quenching and artificial aging). The quality of cast aluminum alloys during*

modification depends on many factors: the nature of the dispersed phase, the temperature of the melt, and the modes of its mixing with the introduction of particles. Dependences of the particle size and the amount of the modifier on the mechanical properties of the alloys have been established. The mechanism of interaction of the modifier with aluminum melt during crystallization has been established. In industrial experiments, the most effective size of SiC particles for increasing the σ_m of the AK9ch alloy from 115 to 260 MPa in the as-cast state has been established. The optimal content of Mg₂Si (0.10 %) for increasing the σ_m of aluminum alloys has been determined.

Key words: *aluminum alloy, structure, mechanical properties, disperse modifier.*

Kalinina Natalia Evgrafivna, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Production Technology, tel. (+38) 095-550-28-00, e-mail: kalinina.dnu@gmail.com,

Nosova Tetyana Valeriivna, Ph.D., Associate Professor of the Department of Production Technology, tel. (+38) 096-570-69-35, e-mail: amaretanya0512@gmail.com,

Mamchur Stella Ihorivna, Ph.D., Associate Professor of the Department of Production Technology, tel. (+38) 098-411-22-46, e-mail: 1964stella1965@gmail.com,

Tsokur Natalia Ivanivna, postgraduate student, Department of Production Technology, tel. (+38) 098-071-80-08, e-mail: monicaa@gmail.com,

Komarov Nitika Alexandrovich student, Department of Production Technology, tel. (+38) 066-630-48-48.
