

УДК 621.783.2

DOI 10.36910/6775.24153966.2021.71.44

А. В. Уль¹, О.В. Мельник¹, Ю.А. Мельник²

Волинський національний університет імені Лесі Українки¹
Луцький національний технічний університет²

ДО ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЛАВІВ Al-Mg-Si

Досліджувались алюмінієві сплави Al-Mg-Si які після підготовки підлягали термообробці. По завершенню термообробки здійснювались випробування на розтяг (DIN EN 10002) з подальшими металографічними та мікроскопічними (РЕМ) вишукуваннями.

Запропонована у статті методика та результати досліджень підтверджують наявність ефекту зміцнення при використаних режимах термообробки, що в свою чергу дозволяє в подальшому ефективно прогнозувати механічні властивості різноманітних виробів системи Al-Mg-Si.

Ключові слова: Алюмінієві сплави, поверхня, злам, руйнування, мікроскопія, фрактографія

А. В. Уль, А.В. Мельник, Ю.А. Мельник

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ СПЛАВОВ Al-Mg-Si

Исследовались алюминиевые сплавы Al-Mg-Si которые после подготовки подлежали термообработке. По завершению термообработки осуществлялись испытания на растяжение (DIN EN 10002) с последующими металлографическими и микроскопическими (РЕМ) изысканиями.

Предложенная в статье методика и результаты исследований подтверждают наличие эффекта упрочнения при использованных режимах термообработки, в свою очередь позволяет в дальнейшем эффективно прогнозировать механические свойства различных изделий системы Al-Mg-Si.

Ключевые слова: Алюминиевые сплавы, поверхность, излом, разрушение, микроскопия, фрактография

А. V. Uhl, O. V. Melnyk, Yu.A. Melnyk

ON THE STUDY OF THE PROPERTIES OF Al-Mg-Si ALLOYS

Investigated aluminum alloys Al-Mg-Si are subject to heat treatment after preparation. Upon completion of the heat treatment, tensile tests (DIN EN 10002) were performed, followed by metallographic and microscopic (SEM) tests.

Comparing the fracture surfaces of different states, it was seen that the most hardened samples of alloys have a brittle fracture, in contrast to samples aged for a longer time. In this paper, the samples were first subjected to heat treatment, which successfully eliminated the ossification of substances, as the hardness of alloy samples during such treatment was significantly reduced. To set predefined parameters for recrystallization, is necessary to conduct a number of studies on the properties of matter. Comparing the results of mechanical and metallographic studies, it is seen that the desired properties of the samples can be established after experiments to determine inclusions. Thus it can be argued that the samples were chosen optimal conditions hardening.

The proposed method in the article and research results confirm the presence of the effect of strengthening the modes used during heat treatment, which in turn allows further effectively predict the mechanical properties of the various products of the system Al-Mg-Si.

Key words: Aluminum alloys, surface, fracture, destruction, microscopy, fractography.

Постановка проблеми. Оптимізації конструкційних елементів з точки зору заміни матеріалу та зниження ваги має першочергове значення, зокрема в автомобільній, авіаційній та космічній промисловості, оскільки тенденція до зменшення ваги деталей та агрегатів веде безпосередньо до зменшення використання енергоресурсів у процесі їх експлуатації. Саме тому особливої уваги заслуговують алюмінієві сплави, що володіють високим рівнем функціональності: жорсткістю, питомою міцністю, ударною в'язкістю. Відкритим питанням залишається дослідження міцнісних характеристик за різноманітних умов експлуатації

Незважаючи на те, що сплави Al-Mg-Si достатньо досліджені, по відношенню до окремих осадів вникає більше неясностей, ніж для сплавів AlCu. В механіці матеріалів недостатньо відомостей про параметри поведінки систем Al-Mg-Si, особливо під дією високих навантажень і під впливом температури. Також для законів матеріалознавства, які описують пластичну поведінку, включаючи процеси пошкодження під час пластичної деформації, існують лише перші теоретичні підходи щодо можливих критеріїв. Механічні властивості алюмінієвих сплавів (стійкість до пластичної деформації, пошкоджень і зламів) визначається їх мікроструктурою.

Домінуючою тенденцією сучасності є розвиток нанотехнологічних досліджень, які неможливі без застосування растрової електронної мікроскопії з метою отримання якісних і кількісних характеристик досліджуваних мікрооб'єктів на мікронних та субмікронних рівнях. Незважаючи на перспективність інтеграції фотограмметрії у растрову електронну мікроскопію на

сьогоднішній день більшість дослідників обмежуються якісною оцінкою РЕМ-зображень. Коли об'єкти мають складну організацію (мікрорельєф) і, апріорі, невідома його просторова структура, то на основі одних лише візуально якісних досліджень не можливо правильно інтерпретувати просторову організацію чи конфігурацію. Тому виникає необхідність розробки нових методів, які дозволили б проводити тривимірну реконструкцію мікрооб'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До основних механізмів руйнування алюмінієвих сплавів відносять пластичне руйнування та тріщиноутворення. Природа утворення тріщин в алюмінієвих сплавах детально викладена ще в працях [1, 2]. Дослідження морфології та складу осадів алюмінієвих сплавів викладені в роботах [3–5] та ін.

Якісний електронно-стереофрактографічний аналіз поверхонь зламів металів може дати корисну інформацію про процеси, що відбуваються при руйнуванні матеріалів [5,6].

Постановка завдань. Метою даного дослідження є вивчення впливу різних режимів теплової обробки на механічні властивості зразка і визначення змін мікроструктури за допомогою РЕМ-мікрофотограмметричних і металографічних досліджень.

Викладення основного матеріалу. Макробудова зламу відображає характер діючих навантажень, ступінь перевантаження, розміщення і характер зони руйнування, стабільність чи зміну кінетики, фронт поширення і розвитку тріщини, вплив залишкових навантажень, зовнішніх впливів та ін. Дослідження зони руйнування дає можливість визначати ступінь впливу конструктивних, технологічних і структурних концентраторів напружень, а також дефектів металу, які в деяких випадках є причиною руйнування. В задачу фрактографії, перш за все, входить ідентифікація різновиду руйнування в залежності від його виду.

Мікробудова зламів розкриває глибинні механізми розвитку тріщин, дає можливість встановити причинно-наслідковий зв'язок між умовами навантаження та якістю матеріалу. Методи вивчення зламів на мікро- і макрорівнях є доповнюючими один одного.

Досліджувались алюмінієві сплави AlSiMg які після підготовки підлягали термообробці. По завершенню термообробки здійснювались випробування на розтяг (DIN EN 10002) та ударні навантаження (DIN EN 130148) з подальшими металографічними та мікроскопічними (РЕМ) дослідженнями.

Перед початком механічних та металографічних вишукувань зразки були термічно оброблені з метою досягнення зразками бажаних властивостей [6].

Схема експерименту була обрана наступною: 1-підготовка зразків; 2-термообробка; 3-випробування на розтяг; 4-металографічні, мікроскопічні (РЕМ) вишукування [7]. Орієнтація дослідних зразків при РЕМ-дослідженнях здійснювалась за методикою, запропонованою в [7].

Для всіх проб сплавів були виготовлені експериментальні зразки, креслення яких наведено на рис. 1. та склад яких наведено в табл. 1.

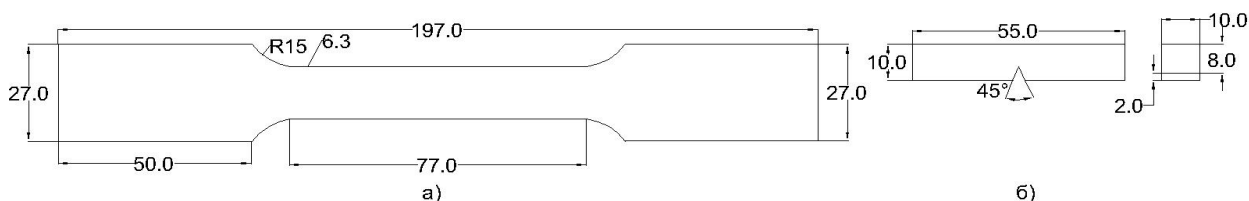


Рис. 1. Види експериментальних зразків: а - креслення дослідного зразка для експериментів на розтяг, б - креслення дослідного зразка для експериментів на ударну в'язкість

Таблиця 1.

Хімічний склад дослідних зразків

Хімічна назва/марка	Вміст легуючих елементів, мас. %	Границя міцності R _m , Н/мм ²	Границя текучості 0,2%, Н/мм ²	Розтяг A10, %	Твердість по Бріннелю НВ
AlSiMg EN AW 6082	Mg 0.6-1.2 Si 0.7-1.3 Mn 0.4-1.0	275-300	240-255	6-9	84-91

Частина зразків досліджуваного сплаву були піддані термообробці (штучно зістарені) при постійній температурі - 190°C з метою активації дифузних процесів. По мірі збільшення часу відпалу твердість зростала до тих пір, поки зразки не були витримані на протязі 2 годин, при

цьому до-сягається максимальний показник твердості - 124 HV30, міцність на розтяг RB в цьому стані становить 362,4 Н/мм². На поверхні зламу спостерігався інтеркристалічний злам з дрібними сотоми (рис. 2,а).

В зразках, які піддавались термообробці протягом 21 год. твердість поступово зменшувалась і після 21-ї години термообробки досягається най-нижчий показник твердості, який залишається незмінним. Під час випробувань на розтяг підтверджується факт, що розтягуючі зусилля значно зменшилися і становлять 273,6 Н/мм². На рис. 2,б спостерігається транскристалічний сотовий злам.

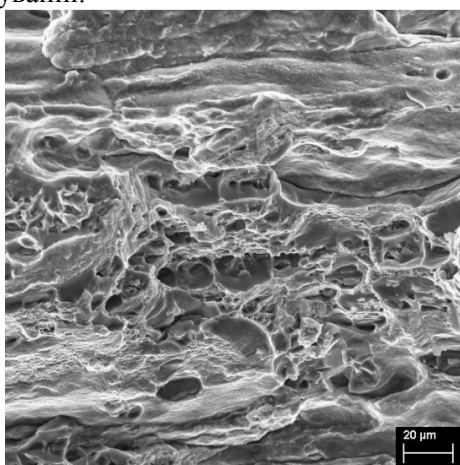
За результатами ударних навантажень встановлено, що енергія, необхідна для руйнування зразка, становить 11,4 Дж. На поверхні прослідковується інтеркристалічний злам, рис. 2,в. Діаметри осадів становлять 2-2,5 мкм.

Порівнюючи поверхні зламів після 2-х та 22-х годин термообробки, можна стверджувати, що для обох випадків стан зразків м'який.

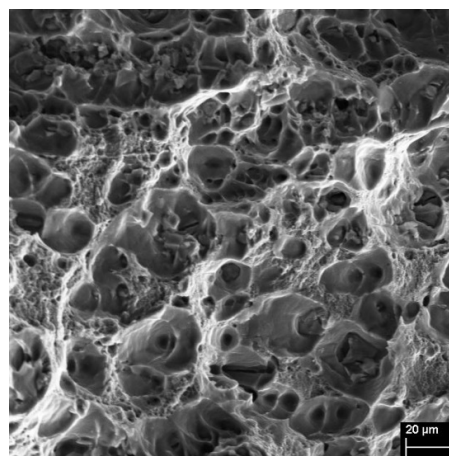
На противагу до міцності, яка зменшується, для руйнування зразка сплаву необхідно більше енергії – 12,4 Дж. На рис. 2,г утворений транскристалічний сотовий злам. Осади крупніші, їх орієнтовний діаметр - 3,5-4 мкм.

Залежність зміни твердості від режимів термообробки дослідних сплавів AlSiMg представлена на рис. 3.

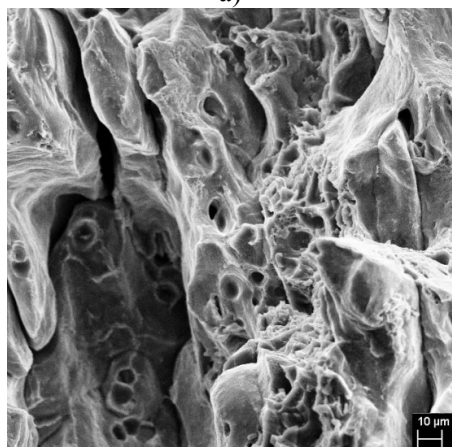
Максимальна твердість 124 HV30 досягається після 2 годин старіння. Цьому стану відповідає частково когерентна екскреція. Після цього міцність знову падає і після 21 години старіння вона становить лише 102 HV30. При цьому, значення твердості залишається постійним. Присутні некогерентні вclusions. Можна стверджувати, що міцність збільшується при загартуванні.



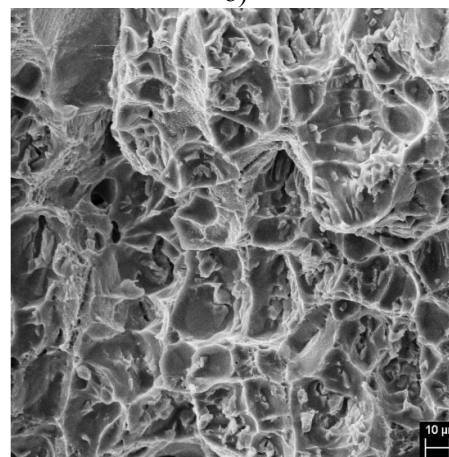
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Мікрофотографії дослідних зразків після термообробки та механічних досліджень

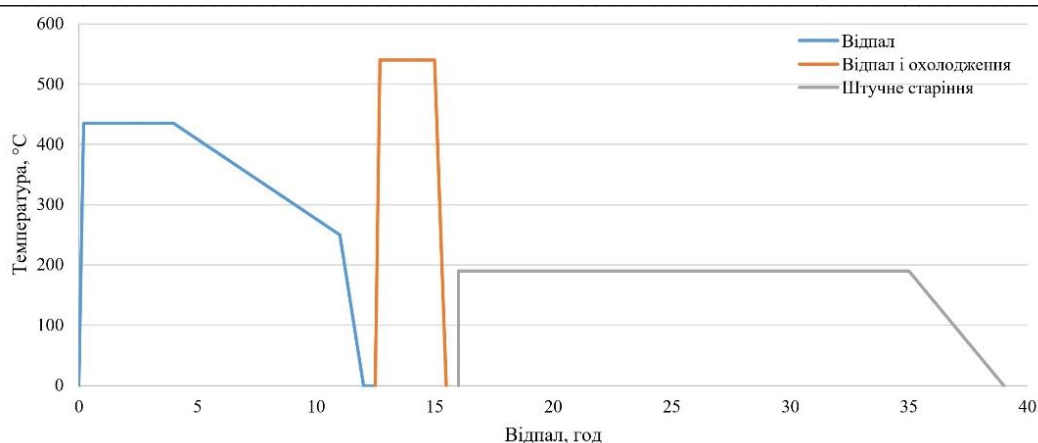


Рис. 3. Залежність зміни твердості від режимів термообробки дослідних сплавів AlSiMg

Для випробування на розтяг було відібрано 4 зразки після 2 год. термообробки при 190 °С; 4 зразки сплаву після 22 год. термообробки при 190 °С; та 1 зразок без термообробки. Результати випробування на розтяг представляють собою діаграму напружень і деформацій (рис. 4) і отримані з неї властивості матеріалу (табл. 2).

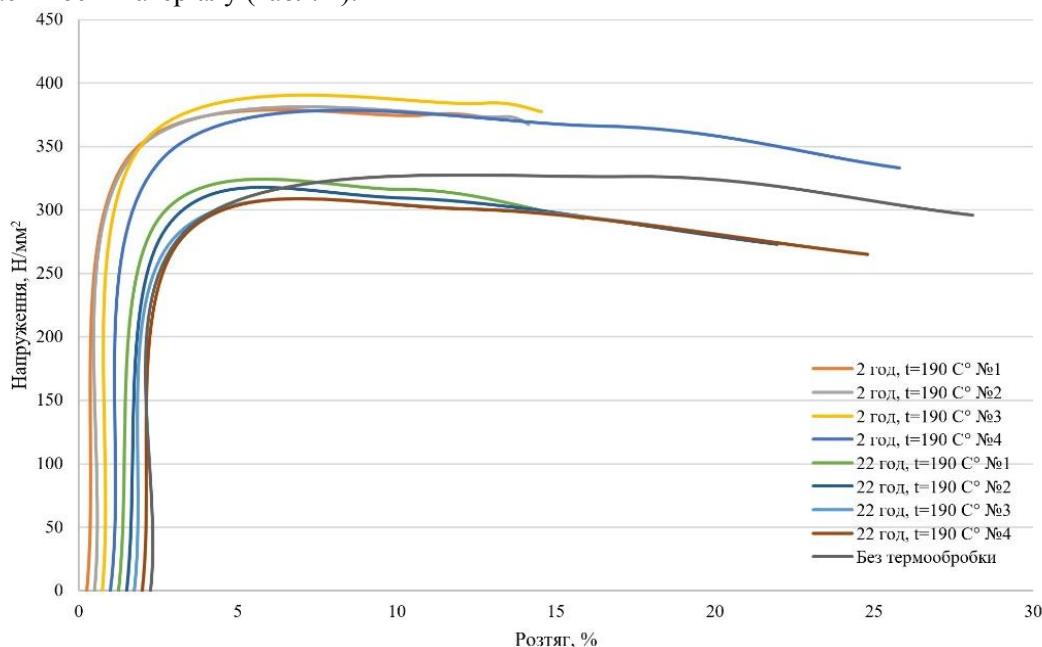


Рис. 4. Діаграми «напруження-розтяг» для трьох видів зразків.

Таблиця 2.

Механічні властивості досліджуваних зразків

Зразок	Т-сть	E _{mod}	R _{p0,2}	R _m	R _B	Розтяг	Волокн.
	HV30	Н/мм2	Н/мм2	Н/мм2	Н/мм2	%	%
2 год, №1	125	76895	339,7	374,9	371,6	10,92	13,15
2 год, №2	124	72933	344,9	373,3	367,2	13,43	14,14
2 год, №3	132	79809	352,0	384,2	377,6	12,75	14,54
2 год, №4	127	72559	343,2	366,1	333,0	16,30	25,80
22 год, №1	102	69929	292,7	316,2	293,2	10,10	15,86
22 год, №2	105	67360	286,1	309,4	273,0	10,27	21,96
22 год, №3	101	65414	278,1	300,8	265,2	12,55	24,80
22 год, №4	101	69041	276,2	299,0	263,1	12,30	24,80
Без обробки	109	81461	286,9	326,3	295,9	17,23	28,10

В результаті випробувань на розтяг встановлено, що зразкам першого типу притаманне крихке руйнування. Зразкам другої групи, які піддавались найдовшій термообробці, притаманні

некогерентні включення та зменшення твердості. Межа текучості і межа плинності у зразків першого типу значно вища за рахунок когерентних включень, ніж у зразків другого типу.

Висновки. Порівнюючи поверхні зламів різних станів було видно, що максимально загартовані зразки сплавів мають крихкий злам, на відміну від зразків, витриманих триваліший час. В цій роботі зразки спочатку піддалися термічній обробці, чим успішно усувалася закостенілість речовин, оскільки твердість зразків сплавів при такій обробці значно зменшувалась. Проте, деформовані зерна не рекристалізувалися, хоча зразки, піддавалися температурному відпалу при різних параметрах температури і часу. Це свідчить, що умови рекристалізації залежать від різних факторів, а саме: від ступеня деформації, часу і температури.

Щоб встановити наперед задані параметри для рекристалізації, потрібно провести ще ряд досліджень по властивостям включень. Порівнюючи результати механічних і металографічних досліджень, видно, що бажані властивості проб можна встановити після проведення дослідів по визначенню включень. Таким чином можна стверджувати, що для проб були вибрані оптимальні умови загартування.

Після проведених досліджень з цими зразками приходимо до висновку, що, теоретично, через температурний вплив можна досягти підвищення стійкості. Таким чином, наявність ефекту зміцнення алюмінієвих сплавів при запропонованих режимах термообробки дають можливість використовувати розроблену методику як ефективний засіб для прогнозування механічних властивостей різноманітних виробів із алюмінієвих сплавів

Список використаних джерел:

1. V. Shyamu, T. Murali, M. Raju, S. Sapthagir, A. Venkateswarlu, IJET, Vol. 5 Issue 4, 2015, pp. 132-141.
2. R. Di Sante, P. Cavaliere, G. L. Rossi, A. Squillace, Materials Science Forum. (2007).
3. G. T. Hahn, A. R. Rosenfield, Metallurgical Transactions: A (1975).
4. K. Tanaka, T. Mura, Metallurgical Transactions A. 1982.
5. T. Kobayashi, Materials Science and Engineering: A. 286. 8-16. (2000). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(99\)00649-8](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(99)00649-8).
6. A.V. Uhl, O.V. Melnyk, Y.A. Melnyk, and L.V. Plyin, Microphotogrammetric Approach in the Study of AlSiMg Alloys, Metallofiz. Noveishie Tekhnol., 43, No. 2: 255—271 (2021).
7. Anna Uhl. Application of Microphotogrammetric and Material Science Techniques in the Study of Materials on the Example of Alloy AlZnMgCu. /Melnyk, Yuliia & Boyarska, Inna & Melnychuk, Mykola. //Advances in Design, Simulation and Manufacturing II, Proceedings of the 2nd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2019, June 11-14, 2019, Lutsk, Ukraine DOI:10.1007/978-3-030-22365-6_48.