

Таким чином концепція Industry 4.0 в сегменті ливарної промисловості в першій чверті XXI століття набуває подальшого розвитку на базі використання штучного інтелекту. Це дозволить в перспективі підвищити конкурентоздатність галузі особливо в умовах нестабільності світової економіки.

Список літератури

1. Jin-wu Kang, Bao-lin Liu, Tao Jing, and Hou-fa Shen. Intelligent casting: Empowering the future foundry industry. China Foundry. Special Review. Vol. 21. No. 5. September 2024. P. 409 – 426. URL:<https://link.springer.com/article/10.1007/s41230-024-4056-z#preview/>.

2. Patent WIPO WO2019042382. IPC B22D 47/02 2006.1. Intelligent Casting System. Peng Fan, Tian Xuezhi, Huang Xiaodong, Meng Qingwen, Yang Zhiwei, Li Yonghua, Chang Tao, Liu Yabin, Yang Jun. International Filing Date 31.08.2018. Publication Date 07.03.2019.

3. Dučić, N.; Manasijević, S.; Jović, A.; Čojbašić, Ž.; Radiša, R. Casting Process Improvement by the Application of Artificial Intelligence. Appl. Sci. 2022, 12, 3264. 13p. <https://doi.org/10.3390/app12073264>. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/7/3264/>.

УДК 669.71:532.694:539.216

С.В. Гнилоскуренко¹, О.В. Бякова², А.О. Власов², Євіч Я.І.², Д.С. Кітранов²

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

²Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ

e-mail: slava.vgn@gmail.com

МІЦНІСТЬ ТА ЖОРСТКІСТЬ СПІНЕНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ПРИ СТИСНЕННІ

Спінені алюмінієві сплави характеризуються малою щільністю і вагою, та комплексом унікальних механічних властивостей, зокрема щодо поглинання енергії під час ударної дії, високою питомою жорсткістю, що зумовлено їх комірковою будовою. Під час стиснення такі матеріали деформуються з утворенням довгої ділянки плато на графіку «напруження-деформація» і виявляють високі значення напруженості майже при сталому навантаженні, в чому і проявляється їх здатність адсорбувати енергію.

Численні технологічні процеси спінювання металів та сплавів розроблені в різних країнах, але порівняно з іншими підходами обробка розплавів за допомогою піноутворювачів - гідриду титану TiH_2 і особливо, карбонату кальцію $CaCO_3$, вважається найбільш перспективною, а останнім реагентом - економічно ефективною.

При уведенні добавок у рідкі сплави їх хімічний склад і мікроструктура після затвердіння змінюються, що відображається і на механічних властивостях.

Особливості мікроструктури спінених алюмінієвих сплавів $Al1Mg0.6Si$ (AD33, аналог сплаву 6061) і високоміцного сплаву $Al6Zn2.3Mg$ (B95, аналог сплаву 7075) було вивчено у попередніх дослідженнях [1], а базові криві «напруження-деформація», одержані при стисненні пористих зразків, описані у роботі [2].

В даній роботі також вивчали поведінку спінених сплавів - призматичних зразків з розмірами $20 \times 20 \times 30$ мм, при одноосьовому стисканні відповідно до рекомендацій ISO 13314:2011. Їх пористість визначали за виразом $\theta\% = (1 - \rho/\rho_s) \times 100$. Випробування проводились на універсальній машині CERAM test System (ІПМ НАН України, Україна) потужністю 20 кН із забезпеченням швидкості деформації в діапазоні від 10^{-3} c^{-1} до 10^{-2} c^{-1} . За отриманими деформаційними кривими визначали низку нових показників, зокрема, структурну жорсткість (модуль Юнга) та міцність, що досягається на ділянці плато σ_{pl} , відносну міцність до суцільного матеріалу σ_{pl}/σ_s .

Доцільно представити результати зміни відносної міцності, σ_{pl}/σ_s , в залежності від відносної щільності, ρ/ρ_s , що наведено на рисунку 1а.

Отримані результати свідчать про те, що відносної міцності спіненого $Al1Mg0.6Si$ сплаву знаходиться більш менш нижче за лінію, зазначену для спінених сплавів із замкненими комірками. Однак міцність спіненого сплаву стрибкоподібно зменшується до лінії, характерної для відкритих комірок коли відносна щільність стає меншою ніж $\rho/\rho_s < 0.14$ (пористість $\theta > 86\%$). За таких умов товщина стінок між комірками спіненого сплаву набуває екстремально малої величини, а саме 100 мкм і менше. В результаті цього відбувається згин та ушкодження стінок між комірками.

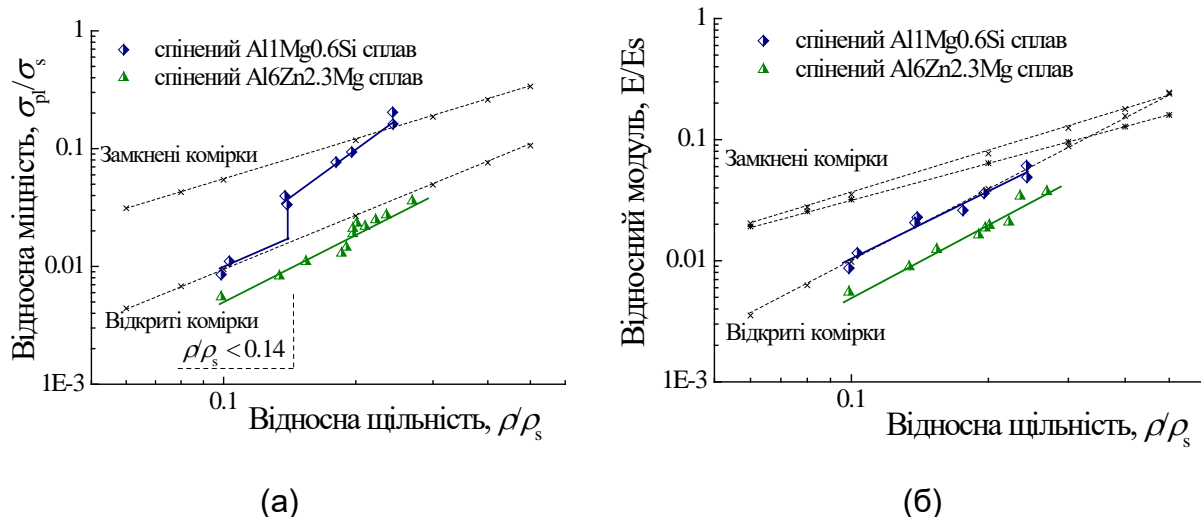


Рис. 1 - Залежність (а) відносної міцності, σ_{pl}/σ_s , та (б) відносного модуля Юнга (E/E_s) зразків спіnenих Al1Mg0.6Si та Al6Zn2.3Mg сплавів від відносної щільності ρ/ρ_s

Інакша поведінка стінок між комірками спостерігається в спіненому Al6Zn2.3Mg сплаві. Всі отримані дані розташовані нижче за лінію для відкритих комірок, що пов'язане із суттєвим внеском в глобальний колапс комірок процесу руйнування.

Таке саме відхилення результатів для відносного модулю E/E_s від лінії, зазначеної теорією, було зареєстровано для спіnenих сплавів із замкненими комірками, наведених на рисунку 1б. Так, тільки дані щодо відносного модулю, отримані для спіnenого відносно пластичного Al1Mg0.6Si сплаву знаходяться вздовж лінії, зазначеної теоретичним наближенням для спіnenих сплавів із замкненими комірками.

Так, результати щодо зменшення структурної жорсткості спіnenого Al1Mg0.6Si сплаву підтверджують попередню аргументацію стосовно ушкодження стінок між комірками в тому разі, коли їх товщина стає 100 мкм. В той же час так само, як і для відносної міцності, результати визначення відносного модуля для спіnenого Al6Zn2.3Mg сплаву варіюються у вузькій області, яка повністю знаходиться нижче теоретичної лінії для матеріалів з відкритими комірками.

Таким чином, можна зробити висновок, що механізм колапсу комірок суттєво контролює показники міцності та структурної жорсткості спіnenого матеріалу. У загальному випадку, колапс комірок пружним вигином [3,4] і ущільненням стінок між комірками є притаманним спіненому відносно пластичному Al1Mg0.6Si сплаву, в той час як руйнування стінок між комірками, обумовленого крихкими прошарками/залишковими фазами безпосередньо впливає на колапс комірок у спіненому Al6Zn2.3Mg сплаві.

Отримані результати вказують на те, що відгук на навантаження спінених сплавів великою мірою визначаються механізмом колапсу комірок, який, в свою чергу, залежить від властивостей структурних складових матеріалу перемичок між комірками.

Список літератури

1. С.В. Гнилоскуренко, О.В. Бякова, А.О. Власов, Д.С. Кітранов. Мікроструктура спінених алюмінієвих сплавів. Матеріали XX Ювілейної міжнародної науково-практичної конференції «Литво. Металургія-2024», 28-30 травня, 2024 р., Харків-Київ, С. 75-77.
2. Гнилоскуренко С.В., Бякова О.В, Власов А.О., Кітранов Д.С., Євіч Я.І., Цивіліцин В.Ю. Поведінка спінених алюмінієвих сплавів в умовах стиснення. Матеріали XVII Міжнародної науково-технічної конференції «Неметалеві вкраплення і гази у ливарних сплавах», 26-27 листопада 2024 року, м. Запоріжжя, С. 109-111.
3. Ashby, M. F. Metal Foams: A Design Guide / M.F. Ashby, A.G. Evans, N.A. Fleck. – Butterworth: Heinemann, 2000. – 251 p.
4. L. J. Gibson, Mechanical behavior of metallic foams, Annual Review in Material Science, 2000 Vol. 30 P. 191-227.

УДК 621.744.072.2: 678.746.22-404.8

В. С. Дорошенко, С. І. Клименко, І. В. Хорошко

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

doro55v@gmail.com

ІННОВАЦІЇ У ДИЗАЙНІ КАРКАСНИХ МЕТАЛЕВИХ ВИЛИВКІВ: ТЕХНОЛОГІЇ МАЙБУТЬОГО

Використання штучного інтелекту в промисловому виробництві продовжує відкривати нові горизонти оптимізації та дизайну. Одним із яскравих прикладів такого прогресу стало дослідження компанії Sarginsons Industries (Великобританія), яка спеціалізується на виливанні алюмінієвих деталей, використовує передове програмне забезпечення на основі штучного інтелекту (ШІ) для розробки інноваційних конструкцій металевих виливків.