

ЗАСТОСУВАННЯ ШАРУВАТОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ СПЛАВІВ АЛЮМІНІЮ ТА ТИТАНУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЗВАРНИХ ТРИШАРОВИХ СТІЛЬНИКОВИХ ПАНЕЛЕЙ

Л.В. Петрушинець¹, Ю.В. Фальченко¹, О.О. Новомлинець², В.Є. Федорчук¹

¹ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²Чернігівський нац. технологічний університет. 14035, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95. E-mail: oonl@ukr.net

Представлено результати досліджень з виготовлення шаруватих композиційних матеріалів на основі сплавів алюмінію та титану способом дифузійного зварювання у вакуумі з широким діапазоном значень питомої ваги, отримується завдяки різному співвідношенню шарів у кожному з композитів. На основі шаруватого композиційного матеріалу запропоновано методику виготовлення тришарових стільникових панелей способом дифузійного зварювання в вакуумі. Встановлено, що середня міцність на стиснення тришарової панелі із заповнювачем з шаруватого композиційного матеріалу на основі сплавів Al–Ti становить 47,3 МПа, що в 4 рази перевищує міцність аналогічних стільників, виготовлених зі сплаву алюмінію. Показано, що шаруватий матеріал має більшу термічну стабільність порівняно зі сплавами алюмінію. Відпал зразків при температурі 700 °C протягом 30 хв не призводить до їхнього руйнування або втрати форми. Бібліогр. 8, табл. 3, рис. 7.

Ключові слова: алюміній, титан, фольга, з'єднання, шаруватий композиційний матеріал, дифузійне зварювання у вакуумі, тришарові стільникові панелі

Вступ. Тришарові алюмінієві панелі зі стільниковим заповнювачем (рис. 1) знайшли широке застосування в літако- і суднобудуванні, будівництві та інших галузях промисловості завдяки своїм унікальним властивостям. При відносно невеликій масі ці конструкції характеризуються високими значеннями міцності й жорсткості, крім того, вони мають хороші вібраційні та радіотехнічні характеристики, звуко- і теплоізоляційні властивості. Подібні конструкції можна застосовувати як силові елементи в крилі, фюзеляжі, підлозі, а також як теплозахисні елементи [1].

Одним із способів отримання тришарових панелей є дифузійне зварювання в вакуумі (ДЗВ) [2]. Зварювання панелей з алюмінієвих сплавів рекомендується виконувати при температурі вище 500 °C. Однак при нагріванні модуль пружності алюмінію швидко знижується і тому алюмінієві конструкції при температурах 250...300 °C і вище можуть втрачати стійкість, що обумовлює складнощі отримання тришарових стільникових панелей при їх ДЗВ.

Збільшити стійкість стільникового заповнювача при ДЗВ тришарових панелей можна при застосуванні більш міцного матеріалу, наприклад, титану, але його використання як заповнювача призведе до суттєвого збільшення загальної маси конструкції, що при використанні виробів в авіакосмічній галузі не бажано.

Оптимальним варіантом між мінімальною масою та максимальною міцністю стільникових конструкцій, на нашу думку, є використання шаруватих композитів. Це може значно поліпшити низку властивостей, включаючи питомі жорсткість і міцність, в'язкість руйнування, втомні характеристики, ударні характеристики, зносостійкість, корозійну стійкість і демпфуючу здатність, забезпечити підвищену пластичність крихких матеріалів і високу стабільність розмірів [3].

В роботі [4] підтверджено можливість отримання біметалу Al–Ti способом ДЗВ.

Можна зробити припущення, що використання шаруватих композиційних матеріалів (ШКМ), до яких можна віднести і біметали, може значно покращити властивості стільникових конструкцій. Беручи до уваги можливість широкого

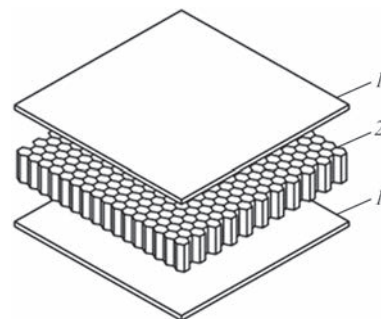


Рис. 1. Схема тришарової стільникової панелі: 1 – лицьова панель; 2 – стільниковий наповнювач

Петрушинець Л.В. – <https://orcid.org/0000-0001-7946-3056>, Фальченко Ю.В. – <https://orcid.org/0000-0002-3028-2964>

Новомлинець О.О. – <https://orcid.org/0000-0002-0774-434X>, Федорчук В.Є. – <https://orcid.org/0000-0002-9929-3231>

© Л.В. Петрушинець, Ю.В. Фальченко, О.О. Новомлинець, В.Є. Федорчук, 2022

Таблиця 1. Хімічний склад сплавів АД1, АМг2 та ВТ1-0, мас. %

Сплав	Al	Ti	Fe	Si	Mn	Cu	Mg	Zn	Cr	Сума домішок
АД1	Основа	0,15	0,3	0,3	0,025	0,02	0,05	0,1		–
АМг2	«-»	0,15	0,5	0,4	0,1...0,5	0,15	1,7...2,4	0,15	0,05	
ВТ1-0	–	Основа	0,025	0,10	–	–	–	–		0,35

регулювання структури та складу ШКМ на етапі утворення з'єднання, дослідження з виготовлення таких матеріалів є досить актуальним. З урахуванням цього мета роботи – це розробка методики отримання тришарових стільникових панелей способом ДЗВ в вакуумі з шаруватих композитів на основі сплавів алюмінію та титану.

Методики досліджень, матеріали. Для досліджень використовували сплави алюмінію АД1 та титану ВТ1-0 у вигляді фольги завтовшки відповідно 150 і 30 мкм. Для кришок застосовували сплав алюмінію АМг2 завтовшки 1 мм або ШКМ на основі алюмінію та титану завтовшки 480 мкм. Хімічний склад сплавів алюмінію і титану, що використовували для виготовлення тришарових стільникових панелей, наведено в табл. 1.

Для виготовлення стільникового заповнювача застосовували біметалеві заготовки Al–Ti розміром 130×130×0,180 мм, які попередньо отримали способом ДЗВ [5]. З біметалевих листів вирізали стрічки завширшки 12 мм, з яких в свою чергу на спеціальному оснащенні сформували гофровані стрічки з кроком перегину 10 мм.

При виготовленні стільникового заповнювача використовували точкове зварювання, яке проводили при кімнатній температурі на повітрі. Перед зварюванням контактні поверхні гофрованих стрічок зачищали механічним шляхом і знежирювали. Зварювання проводили при постійних значеннях напруги $U_{зв} = 10$ В та сили струму $I_{зв} = 250$ мА, інтенсивність нагрівання при цьому визначалась тривалістю імпульсу $t_{зв} = 0,5...5,0$ с і їхньою кількістю $N_{зв} = 1...20$.

На відміну від зварювання однорідного матеріалу при точковому зварюванні біметалевих смуг можуть виникати певні ускладнення, обумовлені не лише неоднорідністю матеріалу за товщиною, а й різними фізико-механічними властивостями титану та алюмінію. Титан має низьку електро- і теплопровідність, дуже активний щодо газів, що містяться в атмосфері. Його зварювання проводять при відносно малих параметрах сили струму, зусиллі стиснення і тривалості нагрівання. Алюміній має високу теплопровідність, малий електричний опір і тугоплавку оксидну плівку на поверхні. Тому поверхні деталей перед зварюванням необхідно ретельно обробляти для видалення оксидної плівки з метою запобігання утворенню непроварів.

Як показано в роботі [5], оптимальним варіантом зварювання біметалевих Al–Ti стрічок при

отриманні стільникового заповнювача є приварювання шару алюмінію до шару титану.

Перед ДЗВ панелей торцеві поверхні стільникового заповнювача та контактні поверхні на кришках зачищали за допомогою шабера і знежирювали спиртом.

Зварювання проводили у вакуумній камері установки П115, оснащеної системою радіаційного нагрівання. Температуру нагрівання контролювали хромель-алюмелевою термопарою, зафіксованою на оснащенні. Тиск до зразків прикладали від преса через нижній шток. Контроль значення тиску здійснювали за допомогою динамометра.

Зварювання проводили на режимі: температура $T_{зв} = 560...610$ °С, тиск $P_{зв} = 5...20$ МПа, тривалість зварювання $t_{зв} = 20...30$ хв.

Структурні характеристики фольги і зварних з'єднань аналізували за допомогою скануючого електронного мікроскопа «CAMSCAN 4», оснащеного системою енергодисперсійного аналізу EDX INCA 200 для локального хімічного складу на плоских зразках. Шліфи поперечного перерізу зварних з'єднань готували за стандартною методикою з використанням шліфувально-полірувального устаткування фірми «Struers».

Дослідження механічних властивостей зразків визначали при випробуванні їх на стискання, що відповідає методиці досліджень, наведених в роботах [6, 7].

Для проведення механічних випробувань стільникової конструкції на стискання використовували цифровий контролер тиску фірми «KOLI» марки ХК3118Т1 і датчик тиску фірми «CAS» марки MNC-1 з робочим інтервалом від 0 до 1000 кг.

Результати досліджень. З урахуванням того, що в авіації та космічній промисловості насамперед використовують матеріали з низькою питомою вагою, нами виготовлено експериментальні зразки ШКМ, різної товщини та з різною кількістю шарів. На рис. 2, а представлено загальний вигляд зразка ШКМ, який складається із чотирьох шарів (2Al + Ti + Al). Загальна товщина ШКМ становить 480 мкм, питома вага отриманого матеріалу – 2,9 г/см³.

Для зменшення маси ШКМ можна використати як армуючий елемент дріт або сітку з титану. Загальний вигляд зразка ШКМ з використанням сітки з титанового сплаву ВТ1 наведено на рис. 2, б. Зразок складається з трьох шарів: шар алюмінію, шар титану (сітка) і шар алюмінію. Загальна товщина зразка становить 950 мкм (два шари алюмінію

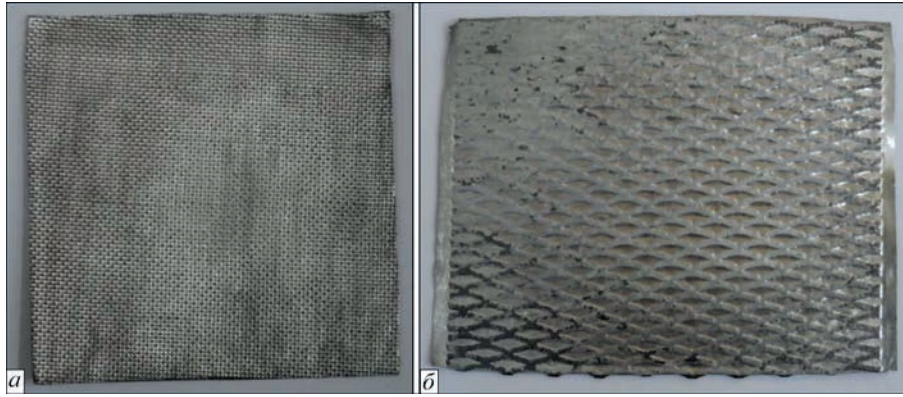


Рис. 2. Зразки ШКМ з різною товщиною і різним складом шарів: *a* – два шари алюмінію, шар титану, шар алюмінію; *б* – шар алюмінію, шар титану (сітка), шар алюмінію

нію – 300 мкм, а титану – 650 мкм), питома вага отриманого матеріалу $2,24 \text{ г/см}^3$.

Узагальнені результати з параметрами отриманих зразків ШКМ наведено в табл. 2. Виготовлені ШКМ мають досить широкий діапазон значень питомої ваги, що обумовлено відмінностями у вмісті алюмінію та титану в кожному з композитів.

Нами досліджено термічну стабільність бінарного ШКМ, який складався з шару алюмінію та титану. Проведені дослідження показали, що порівняно зі сплавами алюмінію він здатний витримувати без втрати конструктивної форми більш високі температури, що співпадає з результатами інших дослідників [8]. На рис. 3, *a* наведено зразок зі сплаву алюмінію АД1 і ШКМ, який отримано зі сплавів титану ВТ1 і алюмінію АД1 в вихідному стані та після нагрівання в печі протягом 30 хв при температурі $700 \text{ }^\circ\text{C}$. Як видно з рис. 3, в процесі нагрівання зразок з алюмінію розплавля-

ється, а зразок з ШКМ зберігає свою конструкційну форму.

Вочевидь, що перспективність використання отриманого способом ДЗВ біметалу Al–Ti для виготовлення тришарових стільникових панелей, а також можливість їхньої експлуатації при підвищених температурах буде визначатися міцністю та інтенсивністю росту інтерметалідного прошарку в біметалі під час виготовлення стільникових конструкцій та їхньої експлуатації.

ДЗВ стільникових панелей проводили при температурі $T = 560...600 \text{ }^\circ\text{C}$, тиску $P = 10 \text{ МПа}$, тривалості процесу $t_{\text{зв}} = 30 \text{ хв}$ вакуум в камері підтримували на рівні $1,33 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$.

Для визначення більш конкретної температури зварювання таврових з'єднань кришок зі стільниковим заповнювачем проводили дослідження механічних властивостей тришарових панелей, отриманих при різних температурах процесу, за результатами яких обирали режим зварювання.

Таблиця 2. Параметри зразків шаруватих композиційних матеріалів

Номер п/п	Склад ШКМ	Кількість шарів	Матеріал шарів	Товщина шару, мкм		Загальна товщина, мкм	Питома вага ШКМ, г/см^3
				Al	Ti		
1	Al–Ti	2	Al, Ti – фольга	150	30	180	3,4
2	Al–Ti–Al	3	Al – фольга Ti – сітка	150	650	950	2,24
3	Al–Al–Ti–Al	4	Al, Ti – фольга	150	30	480	2,9
4	Al–Ti–Al–Ti–Al	5	Al, Ti – фольга	150	30	510	3,21

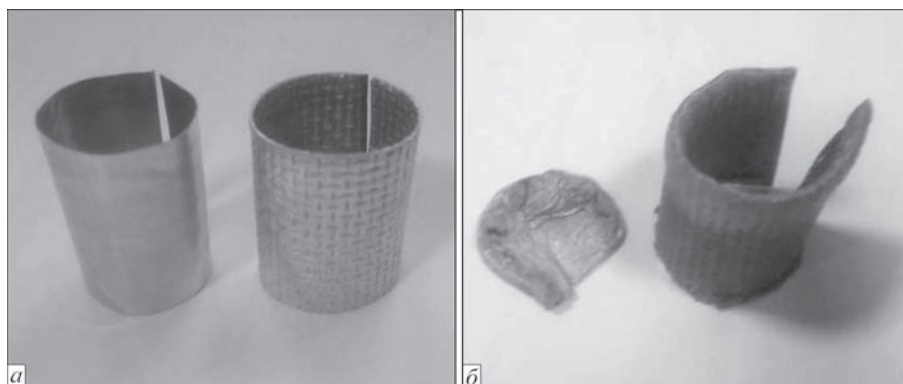


Рис. 3. Вигляд зразків зі сплаву алюмінію АД1 (ліворуч) та ШКМ Al–Ti (праворуч) в вихідному стані (*a*) та після нагрівання в печі до температури $700 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом 30 хв (*б*)

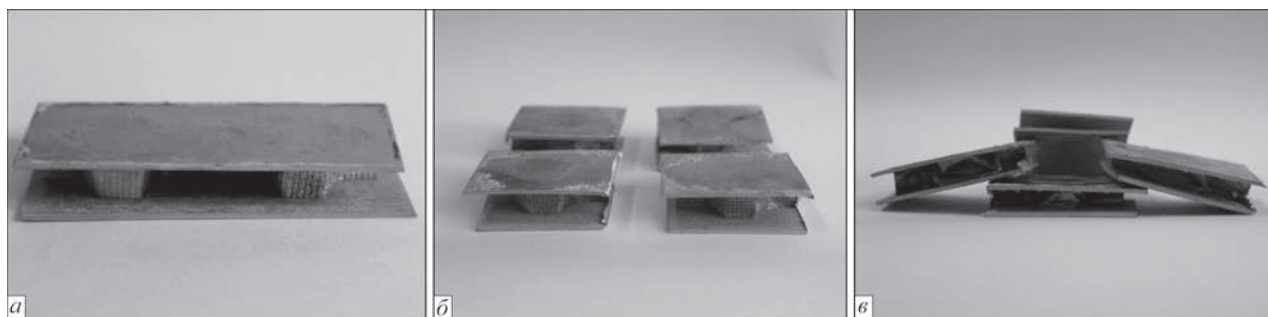


Рис. 4. Зразки стільникової панелі, отримані способом ДЗВ: *a* – після зварювання; *б* – елементи тришарової панелі після розрізання абразивним кругом; *в* – після механічних випробувань на стиснення

Для механічних випробувань на стиснення обрано зразки, що складаються з одиничного біметалевого стільника Al–Ti і кришок зі сплаву АМг2. Розмір комірки стільникового заповнювача становив 10×10 мм, висота 12 мм, площа поперечного перерізу 18 мм². Для отримання зразків для кожної з досліджуваних температур зварено по дві панелі, типовий вигляд яких наведено на рис. 4, *a*. Далі панелі розрізали за допомогою абразивного круга навпіл (рис. 4, *б*). Осадку стільників задавали на рівні 50 % від їхньої вихідної висоти. Встановлено, що в зразках, отриманих при температурі зварювання 570 °С, відбувається часткове відшарування лицьових кришок ще на стадії їх розрізання. В ході проведення механічних випробувань таврові з'єднання руйнуються повністю. Низька якість з'єднання між поверхнями лицьових кришок і торцями стільникового заповнювача призводить до нерівномірного перерозподілу навантаження, і як результат до суттєвого зниження рівня міцності таких панелей, середнє значення якого становить 2/3 міцності вихідного стільникового заповнювача (табл. 3).

Збільшення температури зварювання до 580 °С дозволяє підвищити міцність на стиснення до

Таблиця 3. Результати механічних випробувань на стиснення зразків тришарової панелі

Температура зварювання $T_{зв}$, °С	Міцність на стиснення, МПа	Середня міцність на стиснення, МПа
570	-	27,1
	-	
	28,0	
	26,1	
580	31,9	37,2
	34,0	
	47,0	
	35,9	
590	52,2	47,3
	43,6	
	44,8	
	48,7	
600	44,3	44,0
	38,8	
	57,6	
	35,2	

37,2 МПа. При цьому в ході деформації стінок стільникового заповнювача відбувається поодиноке руйнування місць зварювання між заповнювачем і кришками.

Подальше підвищення температури зварювання до 590 °С дозволяє довести міцність тришарової панелі до 47,3 МПа, що відповідає значенням, притаманним стільниковому заповнювачу після відпалу при температурі 600 °С протягом 60 хв. При цьому, як видно з рис. 4, *в*, під час стиснення відбувається деформування стінок стільникового заповнювача без руйнування місць зварювання заповнювача з лицьовими кришками.

Міцність таврових з'єднань, отриманих при температурі зварювання 600 °С, близька до попередніх результатів: відбувається її незначне зниження, що вірогідно пов'язано з дифузією магнію зі сплаву АМг2 до зони з'єднання.

З наведеного вищезазначеного можна зробити висновок, що для отримання якісного таврового з'єднання стільникового заповнювача з лицьовими кришками оптимальною температурою зварювання є 590 °С.

При цьому, як свідчать металографічні дослідження з'єднань, отриманих при температурі 570 °С, частина зразків руйнується через відсутність фізичного контакту між поверхнями, що зварюються (рис. 5, *a*). В зразках, отриманих при температурі 590 °С, формується щільне з'єднання, в стикі спостерігається незначна кількість дефектів (рис. 5, *б*).

Відповідно до проведених робіт методика виготовлення тришарової стільникової панелі має включати такі основні операції:

- дифузійне зварювання біметалевого матеріалу;
- порізка біметалевої фольги на смуги (рис. 6, *a*);
- формування зі смуг профільованих стрічок (рис. 6, *б*);

- очищення та знежирення відповідних поверхонь і зварювання стільникового заповнювача;

- очищення та знежирення торцевих поверхонь блока стільникового заповнювача та лицьових кришок стільникової панелі;

- ДЗВ тришарової стільникової панелі (рис. 6, *в*).

Зварювання біметалевого матеріалу Al–Ti проводили при температурі $T_{зв} = 580$ °С, тис-

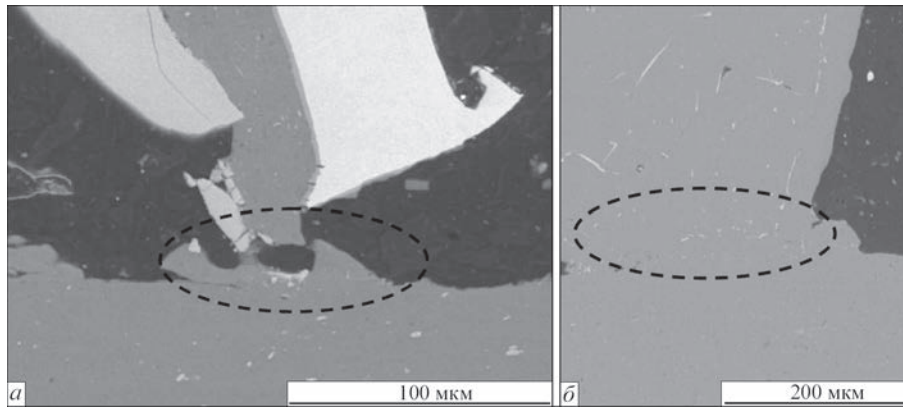


Рис. 5. Мікроструктура зони з'єднання таврових зразків, отриманих при температурі 570 (а), 590 °С (б)

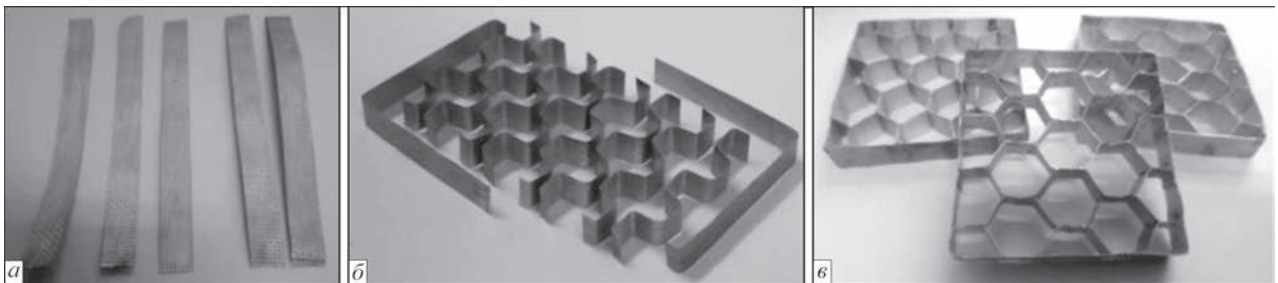


Рис. 6. Етапи виготовлення стільникового заповнювача: а – стрічки з біметалевого матеріалу Al–Ti; б – заготовки профільованих стрічок для точкового зварювання стільникового заповнювача; в – стільниковий заповнювач розміром 72×72 мм

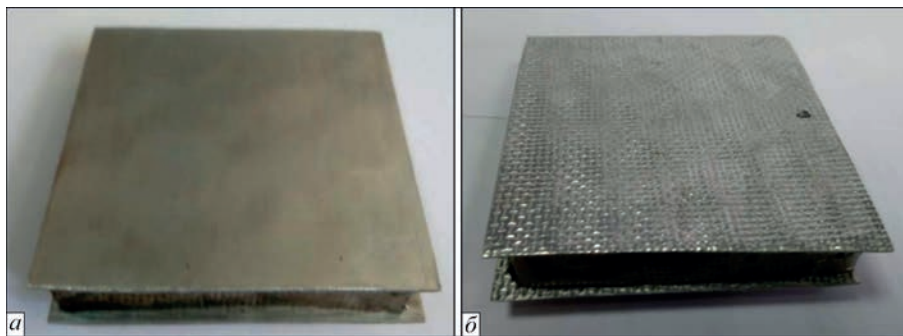


Рис. 7. Макетний зразок тришарової стільникової панелі з кришками зі сплаву алюмінію АМг2 (а) та стільникової панелі з кришками з шаруватого композиційного матеріалу Al–Ti–Al–Al

ку $P_{зв} = 5$ МПа, з витримкою на режимі протягом $t_{зв} = 20$ хв. Отримані пластини розміром 130×70 мм розрізали на смуги 70×12 мм (рис. 6, а), з яких після формування профільованих стрічок точковим зварюванням отримували стільниковий заповнювач з розміром стільників $10 \times 10 \times 12$ мм (рис. 6, в).

Для зварювання панелі зі стільників на основі біметалевого матеріалу Al–Ti та кришок зі сплаву алюмінію АМг2 сконструйовано та виготовлено оснащення, що складається з матриці та пуансона, та закладних елементів, які дозволяли центрувати заготовки панелі по центру матриці та регулювати рівень пластичної деформації виробу. Відпрацьовано методику отримання зварних з'єднань.

На основі розробленої технології виготовлено партію макетних зразків тришарової панелі з біметалевого Al–Ti стільникового заповнювача та лицьовими кришками з алюмінієвого сплаву АМг2 (рис. 7, а). Отримано також тришаро-

ву панель, яка повністю складається із ШКМ (рис. 7, б). Стільниковий заповнювач складається з біметалу Al–Ti, а кришки із ШКМ Al–Ti–Al–Al.

Як показали наші дослідження маса тришарової панелі, виконана з кришками зі сплаву алюмінію становить 46...48 г, а маса тришарової панелі з кришками із ШКМ Al–Ti–Al–Al відповідно 24...26 г.

Таким чином, можна стверджувати, що використання для виготовлення тришарової стільникової панелі ШКМ дозволяє суттєво знизити масу виробів.

Висновки

1. Показана принципова можливість отримання способом ДЗВ стільникових тришарових панелей з ШКМ.

2. Визначено параметри зварювання, що дозволяють отримати таврове з'єднання стільникового заповнювача з ШКМ на основі сплавів Al–Ti з

кришками зі сплаву алюмінію з середньою міцністю на стиснення на рівні 47,3 МПа.

3. Показано, що застосування ШКМ для виготовлення тришарових стільникових панелей дозволяє зменшити в 2 рази масу виробів порівняно з панелями, виготовленими з кришками зі сплаву алюмінію.

Список літератури/References

1. Bitzer, T. (1997) *Honeycomb Technology. Materials, Design, Manufacturing, Applications And Testing*. Springer-Science+Business Media Dordrecht.
2. Башурин А.В., Мاستихин Е.Ю., Колмыков В.И. (2010) Диффузионная сварка пустотелых биметаллических панелей. *Заготовительные производства в машиностроении*, **1**, 13–15. Bashurin, A.V., Mastikhin, E.Yu., Kolmykov, V.I. (2010) Diffusion welding of hollow bimetal panels. *Zagotovitelnye Proizvodstva v Mashinostroyeni*, **1**, 13–15 [in Russian].
3. Jafarian, H.R., Mahdavian, M.M., Shams, S.A.A., Eivani, A.R. (2021) Microstructure analysis and observation of peculiar mechanical properties of Al/Cu/Zn/Ni multi-layered composite produced by Accumulative-Roll-Bonding (ARB). *Materials Science and Engineering: A*, **805**, 140556. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140556>
4. Фальченко Ю.В., Петрушинец Л.В., Половецкий С.В. (2020) Особенности получения металлических шаруватих композиційних матеріалів на алюмінієвій основі. *Автоматичне зварювання*, **4**, 11–21. DOI: <https://doi.org/10.37434/tpwj2020.04.02>
5. Falchenko, Iu. V., Petrushynets, L.V., Polovetskii, E.V. (2020) Peculiarities of producing layered metal composite materials on aluminium base. *The Paton Welding J.*, **4**, 11–21. DOI: <https://doi.org/10.37434/tpwj2020.04.02>
6. Zongwen, Li, Jianxun, Ma. (2020) Experimental Study on Mechanical Properties of the Sandwich Composite Structure Reinforced by Basalt Fiber and Nomex Honeycomb. *Materials*, **13**(8), 1870. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13081870>
7. Seemann, R. (2020) *A Virtual Testing Approach for Honeycomb Sandwich Panel Joints in Aircraft Interior*. Springer Vieweg.
8. Robabeh Jafari, Beitallah Eghbali, Maryam Adhami Materials (2018) Chemistry and Physics Influence of annealing on the microstructure and mechanical properties of Ti/Al and Ti/Al/Nb laminated composites. *Materials Chemistry and Physics*, **213**, 313–323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.04.001>

APPLICATION OF A LAYERED COMPOSITE MATERIAL BASED ON ALUMINIUM AND TITANIUM ALLOYS TO PRODUCE WELDED THREE-LAYER HONEYCOMB PANELS

L.V. Petrushinets¹, Yu.V. Falchenko¹, O.O. Novomlynets², V.E. Fedorchuk¹

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

²Chernigiv National Technological University. 95 Shevchenko Str., 14035, Chernigiv, Ukraine. E-mail: oon1@ukr.net

The paper presents the results of studies on production of layered composite materials, based on aluminium and titanium alloys, by vacuum diffusion welding, with a broad range of specific weight values, which is achieved due to different layer ratio in each of the composites. Based on a layered composite material, a procedure was proposed for manufacture of three-layer honeycomb panels by vacuum diffusion welding. It is found that the average compressive strength of the three-layer panel with a filler from a layered composite material based on Al–Ti alloys is equal to 47.3 MPa, that is four times higher than the strength of similar honeycomb elements made from an aluminium alloy. It is shown that the layered material has higher thermal stability, compared to aluminium alloys. Sample annealing at the temperature of 700 °C for 30 min does not lead to their early destruction or loss of shape. 8 Ref., 3 Tabl., 7 Fig.

Keywords: aluminium, titanium, foil, joint, layered composite material, vacuum diffusion welding, three-layer honeycomb panels

Надійшла до редакції 02.06.2022



HYPER THERM ASSOCIATES: EUROBLECH 2022

Hypertherm Associates, американський виробник продуктів для промислового різання та програмного забезпечення, збирається на EuroBLECH, найбільшу в світі торгову виставку для промисловості обробки листового металу. Бренди технологій і продуктів компанії зустрічатимуть відвідувачів із двох будівель на виставковому комплексі в Ганновері в Німеччині з 25 по 28 жовтня. Цього року Hypertherm Associates зосередиться на автоматизації та екологічності за допомогою продуктів і рішень, які допоможуть клієнтам автоматизувати та здійснювати операції різання більш ефективно.

«Ми раді знову зустрітись з нашими партнерами та клієнтами на цьогорічній виставці», — сказав Марко Мостерт, регіональний директор Hypertherm Associates по Європі, Близькому Сходу, Індії та Африці. «Ми знаємо, що наші клієнти стикаються з надзвичайними труднощами через поєднання інфляції, економічної невизначеності внаслідок триваючого конфлікту в Україні та нестачі робочої сили. Продукти та рішення, які ми представляємо на цьогорічній виставці, створені, щоб допомогти клієнтам упоратися з цими викликами».

Технологічний бренд Hypertherm Associates OMAX представить свої провідні на ринку водоструйні системи в залі 12, стенд H80. Відвідувачі виставки матимуть можливість побачити OptiMAX, який вважається найточнішим гідроабразивним обладнанням у світі, а також ProtoMAX, компактну, автономну систему різання, ідеальну для створення прототипів і різання невеликих обсягів. OMAX також представить своє інтуїтивно зрозуміле програмне забезпечення IntelliMAX.