

МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ З'ЄДНАНЬ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВА 1460, ОТРИМАНИХ СПОСОБОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ЗВАРЮВАННЯ З ПРИСАДНИМ МАТЕРІАЛОМ ЗІ СПЛАВУ 1201

В.В. Скрябінський, В.М. Нестеренков, В.Р. Страшко

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

Наведено результати досліджень механічних властивостей з'єднань сплаву 1460 і з'єднань різнойменних сплавів 1460 + 1201, отриманих методом електронно-променевого зварювання (ЕПЗ) при кімнатній та криогенних температурах. Показано, що міцність з'єднань сплаву 1460, зварених з присадним матеріалом зі сплаву 1201 при температурі 77 К підвищується на 10 %, а при температурі 20 К на 20 % в порівнянні зі з'єднаннями, звареними без присадки. Механічні властивості зварних з'єднань різнойменних сплавів 1460 + 1201 при температурах випробувань 20, 77 та 293 К знаходяться на рівні не нижче властивостей з'єднань сплаву 1460, зварених з використанням присадного матеріалу 1201. Описана технологія зварювання і наведено хімічний склад металу зварних швів. Бібліогр. 12, табл. 3, рис. 9.

Ключові слова: електронно-променеве зварювання, алюмінієво-літєві сплави, присадний матеріал, механічні властивості, зварні з'єднання, криогенні температури

Алюмінієві сплави системи легування Al–Cu–Li мають підвищені механічні властивості і меншу питому вагу в порівнянні з традиційними сплавами системи Al–Cu. Російські сплави 1460 і 1469 призначені для заміни сплаву 1201 в зварних конструкціях авіаційної і космічної техніки, що працюють при нормальних і криогенних температурах [1, 2]. Аналогічно, сплави 2090 та 2195, які виробляються в США, прийшли на зміну сплаву 2219. Хімічний склад сплавів представлений в табл. 1.

Американські алюмінієві сплави 2090 та 2195 системи легування Al–Cu–Li давно і успішно використовуються в авіації і космічній техніці [1, 3]. Зокрема, при заміні сплаву 2219 сплавом 2195 в зварних конструкціях паливних баків корабля Space Shuttle маса виробу була знижена приблизно на 3000 кг. Існують приклади успішного застосування сплаву 1460 для виготовлення макетів зварних конструкцій криогенного призначення [1].

Оцінки зварюваності сплаву 1460 суперечливі. В роботі [4] наведено дані про те, що він задовільно зварюється як аргоно-дуговим, так і електронно-променевим зварюванням (ЕПЗ). Автор роботи [5] вважає його зварюваність незадовільною. Основні проблеми, що виникають при зварюванні плавленням, це схильність до утворення гарячих тріщин і недостатньо високі механічні властивості зварних з'єднань. Новий сплав В-1469 також має знижені характеристики зварюваності. В роботі [6] зазначається, що при ЕПЗ зварюванні в зварних швах можливе утворення тріщин, а міцність зварних з'єднань становить 50 % міцності основного металу.

Для поліпшення зварюваності сплавів 1460 і 2090 при зварюванні плавленням використовують присадні матеріали системи легування Al–Cu. Для зварювання сплаву 1460 застосовують присадний дріт Sv1201 [7, 8] а при зварюванні сплаву 2090 присадку 2319 [9]. При зварюванні з цими присадними матеріалами в металі зварних швів збільшують вміст

Таблиця 1. Хімічний склад сплавів систем легування Al–Cu та Al–Cu–Li для зварних конструкцій криогенного призначення

Марка сплаву	Легуючі елементи, мас. %							
	Cu	Li	Zr	Ti	Mn	Sc	Mg	Ag
1201 (СРСР)	5,8...6,8	-	0,1...0,25	0,02...0,1	0,2...0,4	-	< 0,02	-
2219 (США)	5,8...6,8	-	0,1...0,25	0,02...0,1	0,2...0,4	-	< 0,02	-
1460 (СРСР)	2,6...3,3	1,9...2,3	0,1	0,1	0,05...0,1	0,06...0,1	0,06...0,1	-
2090 (США)	2,4...3,0	1,9...2,6	0,1	0,15	0,05	-	0,25	-
В-1469 (Росія)	3,2...4,5	1,0...1,7	0,02...0,26	0,05...0,07	0,05...0,08	0,02...0,28	0,01...0,5	0,45
2195 (США)	3,7...4,3	0,8...1,2	0,12	0,1	0,25	-	0,25...0,8	0,25...0,6

Скрябінський В.В. – <https://orcid.org/0000-0003-4470-3421>, Нестеренков В.М. – <https://orcid.org/0000-0002-7973-1986>,

Страшко В.Р. – <https://orcid.org/0000-0001-6852-3551>

© В.В. Скрябінський, В.М. Нестеренков, В.Р. Страшко, 2020

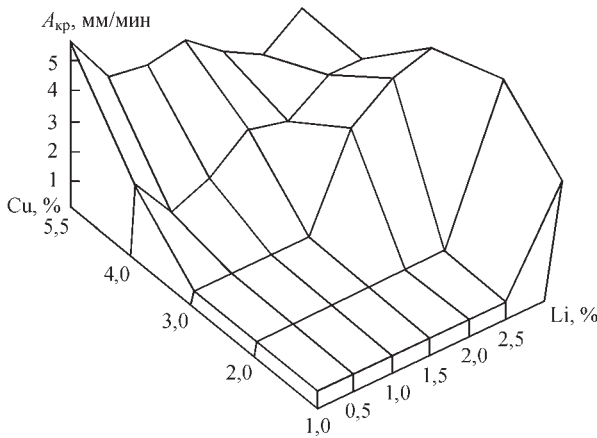


Рис. 1. Залежність зварюваності $A_{кр}$ сплавів системи Al-Cu-Li від вмісту міді та літію [10] (при збільшенні $A_{кр}$ схильність до утворення гарячих тріщин знижується)

міді і зменшують вміст літію. Така зміна хімічного складу сприяє підвищенню механічних властивостей і зменшенню схильності до утворення гарячих тріщин в металі шва.

В роботі [10] досліджували схильність сплавів системи Al-Cu-Li-0,12Zr на утворення гарячих тріщин при зварюванні в залежності від вмісту в них міді і літію. Було встановлено, що при зменшенні вмісту міді <3% і літію <1,5% схильність до утворення тріщин різко зростає. Результати цих досліджень (рис. 1) необхідно враховувати при зварюванні сплавів Al-Cu-Li з присадним матеріалом.

Мета даної роботи полягає в тому, щоб на прикладі ЕПЗ сплаву 1460 показати можливість підвищення механічних властивостей з'єднань сплавів системи Al-Cu-Li при криогенних температурах шляхом зміни хімічного складу металу шва за рахунок використання присадного матеріалу зі сплаву 1201.

Зварювання всіх напівфабрикатів проводили після повної термічної обробки (гартування + штучне старіння). Параметри режимів зварювання підбирали таким чином, щоб забезпечити повне проплавлення стику за один прохід з формуванням посилення і зворотного валика шва. Для управління формою зони проплавлення використовували систему програмного розподілу густини потужності електронного променя в межах плям і нагріву. Механічні властивості зварних з'єднань досліджували при температурах 293, 77 та 20 К. Тимчасовий опір при кімнатній та криогенних температурах визначали випробуванням на розтягання стандартних круглих зразків (ГОСТ 11150-84, тип 1) з діаметром робочої частини 4 мм. Для визначення чутливості до концентраторів напружень випробовували на розтягнення круглі зразки з надрізом. Ударну в'язкість визначали на зразках з надрізом Шарпі по металу шва. Всі зразки для випробувань вирізали поперек шва, розташовуючи шов по центру зразка. Твердість металу шва і зони термічного впливу вимірювали приладом «Роквелл» з наван-

таженням на сталеву кульку 600 Н за шкалою В при діаметрі кульки 1 мм.

На першому етапі досліджували міцність основного металу і зварних з'єднань сплавів Al-4% Cu-1% Li і сплаву 1460 при температурах 20, 77 та 293 К. Зразки для випробувань вирізали із з'єднань, зварених раніше методом ЕПЗ при дослідженні зварюваності цих сплавів [11]. Результати випробувань показані на рис. 2 і 3.

З рис. 2 видно, що тимчасовий опір основного металу сплаву Al-4% Cu-1% Li і його зварних з'єднань при зниженні температури випробувань з 293 до 20 К зростає на 180...190 МПа і досягає 650 та 455 МПа відповідно. Тимчасовий опір основного металу сплаву 1460 (див. рис. 3) збільшується з 520 МПа при температурі 293 К до 645 МПа при 20 К. У зварних з'єднань сплаву 1460 ефект низькотемпературного зміцнення вкрай незначний.

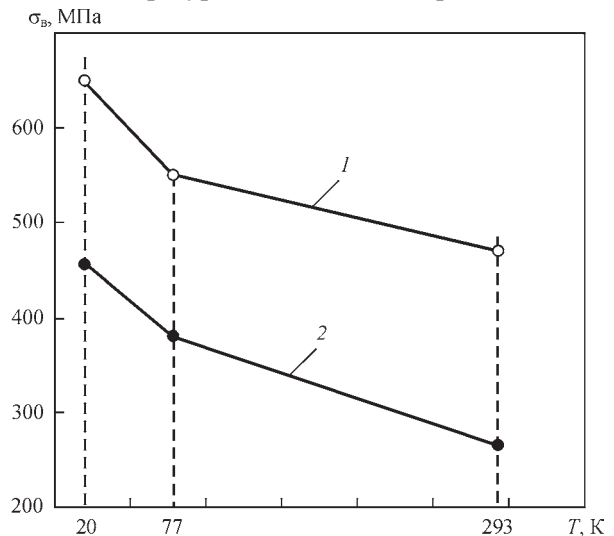


Рис. 2. Тимчасовий опір зразків, виготовлених із основного металу (1) і зварних з'єднань (2) плит сплаву Al-4% Cu-1% Li товщиною 40 мм в залежності від температури випробувань

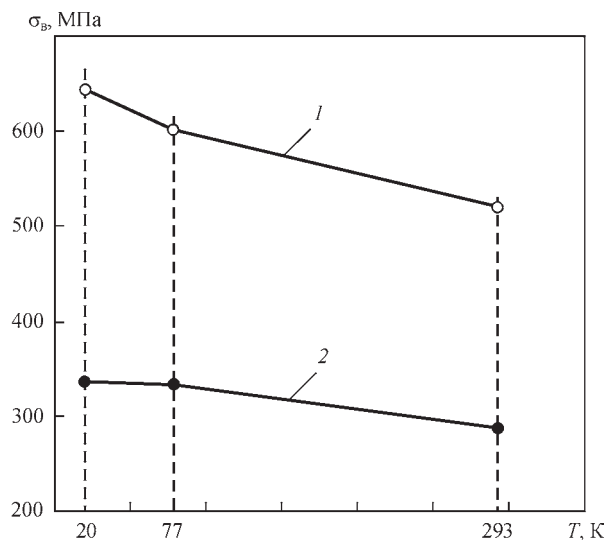


Рис. 3. Тимчасовий опір зразків, виготовлених із основного металу (1) і зварних з'єднань (2) розкатних кілець сплаву 1460 товщиною 72 мм в залежності від температури випробувань

У зв'язку з цим було прийнято рішення при подальших дослідженнях для збільшення міцності зварних з'єднань сплаву 1460 при криогенних температурах зменшити вміст літію та збільшити вміст міді в металі зварних швів. Необхідно відзначити, що при ЕПЗ сплаву Al-4 % Cu-1 % Li метал шва був схильний до утворення мікротріщин [11], що узгоджується з даними, наведеними в роботі [10]. Таким чином, для того, щоб збільшити низькотемпературне зміцнення з'єднань і при цьому не спровокувати утворення гарячих тріщин в металі шва вміст у ньому міді вирішили збільшити до 4 %, а зниження вмісту літію обмежити до 1,5 %.

Традиційним способом зміни складу металу шва при зварюванні плавленням є використання присадних матеріалів. У нашому випадку найбільш підходящим присадним матеріалом з існуючих алюмінієвих сплавів є сплав 1201, тому що він в порівнянні зі сплавом 1460 має підвищений вміст міді (5,8...6,8 %) і не має в своєму складі літію (див. табл. 1).

Плити сплаву 1460 товщиною 40 мм зварювали як з використанням присадного матеріалу зі сплаву 1201, так і без нього. Без присадки зварювали горизонтальні стики горизонтальним променем, а при використанні присадного матеріалу зварювання проводили горизонтальним променем на підйом. Присадний матеріал в зварювальну ванну вводили, використовуючи вставку, яка розплавляється,

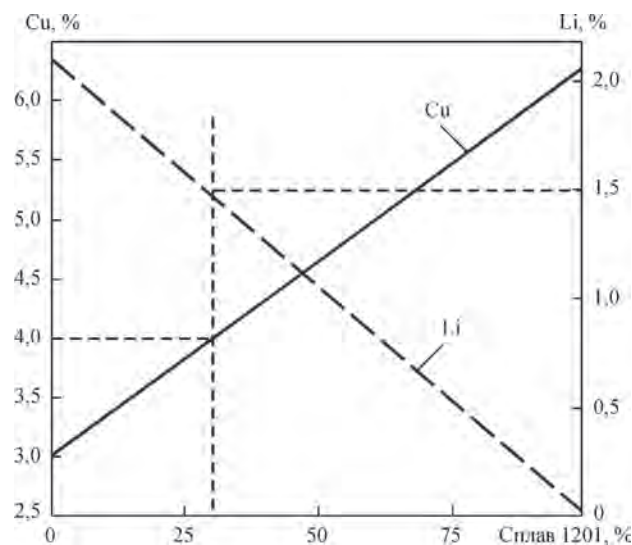


Рис. 4. Залежність розрахункового вмісту міді і літію в металі шва сплаву 1460 від кількості сплаву 1201, який бере участь у формуванні зварювальної ванни при ЕПЗ сплаву 1460 з присадкою 1201 і при ЕПЗ різнойменних сплавів 1460 + 1201

зі сплаву 1201 товщиною 1,8 мм. Як було визначено раніше, зварювальна ванна повинна містити близько 4 % міді і близько 1,5 % літію. З рис. 4 випливає, що для отримання такого хімічного складу у формуванні зварного шва має брати участь близько 30 % присадки зі сплаву 1201.

З огляду на високу пружність парів літію в вакуумі, і як наслідок, його неминучі втрати на випаровування прийняли рішення частку участі сплаву 1201 у формуванні зварювальної ванни обмежити до 25 %. Таким чином, при ширині вставки 1,8 мм ширина зварного шва з паралельними бічними стінками повинна складати близько 8 мм. Режими ЕПЗ наведено в табл. 2.

З метою виключення передчасного розплавлення і витікання з стику матеріалу вставки використовували траєкторію розгортки променя у вигляді півкола при направленні гілок півкола по напрямку зварювання. Амплітуда розгортки становила 3,5 мм. Густину потужності електронного променя розподіляли по траєкторії розгортки таким чином, що на кромки, що зварюються, припадало близько 85 % загальної потужності і близько 15 % на хвостову частину ванни. Параметри розгортки електронного

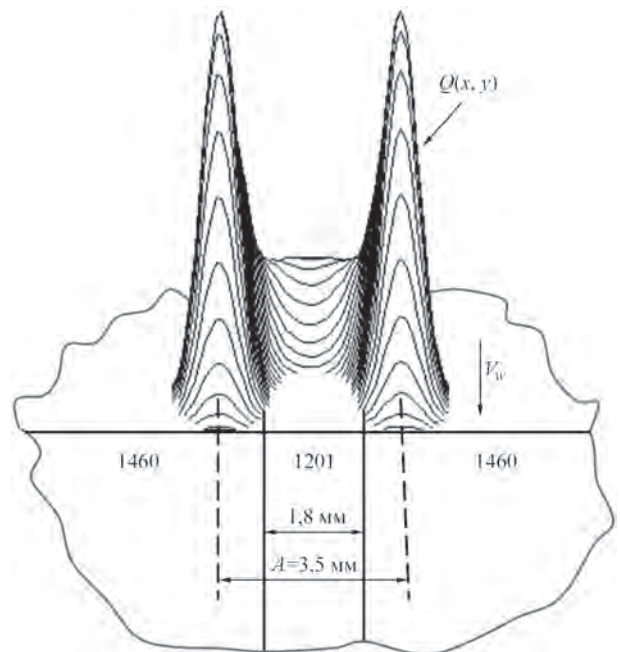


Рис. 5. Схема ЕПЗ стику плит сплаву 1460 з присадкою зі сплаву 1201 ($Q(x, y)$ – розподіл густини потужності променя; V_w – напрямок зварювання; A – амплітуда розгортки променя)

Таблиця 2. Режими ЕПЗ плит сплаву 1460 і плит різнойменних сплавів 1460 + 1201

Матеріал	Товщина, мм	Режим ЕПЗ			
		Швидкість зварювання, мм/с	Прискорююча напруга, кВ	Амплітуда розгортки, мм	Струм променя, мА
1460	40	11	60	1,5	320
1460 з присадкою 1201	40	5,5	60	3,5	250
1460+1201	18	11	30	2,0	350

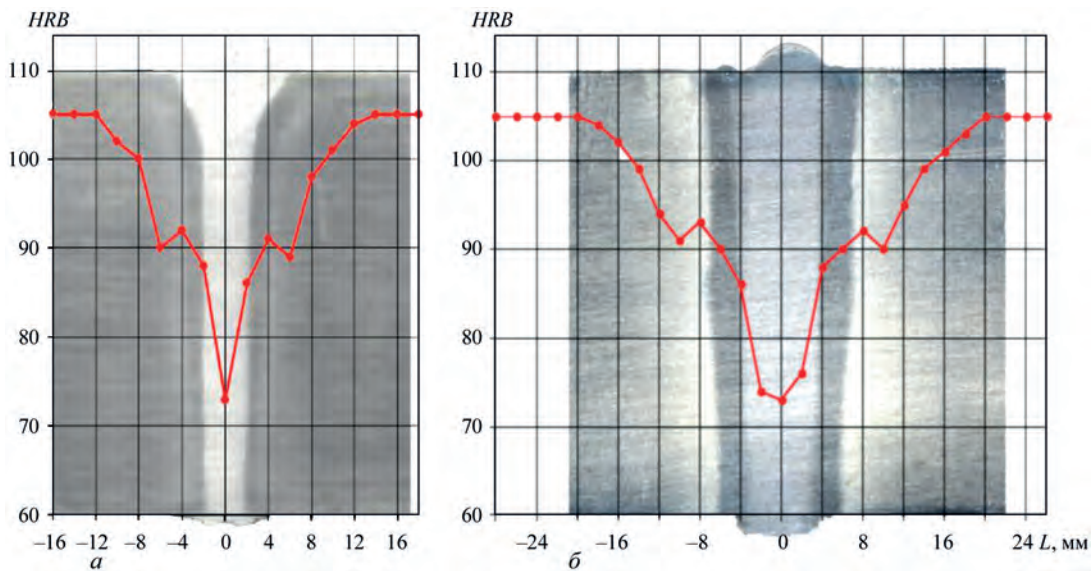


Рис. 6. Поперечні шліфи і розподіл твердості в з'єднаннях плит сплаву 1460 товщиною 40 мм, зварених без присадки (а) та з присадним матеріалом зі сплаву 1201 (б)

променя розраховували за методикою, описаною в роботі [12]. Схема зварювання показана на рис. 5. Поперечні шліфи з'єднань і результати вимірів твердості представлено на рис. 6.

Процес зварювання як з присадним матеріалом, так і без нього протікав стійко, без розбризкування і без витікання рідкого металу. Ширина шва, звареного без присадного матеріалу, становила близько 4 мм, а з присадкою близько 8 мм. Зварні шви мали практично паралельні лінії сплавлення з незначним розширенням у верхній частині. Твердість металу шва становила HRB 73...76 і не залежала від хімічного складу шва. Ширина зони термічного впливу (ЗТВ) для шва без присадки становила близько 12 мм. Шов, зварений з присадкою зі сплаву 1201, мав ЗТВ шириною близько 20 мм, що зумовлено розширенням оплавленої зони і більш низькою швидкістю зварювання. Тріщин в зварних швах і зоні термічного впливу не виявили. Хімічний склад основного і присадного металу, а також зварних швів представлено в табл. 3.

Таблиця 3. Хімічний склад металу зварних швів і основного металу при ЕПЗ сплаву 1460 з присадним матеріалом і без нього, а також різномісних сплавів 1460 + 1201

Місце визначення	Хімічний склад, мас.%			
	Основа	Cu	Li	Sc
Сплав 1460	Al	3,0	2,15	0,08
Сплав 1201	Al	6,3	-	-
Шов сплаву 1460, зварений без присадки	Al	3,0	2,10	0,08
Розрахунковий хімічний склад металу шва при ЕПЗ з присадкою сплаву 1201	Al	4,0	1,5	0,056
Шов сплаву 1460, зварений з присадкою сплаву 1201	Al	3,80	1,45	0,06
Шов різномісних сплавів 1460 + 1201	Al	4,05	1,35	0,05

Механічні властивості з'єднань сплаву 1460 при кімнатній та криогенних температурах випробувань показано на рис. 7.

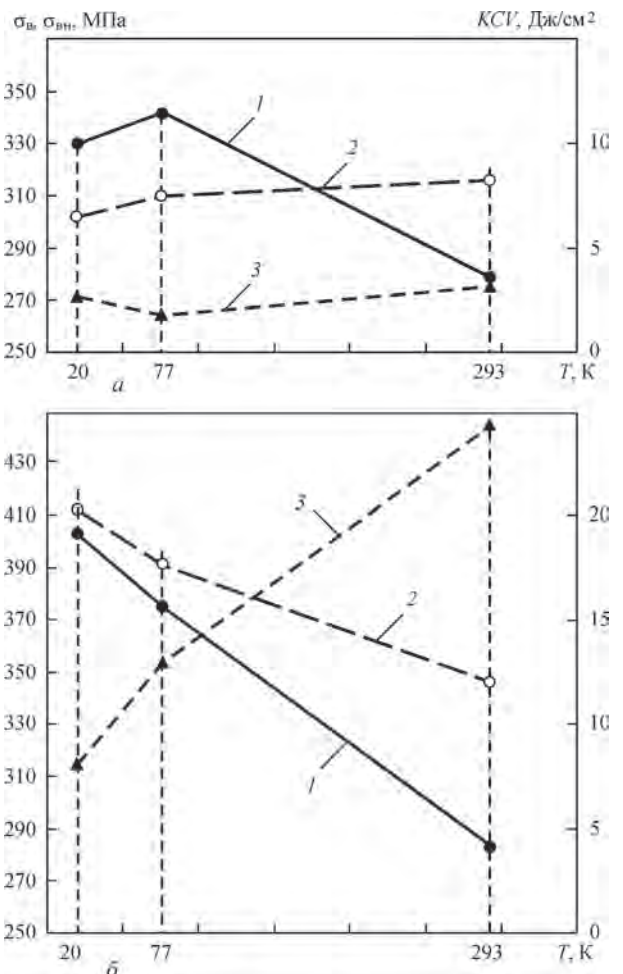


Рис. 7. Залежність механічних властивостей з'єднань сплаву 1460, зварених без присадки (а) і з присадкою зі сплаву 1201 (б) від температури випробувань: 1 – тимчасовий опір гладких зразків (σ_y); 2 – тимчасовий опір зразків з надрізом (σ_b); 3 – ударна в'язкість (KCV)

При зварюванні без присадного матеріалу тимчасовий опір з'єднань при зниженні температури випробувань з 293 до 20 К зростає з 280 до 330 МПа. Тимчасовий опір зразків з надрізом при цьому знижується з 315 до 285 МПа. Це свідчить про зростання чутливості металу шва до концентраторів напружень. Ударна в'язкість металу шва невисока і знаходиться на рівні 2...3 Дж/см² у всьому діапазоні випробувань.

Зниження вмісту літію і збільшення вмісту міді в металі шва при зварюванні з присадкою зі сплаву 1201 дає можливість істотно підвищити механічні властивості з'єднань при криогенних температурах. Міцність з'єднань, зварених з присадним матеріалом при температурі 77 К, підвищується на 10 %, а при температурі 20 К на 20 % в порівнянні зі з'єднаннями, звареними без присадки. Так, тимчасовий опір з'єднань при зниженні температури випробувань з 293 до 20 К зростає з 285 до 405 МПа. Зразки без надрізу при температурах випробувань 20 і 77 К зруйнувалися по лінії сплавлення. Тимчасовий опір зразків з надрізом всюди вище тимчасового опору гладких зразків. При використанні присадки зі сплаву 1201 ударна в'язкість металу шва зростає в 3...10 разів. Вона становить 25 Дж/см² при температурі 293 К і 7,6 Дж/см² при 20 К.

Також були проведені експерименти по ЕПЗ різнойменних сплавів 1460 + 1201. Режим зварювання наведено в табл. 2. Для того, щоб регулювати ступінь участі з'єднуваних сплавів у формуванні зварного шва зазвичай застосовують зміщення електронного променя щодо лінії стику. При ЕПЗ стиків зі сплавів 1460 + 1201 промінь щодо стику не зміщували, а регулювали розподіл густини потужності променя по траєкторії розгортки таким чином, щоб у формуванні шва брало участь 75 % сплаву 1460 і 25 % сплаву 1201. При такому співвідношенні в металі шва розраховували отримати вміст міді близько 4 % і вміст літію близько 1,5 %. Параметри розгортки променя розраховували за методикою, описаною в роботі [12].

Поперечні шліфи з'єднань, результати вимірів твердості і механічні властивості з'єднань сплавів 1460 + 1201 показано на рис. 8 і 9.

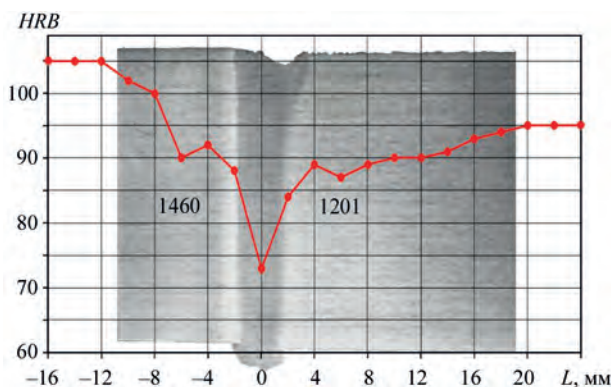


Рис. 8. Поперечний шліф і розподіл твердості в зварному з'єднанні плити сплаву 1460 товщиною 18 мм з плитою сплаву 1201

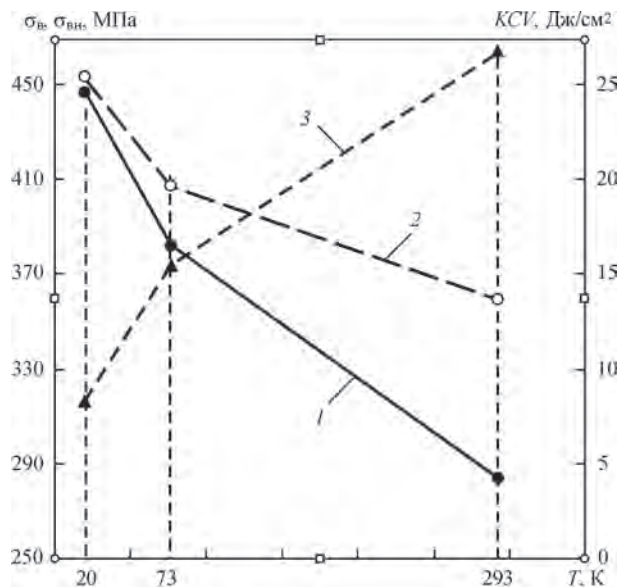


Рис. 9. Залежність механічних властивостей з'єднання плити сплаву 1460 з плитою сплаву 1201 від температури випробувань: 1 – тимчасовий опір гладких зразків ($\sigma_{\text{в}}$); 2 – тимчасовий опір зразків з надрізом ($\sigma_{\text{вн}}$); 3 – ударна в'язкість (KCV)

Твердість основного металу сплаву 1460 становить 105 одиниць *HRB* і 95 одиниць *HRB* для сплаву 1201 при твердості металу шва 73 одиниці *HRB*. Ширина ЗТВ з боку сплаву 1460 не перевищує 12 мм, а з боку сплаву 1201 – 20 мм. У металі шва виявлені окремі пори діаметром до 0,5 мм. Несплавлення і тріщини не виявлені. Хімічний склад металу шва наведено в табл. 3.

Тимчасовий опір з'єднань 1460 + 1201 при кімнатній температурі знаходиться на рівні 285 МПа і збільшується до 445 МПа при зниженні температури до 20 К. Ударна в'язкість при цьому знижується з 26 до 8 Дж/см². При всіх температурах випробувань тимчасовий опір зразків з надрізом вище, ніж у гладких зразків, тобто чутливість до концентраторів напружень у металі шва незначна.

Висновки

1. Механічні властивості зварних з'єднань сплаву 1460 при кімнатній і особливо при криогенних температурах залежать від вмісту міді та літію в металі шва. При збільшенні вмісту міді та зменшенні вмісту літію тимчасовий опір з'єднань при температурах випробувань 20 та 77 К підвищується на 20 і 10 % відповідно. Таку зміну хімічного складу металу шва на практиці можна здійснити, використовуючи в якості присадного матеріалу сплав 1201. Ударна в'язкість металу шва при цьому збільшується в 3...10 разів, а чутливість до концентраторів напружень знижується.

2. Вводити присадний матеріал в зварювальну ванну при ЕПЗ сплаву 1460 доцільно використовуючи вставку, яка розплавляється, зі сплаву 1201. Задовільне формування зварного з'єднання при ЕПЗ з вставкою досягається таким розподілом густини

потужності променя, при якому близько 80 % потужності променя доводиться на кромки, що зварюються, сплаву 1460, а решта 20 % на хвостову частину ванни.

3. Механічні властивості зварних з'єднань різномісних сплавів 1460 + 1201 при температурах випробувань 20, 77 і 293 К знаходяться на рівні не нижче властивостей з'єднань сплаву 1460, зварених з використанням присадного матеріалу 1201.

Список літератури

1. Антипов В.В., Вахромов Р.О., Оглодков М.С. и др. (2016) Свариваемые алюминий-литиевые сплавы третьего поколения. Роль фундаментальных исследований при реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 г.». *Сб. докладов III Всероссийской научно-технической конференции. ФГУП «ВИАМ»*, сс. 2–17. <http://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/VIAM-2016фмм.pdf>
2. Лимаренко А.Л., Ситало В.Г., Литвишко Т.Л. (2002) Свойства и структура высокопрочного свариваемого алюминийно-литиевого сплава 1460. *Космична наука і технологія. Додаток*, 8, 1, 123–126.
3. Маслов Г.Г., Макаров Г.С. (1991) Авиационная металлургия на 39 международном салоне авиационной и космической техники. *Технология легких сплавов*, 12, 109–116.
4. Дриц А.М., Крымова Т.В. (1996) Российский высокопрочный свариваемый алюминийно-литиевый сплав марки 1460. *Цветные металлы*, 3, 68–73.
5. Каблов Е.Н. (2018) Будущее авиации – за алюминий-литиевыми сплавами. *Редкие земли. 2 июля 2018*. <http://rareearth.ru/ru/pub/20180702/04001.html>
6. Махин И.Д., Николаев В.В., Петровичев П.С. (2014) Исследование свариваемости сплавов В-1469 и 01570С с использованием электронно-лучевой сварки применительно к конструкции перспективного пилотируемого корабля. *Космическая техника и технология*, 4, 7, 68–75. <https://www.energia.ru/ktt/archive/2014/04–2014/04–09.pdf>
7. Овчинников В.В., Дриц А.М., Курбатова И.А., Гуреева М.А. (2017) Технология сварки алюминийного деформируемого сплава 1151. *Наукоемкие технологии в машиностроении*, 1, 10–15. <https://riorpub.com/temp/bb71c228829aa59ef9893f95ef3f0191.pdf>
8. Labur, T.M., Grinyuk, A.A., Poklyatsky, A.G. (2006) Mechanical Properties of Plasma Welded joints on Aluminium-Lithium alloys. *The Paton Welding J.*, 6, 32–34.
9. Ramulu, M., Rubbert, M.P. (1990) Gas Tungsten Arc Welding of Al–Cu–Li Alloy. *Welding Research Supplement*, March, 109–114.
10. Фридляндер И.Н., Дриц А.М., Крымова Т.В. (1991) Возможность создания свариваемых сплавов на основе системы Al–Cu–Li. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 9. <https://www.viam.ru/public/files/1991/1991–200808.pdf>
11. Бондарев А.А., Скрябинский В.В., Пещерина С.В., Бутова Е.И. (1991) Особенности электронно-лучевой свар-

ки высокопрочного сплава системы алюминий–медь–литий. *Автоматическая сварка*, 7, 37–40.

12. Скрябинский В.В., Нестеренков В.М., Русиник М.О. (2020) Электронно-променеве зварювання з програмуванням розподілу густини потужності променя. *Автоматичне зварювання*, 1, 51–56.

References

1. Antipov, V.V., Vakhromov, R.O., Oglodkov, M.S. et al. (2016) Welded aluminium-lithium alloys of third generation. Role of fundamental studies in realization of strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period up to 2030. *In: Proc. of 3rd All-Russian Sci.-Tekhn. Conf. FGUP VIAM*, 2-17 [in Russian]. <http://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/%D0%92%D0%98%D0%90%D0%9C-2016%D1%84%D0%BC%D0%BC.pdf>
2. Limarenko, A.L., Sigalo, V.G., Litvishko, T.L. (2002) Properties and structure of high-strength welded aluminium-lithium alloy 1460. *Kosmichna Nauka i Tekhnologiya, Dodatok*, 8, 1, 123-126 [in Russian].
3. Maslov, G.G., Makarov, G.S. (1991) Aviation metallurgy in 39th International Show of Aerospace Engineering. *Tekhnologiya Lyogkikh Splavov*, 12, 109–116 [in Russian].
4. Drits, A.M., Krymova, T.V. (1996) Russian high-strength welded aluminium-lithium alloy of 1460 grade. *Tsvetnye Metally*, 3, 68–73 [in Russian].
5. Kablov, E.N. (2018) *The future of aviation belongs to aluminium-lithium alloys. Redkie Zemli, 2 June 2018* [in Russian]. <http://rareearth.ru/ru/pub/20180702/04001.html>
6. Makhin, I.D., Nikolaev, V.V., Petrovichev, P.S. (2014) Investigation of weldability of V-1469 and 01570S alloys using electron beam welding for design of advanced manned spaceship. *Kosmicheskaya Tekhnika i Tekhnologii*, 4, 7, 68–75 [in Russian]. <https://www.energia.ru/ktt/archive/2014/04–2014/04–09.pdf>
7. Ovchinnikov, V.V., Drits, A.M., Kurbatova, I.A., Gureeva, M.A. (2017) Technology of welding of aluminium wrought alloy 1151. *Naukoyomkie Tekhnologii v Mashinostroenii*, 1, 10–15 [in Russian]. <https://riorpub.com/temp/bb71c228829aa59ef9893f95ef3f0191.pdf>
8. Labur, T.M., Grinyuk, A.A., Poklyatsky, A.G. (2006) Mechanical properties of plasma welded joints on aluminium-lithium alloys. *The Paton Welding J.*, 6, 32–34.
9. Ramulu, M., Rubbert, M.P. (1990) Gas tungsten arc welding of Al–Cu–Li alloy. *Welding Research Suppl.*, March, 109–114.
10. Fridlyander, I.N., Drits, A.M., Krymova, T.V. (1991) Possibility of development of welded alloys based on Al–Cu–Li system. *Metallovedenie i Termich. Obrab. Metallov*, 9 [in Russian]. <https://www.viam.ru/public/files/1991/1991–200808.pdf>
11. Bondarev, A.A., Skryabinsky, V.V., Peshcherina, S.V., Butkova, E.I. (1991) Peculiarities of electron beam welding of high-strength alloy of aluminium-copper-lithium system. *Avtomatich. Svarka*, 7, 37–40 [in Russian].
12. Skryabinsky, V.V., Nesterenkov, V.M., Rusnyk, M.O. (2020) Electron beam welding with programming of beam power density distribution. *The Paton Welding J.*, 1, 51–56.

MECHANICAL PROPERTIES OF JOINTS OF 1460 ALUMINIUM ALLOY, PRODUCED BY ELECTRON BEAM WELDING WITH FILLER MATERIAL FROM 1201 ALLOY

V.V. Skryabinskii, V.M. Nesterenkov, V.R. Strashko

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

E-mail: office@paton.kiev.ua

The paper presents the results of studying the mechanical properties of joints of 1460 alloy and joints of 1460 + 1201 dissimilar alloys, produced by EBW at room and cryogenic temperatures. It is shown that the strength of joints of 1460 alloy, welded using filler material from 1201 alloy at the temperature of 77 K rises by 10 %, and at the temperature of 20 K - by 20 %, compared with joints welded without filler. Mechanical properties of welded joints of 1460 + 1201 dissimilar alloys at testing temperatures of 20, 77 and 293 K are on the level not lower than those of the joints of 1460 alloy, welded with application of 1201 filler material. Welding technology is described and chemical composition of weld metal is given. 12 Ref., 3 Tabl., 9 Fig.

Keywords: electron beam welding, aluminium-lithium alloys, filler material, mechanical properties, welded joints, cryogenic temperatures

Надійшла до редакції 29.11.2020