

УДК 621.791:62-112.81

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ЗВАРЮВАННЯ СТИСНУТОЮ ДУГОЮ НА РУЙНУВАННЯ З'ЄДНАНЬ З АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ 1201

Т. М. ЛАБУР

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ

Досліджено механічні властивості та особливості мікрорельєфу зламів зварних з'єднань з алюмінієвого сплаву 1201, отриманих за різних швидкостей зварювання (24...120 м/х) стиснутою дугою. Встановлено, що найвища пластичність з'єднань за швидкості зварювання 24 м/х, коли на поверхні зламів формується енергоємний ямковий мікрорельєф і деформаційні гребені. Міцність з'єднань при цьому знижується незначно.

Ключові слова: *алюмінієвий сплав, зварювання стиснутою дугою неплавким електродом, швидкість зварювання, міцність, пластичність, мікромеханізм руйнування.*

Mechanical properties and features of fracture microrelief in welded joints of 1201 aluminium alloy, produced by constricted arc welding at different speeds (24...120 m/h) were studied. When welding at the speed of 24 m/h, the joint ductility is the highest, and energy-intensive pit microrelief and deformation ridges are formed on the fracture surface. The strength of joints in this case slightly decreases, but their ductility increases.

Keywords: *aluminium alloy, arc welding with a non-fusible electrode, welding speed, strength, plasticity, fracture micromechanism.*

Вступ. Структурні перетворення, які відбуваються в швах і на межах сплавлення з основним металом внаслідок дії термічного циклу під час зварювання алюмінієвих сплавів, призводять до неоднорідності та різноманітності структурно-фазового стану, а через значний розмір кристалітів металу шва змінюються властивості та механізми руйнування з'єднань [1–3]. На ступінь цієї зміни впливають хімічний склад сплаву, технологічні особливості зварювання, навколишнє середовище та режими навантаження під час експлуатації тощо [4–6]. При цьому в однакових умовах однотипні конструкції можуть руйнуватися за різними механізмами.

Уникнути вказаних перетворень можна плазмово-дуговим зварюванням (стиснутою дугою), яке характеризується більшою концентрацією енергії порівняно з традиційними процесами [4, 5]. Питома потужність плазмового потоку та температура на ділянці, де діє активна пляма нагрівання, сприяють зростанню температурного градієнта металу в площині, перпендикулярній напрямку зварювання, а отже, зменшенню ширини його бокових шарів в рідкому стані. Через це поліпшується проплавлювальна здатність дуги та стабілізується формування швів.

Відомо [4–6], що структурна та хімічна неоднорідність з'єднань пов'язана з терміном перебування металу у відповідних температурних інтервалах. Зі збільшенням швидкості зварювання домішки не встигають віддалитися від фронту кристалізації, тобто можливе розосереджування дендритів твердого розчину, що може забезпечити умови рівномірного розташування між ними фаз. Також з цим пов'язані форма та розміри фаз. Тому вплив швидкості зварювання і темпу кристалізації може проявлятися під час зварювання складнолегованих і чутливих

Контактна особа: Т. М. ЛАБУР, e-mail: tanyalabur@gmail.com

до термічного циклу алюмінієвих сплавів, наприклад сплаву 1201 системи Al–Cu–Mn. Мета цього дослідження – вивчити механічні властивості та мікрофрактографічні особливості руйнування з’єднань цього сплаву залежно від швидкості зварювання стиснутою дугою.

Матеріал та методика. Алюмінієві листи сплаву товщиною 2mm ($\sigma_{UTS} = 423$ МПа, $\sigma_{YS} = 303$ МПа, $\delta = 11,8\%$) та присадний дріт Зв1201 перед зварюванням хімічно очищали, а торець стику механічно шабрували на глибину не менше 0,1 mm (табл. 1). З’єднання отримували зварюванням стиснутою дугою в нижньому положенні. При цьому використовували різнополярний асиметричний струм з прямокутною формою хвилі, оскільки тоді теплове навантаження на вольфрамовий електрод та витрати вольфраму зменшуються, а отже, і маса та розміри плазмотрона.

Таблиця 1. Хімічний склад сплаву 1201 і присадного матеріалу Зв1201

Напівфабрикат	Хімічні елементи, wt%								
	Cu	Mn	Fe	Zr	Si	Zn	Ti	V	Mg
Лист зі сплаву, $\delta = 2$ mm	6,4	0,34	0,18	0,17	0,14	0,05	0,07	0,09	0,02
Дріт Зв1201	6,3	0,32	0,15	0,1	0,1	–	0,14	–	0,02

Застосовували установку фірми “Fronius” TPS-450, зварювали вздовж напрямку вальцювання листа. Співвідношення проміжків часу протікання струму за прямої та зворотної полярності становило 3:1, довжина дуги 6 mm. Зварювальний струм дорівнював 180; 220 і 260 А, а витрати плазмоутворювального газу коливалися від 0,1 до 0,2 l/min. Аргон високої чистоти вживали як захисну атмосферу і основу для формування плазми. Сумарні витрати газу 30 l/min. Для зварювання застосовували дріт діаметром 1,6 mm, швидкість подання якого в стик коливалася від 123 до 142 mm/min залежно від швидкості процесу 24; 72 і 120 m/h. Підкладка з рівчаком розміром 6×1,2 mm забезпечувала якісне формування кореня шва.

Твердість металу в різних зонах з’єднань визначали методом Роквелла (ДСТУ 2824-94). Механічні властивості з’єднань (міцність і кут загину) оцінювали на плоских зразках типу XIII (ДСТУ 6996), вирізаних зі зварних стиків. Випробовували на розтяг три зразки та порівнювали з міцністю основного металу. Оскільки в умовах виробництва зварних деталей та вузлів часто з поверхонь з’єднань механічно усувають технологічне посилення та корінь шва, то оцінювали міцність зразків з (σ_{UTS}^I) та без (σ_{UTS}^W) посилення шва з допомогою машини “Instron-1126”. Швидкість переміщення траверси становила 6 mm/min. Пластичність (кут загину α) визначали в умовах триточкового згину зразків розміром 100×10×2 mm з навантаженням від кореня шва за швидкості 2 mm/min. Посилення і корінь шва також усували. Поверхні руйнування зразків досліджували на сканувальному електронному мікроскопі JSM-840 (JEOL, Японія).

Результати та їх обговорення. Швидкість зварювання стиснутою дугою впливає на розподіл твердості у різних зонах з’єднання (рис. 1), особливо в металі шва (МШ), де вона коливалася в межах 62...86 HRB. Твердість з’єднань, отриманих за швидкості 24 m/h (за витрат тепла 145 kJ/m), становила 65...98 HRB, що на 5 HRB менше, ніж основного металу (103 HRB). Ширина швів при цьому 7...8 mm, а протяжність зони термічного впливу (ЗТВ) 12 mm. Через менші теплові витрати (85 kJ/m) за швидкості зварювання 72 m/h ширина шва та протяжність ЗТВ зменшились на 5...7%.

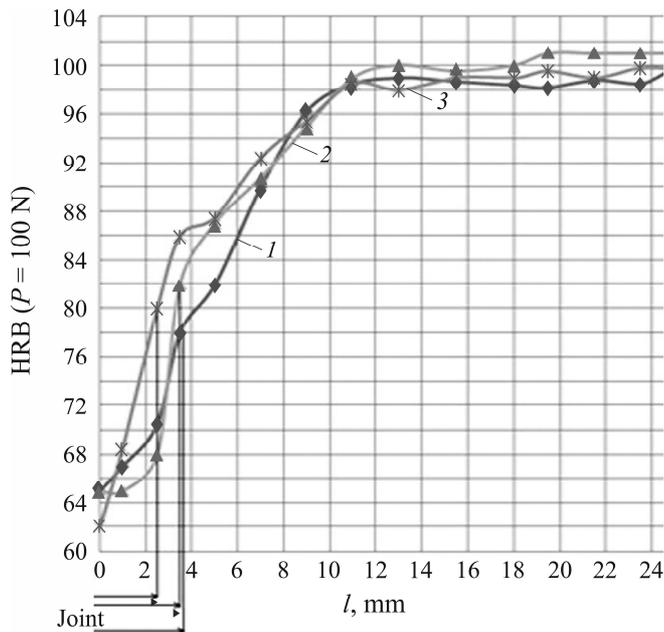


Рис. 1. Залежність твердості різних зон зварних з'єднань листів зі сплаву 1201 товщиною 2 mm від швидкості зварювання стиснутою дугою: 1 – 24 m/h; 2 – 72; 3 – 120.

Fig. 1. Dependence of hardness in different regions of welded joints of 1201 alloy 2 mm thick on the speed of constricted arc welding: 1 – 24 m/h; 2 – 72; 3 – 120.

Виявили (табл. 2), що за швидкості зварювання 24 m/h міцність з'єднань в середньому становить 275,5 МПа, тобто знижується на 30...35% порівняно з основним металом (423 МПа). При цьому міцність зразків зі знятим підсиленням шва дорівнює 239,4 МПа. Коефіцієнт міцності (відношення значень границі міцності за розтягу зразків зварних з'єднань і основного металу) становить 0,57...0,65% у стані після зварювання.

Таблиця 2. Механічні властивості з'єднань залежно від швидкості зварювання стиснутою дугою

Тип зразка	Швидкість зварювання, m/h	$\sigma_{UTS}^J / \sigma_{UTS}^W$, МПа	α , degree
	24	(264,8...288,4) / 275,5	–
	72	(273,1...285,9) / 281,8	–
	120	(270,6...290,3) / 282,6	–
	24	(196,6...257) / 239,4	(55...94) / 73
	72	(241,7...269,8) / 251	(63...68) / 61
	120	(235,9...246,5) / 239,7	(52...61) / 57

Примітка. Подано усереднені значення характеристик за випробування не менше трьох зразків.

Зі збільшенням швидкості зварювання до 72 m/h умови формування перехідної зони від шва до основного металу дещо поліпшуються. Середнє значення міцності з'єднання при цьому становить 281,8 МПа. Міцність зразків без посилення шва змінюється від 241,7 до 269,8 МПа, що на 3...5% вище, ніж зразків зі швами, отриманими за швидкості 24 m/h. З подальшим зростанням швидкості зварювання до 120 m/h параметр σ_{UTS}^J майже не змінюється, а σ_{UTS}^W становить в середньому 239,7 МПа, що відповідає значенню, визначеному за швидкості 24 m/h (табл. 2). Таким чином, зі збільшенням швидкості зварювання у 5 разів міцність досліджуваних з'єднань практично не змінюється. Відчутніше реагує на її зміну пластичність, яку характеризує кут α (табл. 2): він зменшується на 22% зі зростанням швидкості від 24 до 120 m/h.

Це проявляється в деякій трансформації типового для сплаву 1201 в'язкого мікромеханізму руйнування. За швидкості зварювання 24 м/х утворюється типовий ямковий мікрорельєф поверхні зламу з деформаційними гребенями (рис. 2а, б), що властиве матеріалам з високою в'язкістю руйнування. За швидкості 72 м/х такий рельєф зберігається, проте деформаційні гребені менш чіткі (рис. 2с, д). Ця тенденція посилюється за швидкості зварювання 120 м/х, коли з'являються ділянки розшарування на площинах ковзання (рис. 2е, ф), але загалом мікромеханізм руйнування залишається в'язким і енергоємним.

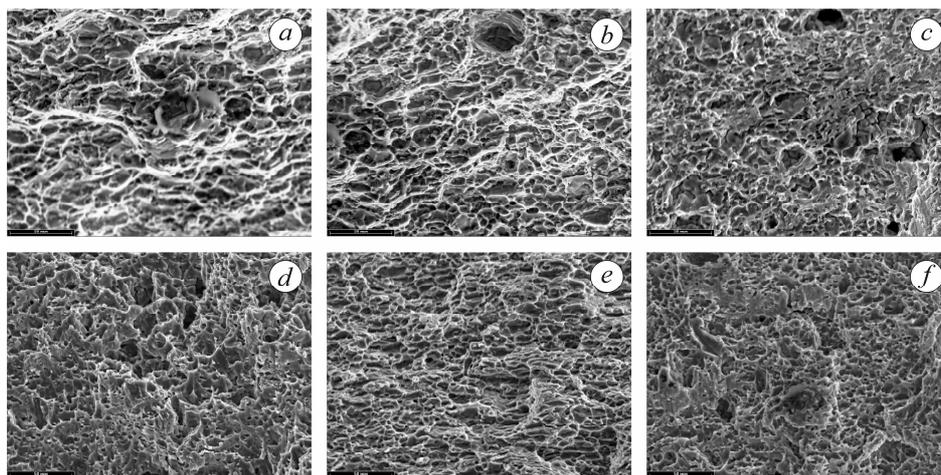


Рис. 2. Мікрофрактограми з'єднань, отриманих за різної швидкості зварювання стиснутою дугою: а, б – 24 м/х; с, д – 72; е, ф – 120; а, с, е – зразки з посиленням шва; б, д, ф – без посилення (×500).

Fig. 2. Microfractograms of samples joints produced at different speeds of constricted arc welding: а, б – 24 m/h; с, д – 72; е, ф – 120; а, с, е – samples with weld reinforcement; б, д, ф – without weld reinforcement (×500).

ВИСНОВКИ

Встановлено, що за вибраної технології зварювання листів завтовшки 2 mm зі сплаву 1201 міцність з'єднань складає 0,57...0,67 від міцності основного металу і практично не залежить від швидкості зварювання в діапазоні 24...120 м/х. Причому зі зростанням швидкості до 120 м/х пластичність з'єднань зменшується на 22%, що проявляється у деякій трансформації мікромеханізму руйнування, хоча він залишається переважно в'язким ямковим. Тому необхідно оптимізувати технологію зварювання, щоб досягнути однакової міцності різних зон з'єднань з цього сплаву.

1. *Владимиров В. И.* Физическая природа разрушения металлов. – М.: Металлургия, 1984. – 280 с.
2. *Кишкина С. И.* Сопротивление разрушению алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1981. – 280 с.
3. *Херцберг Р. В.* Деформация и механика разрушения конструкционных материалов / Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1989. – 576 с.
4. *Ищенко А. Я.* Алюминиевые высокопрочные сплавы для сварных конструкций // Прогресивні матеріали і технології. – К.: Академперіодика, 2003. – Т. 1. – С. 50–82.
5. *Ищенко А. Я., Лабур Т. М.* Сварка современных конструкций из алюминиевых сплавов. – К.: Наук. думка, 2013. – 416 с.
6. *Кононенко В. Я.* Сварка алюминиевых сплавов: Справ. – К.: Экотехнология, 2010. – 216 с.

Одержано 31.07.2023