

УДК 669.715:669

ЗВАРЮВАНІСТЬ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АК9М2

ст. викл. Лютова О.В.; д.т.н., проф. Волчок І.П.

Запорізький національний технічний університет

Зварювання дозволяє створювати складні просторові конструкції з простих елементів, що суттєво розширює застосування ливарних алюмінієвих сплавів.

При оцінюванні зварюваності сплавів першочергове значення мають стійкість з'єднань проти утворення гарячих тріщин та механічні властивості виробів.

Із сплаву АК9М2, шихта для виготовлення якого містила від 1 до 19% стружки, від 0,66 до 2,34% заліза та розплав було оброблено модифікатором в кількості від 0,02 до 0,22% [1; 2], виготовляли пластини розміром 120x100x5 мм і відповідно вимогам ГОСТ 14806-80 виконували оброблення кромки. Перед зварюванням пластини були оброблені травником, що містив HNO_3 і HF , впродовж 20...30 секунд, обмиті проточною водою та просушені сухим повітрям з температурою +20...25°C. Технологія зварювання обиралася з урахуванням інформації, яка викладена у роботах [3; 4].

Зварювання проводили на установці УДГУ-251 в середовищі аргону змінним струмом. Режим зварювання характеризувався силою зварювального струму $I_{зв}=120...140$ А і напругою на дузі $U_d=20...24$ В. Присадним металом слугував сплав АК9М2 того ж складу, що і основний метал. З отриманих зварних з'єднань виготовляли стандартні пласкі зразки за ГОСТ 6996-66 з концентратором напружень для випробувань на розтяг (рис. 1). Випробування на стійкість проти утворення гарячих тріщин проводили за методикою "точковий шов" [5], яка імітує технологічний процес усунення дефектів лиття і зварного шва. Згідно з цією методикою випробування проводили в два етапи. На I етапі в зразках розміром 200x150x6 мм свердили заглиблення діаметром 10 мм і глибиною 3...5 мм, які заварювали аргоно-дуговим методом з присадкою металу того ж складу, що і основний метал. Протягом II етапу "точкові шви" зачищали та піддавали подальшому розплавленню. При цьому режим зварювання характеризувався наступними параметрами: $I_{зв}=300$ А, $U_d=13$ В, $t_{зв}=20$ с [5]. Наявність тріщин визначається візуально на межі сплавлення та у кратері шва.

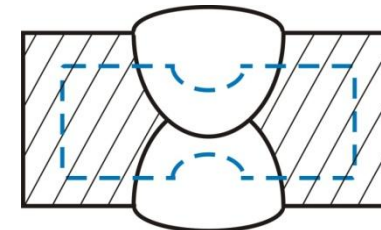
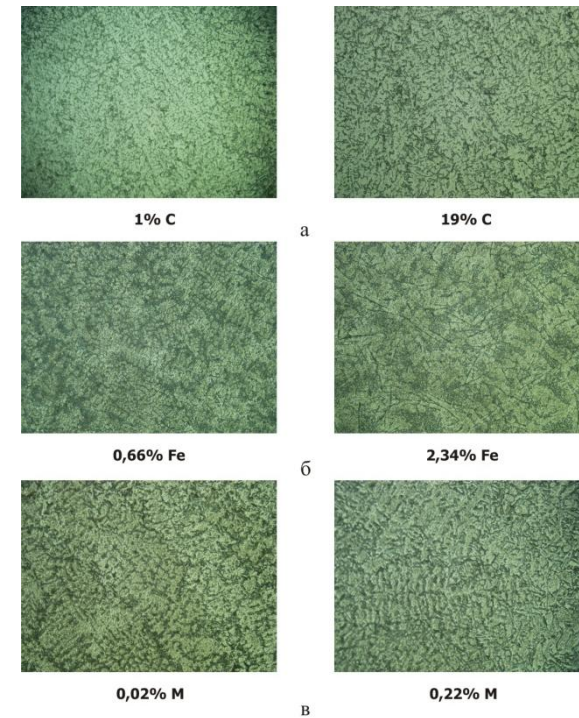


Рис. 1. Схема вирізання зразка для випробувань на розтяг (пунктир) зі зварного металу.

В ході виконання роботи всі дослідження проводили на зразках, виготовлених з литого металу без термічного оброблення та після термічного оброблення (т.о.) за режимом Т6 (гартування + штучне старіння), оскільки цей режим передбачений ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93) для сплаву АК9М2.

Дослідження впливу кількості стружки, заліза та модифікатора на мікроструктуру зварного шва без термічного оброблення дозволило зробити висновок, що підвищення вмісту стружки та заліза негативно впливало на структуру металу, яка ставала менш впорядкованою та менш щільною зі значною кількістю інтерметалідних фаз несприятливої морфології (рис. 2 а, б). Зі збільшенням кількості заліза, внаслідок його низької розчинності в алюмінії, значно підвищувалася об'ємна доля залізовмісних фаз пластинчастої форми (рис. 2 б). Модифікатор, окрім модифікувальної дії, оказував рафінувальний вплив, що сприяло отриманню щільного металу з дрібнодисперсною структурою та рівномірним розташуванням структурних складових за об'ємом (рис. 2 в).



а – вплив стружки С; б – вплив заліза Fe; в – вплив модифікатора М

Рис. 2. Вплив стружки, заліза та модифікатора на мікроструктуру зварного шва без термічного оброблення (x500).

Вцілому, аналізуючи структуру металу зварного шва, слід відмітити, що порівняно з основним металом, вона відрізняється підвищеними щільністю та дисперсністю. Це можна зв'язати з високою швидкістю охолодження металу, внаслідок значної теплопровідності алюмінію та його сплавів, а також сприятливою дією аргону, який є ефективним рафінуючим агентом алюмінієвих сплавів.

Проведення термічного оброблення показало, що порівняно з основним металом, макро- і мікроструктура зварного шва була значно більш дисперсною та не піддавалась значним змінам (рис. 3) під дією високих температур.

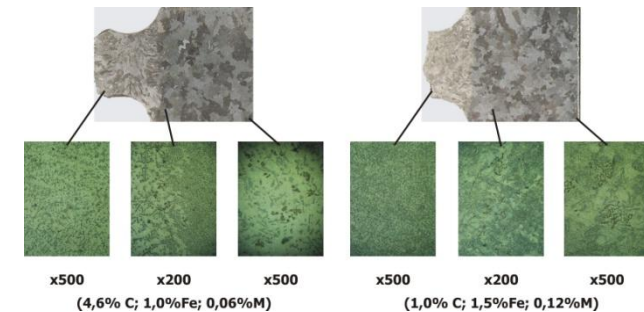


Рис. 3. Вплив термічного оброблення на макро- і мікроструктуру металу зварного шва.

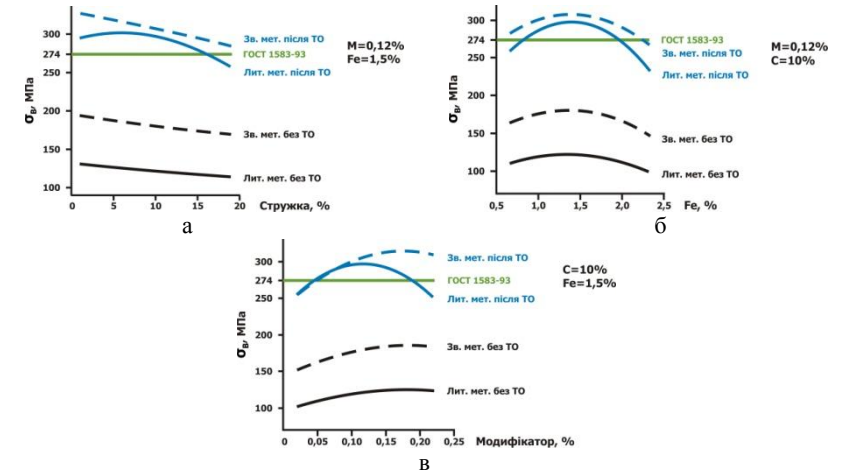
За отриманими даними була побудована система рівнянь другого порядку, які описували залежність механічних властивостей литого [1] та наплавленого [2] металів від вмісту стружки і заліза в шихті та від присадки модифікатора.

Графічний аналіз рівнянь дозволив прослідкувати динаміку змін механічних властивостей металу залежно від вище названих факторів (рис. 4, 5, 6) та термічного оброблення.

Результати, наведені на рисунку 4, свідчать про значно вищі значення межі міцності зварного металу у порівнянні з литим металом до термічного оброблення в усьому діапазоні, який вивчається. Пояснюється це більш однорідною та дрібнодисперсною структурою зварного шва відносно основного металу (рис. 3). Термічне оброблення за режимом T6, метою якого є досягнення максимальної міцності, сприяло підвищенню межі міцності, як литого металу, так і металу зварного шва.

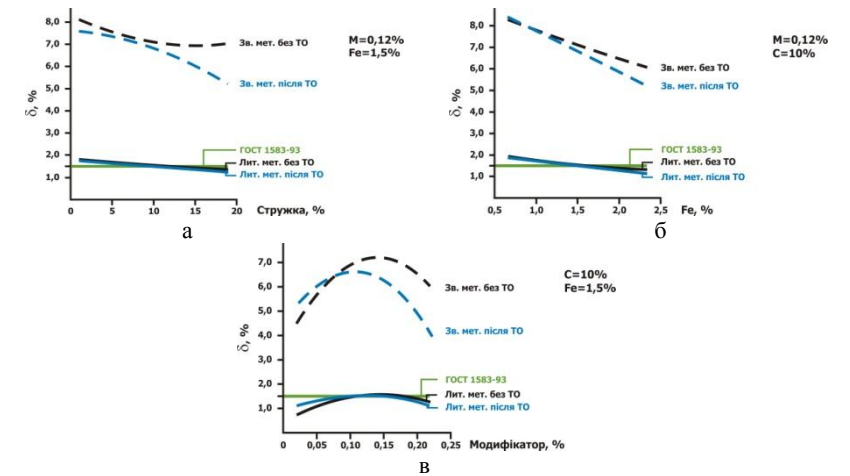
Після термічного оброблення різниця показників міцності між литим металом і зварним швом значно менша, але все ж таки існує, що підтверджує наявність спадковості структури та властивостей алюмінієвих сплавів. В той же час чітко спостерігався негативний вплив збільшення кількості стружки в шихті, яка вносила значну кількість неметалевих включень і різних домішок, а також заліза. Якщо його концентрація перевищувала 1,5 мас.%, це

призводило до появи значної кількості пластинчастих інтерметалідних фаз Al_5FeSi та $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ зі значним параметром форми λ (відношення максимальної довжини включення до його товщини), який сягав значень 30...46.



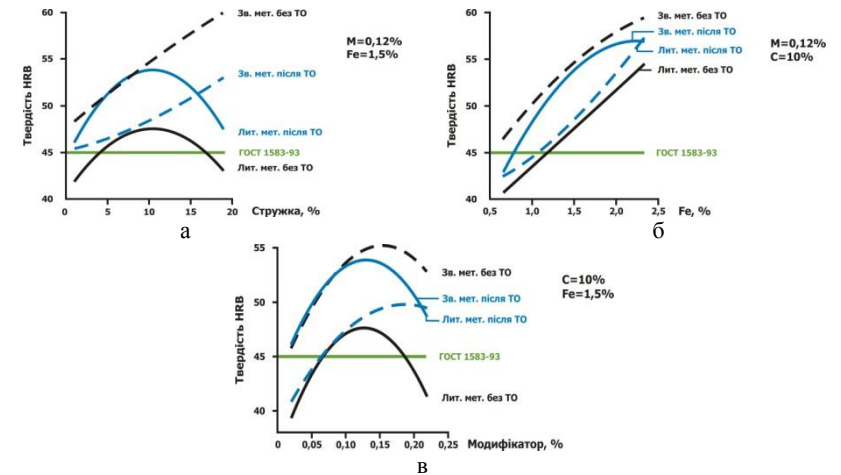
а – вплив стружки; б – вплив заліза; в – вплив модифікатора

Рис. 4. Вплив вмісту стружки, заліза та модифікатора на межу міцності зварного шва.



а – вплив стружки; б – вплив заліза; в – вплив модифікатора

Рис. 5. Вплив вмісту стружки, заліза та модифікатора на відносне видовження зварного шва.



а – вплив стружки; б – вплив заліза; в – вплив модифікатора

Рис. 6. Вплив вмісту стружки, заліза та модифікатора на твердість зварного шва.

Оптимальною кількістю модифікатора при обробленні литого металу слід вважати 0,10...0,15 мас.%, а для зварного з'єднання – 0,15...0,20 мас.%. Більш високий вміст модифікатора необхідний для зварного металу, обумовлений меншим вмістом його компонентів у складі електрода та їх частковим вигоранням під час зварювання (рис. 4 в).

Збільшення вмісту стружки в шихті призвело до зниження пластичності сплаву (рис. 5 а). Однак цей показник приблизно у 4 рази вище у зварного металу ніж у литого. Обумовлено це отриманням сприятливої дрібнодисперсної структури металу зварного шву та значно кращим ступенем його рафінування, який забезпечується при аргоно-дуговому зварюванні за рахунок аргону. Підвищення вмісту заліза спричинило збільшення кількості крихких інтерметалідних включень, що негативно вплинули на пластичність (рис. 5 б). Виходячи з отриманих залежностей, для досягнення максимальних значень відносного видовження δ в зварному металі без термічного оброблення, а також після нього за режимом Т6, кількість модифікатора повинна бути у межах 0,10...0,15 мас.% (рис. 5 в). При такій концентрації модифікатора забезпечується поєднання необхідних значень міцності та пластичності, що регламентується вимогами ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93) (рис. 4, 5). При більшому вмісті модифікатора спостерігалось зниження механічних властивостей металу, обумовлене ефектом перемодифікування.

При дослідженні твердості (рис. 6) було встановлено, що при збільшенні кількості стружки до 10 мас.% твердість литого металу підвищувалася, як у литому, не термообробленому, так і в термообробленому стані. Обумовлено це внесенням стружкою значної кількості тугоплавких і твердих сполук, зокрема Al_2O_3 . При більш високому вмісті стружки спостерігалось

підвищення пористості, що сприяло зниженню твердості литого металу. У той же час в зварному металі не спостерігалось зниження твердості, що можна пояснити відсутністю в ньому пористості та його високою щільністю.

Підвищення вмісту заліза забезпечило збільшення кількості та об'ємної долі залізовмісних інтерметалідних включень Al_5FeSi та $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ з мікротвердістю 5,8 та 5,95 ГПа відповідно [6; 7], які виконували роль зміцнювальних фаз та забезпечили підвищення твердості в усьому діапазоні, що вивчався (рис. 6 б).

Оптимальною кількістю модифікатора, з точки зору отримання максимальної твердості литого та зварного металів, слід вважати 0,10...0,15 мас. % (рис. 6 в).

Таким чином, метал зварних з'єднань сплаву АК9М2 за міцністю, відносним подовженням та твердістю не тільки не поступається, а й перевищує литий основний метал.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. **Лютова, О.В.** Влияние металлургических факторов производства на качество силуминов [Текст] / О.В. Лютова, И.П. Волчок // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. – Дн-ск: ПГАСА, 2008. – Вып. 45 (ч. 3). – С. 34-41.
2. **Лютова, О.В.** Свариваемость вторичных алюминиевых сплавов [Текст] / О.В. Лютова, И.П. Волчок // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. – Дн-ск: ПГАСА, 2010. – Вып. 55 (ч. 3). – С. 34-41.
3. **Николаев, Г.А.** Свариваемые алюминиевые сплавы [Текст] / Г.А. Николаев, И.Н. Фридляндер, Ю.П. Арбузов. – М.: Металлургия, 1990. – 295 с.
4. **Овчинников, В.В.** Технология сварки алюминиевых сплавов [Текст] / В.В. Овчинников: учебное пособие. – М.: МГИУ, 2004. – 68 с.
5. **Гаврилин, С.В.** Оценка свариваемости алюминиевых сплавов по технологической пробе "точечный шов" [Текст] / С.В. Гаврилин, А.Я. Ищенко // Автоматическая сварка. – 1996. – № 10. – С. 55-56.
6. **Белов, Н.А.** Фазовая диаграмма системы Al-Cu-Fe-Mg-Si в области Al-Cu-сплавов [Текст] / Н.А. Белов, А.В. Кольцов // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2002. – № 2. – С. 37-48.
7. **Иванько, А.А.** Твердость. Справочник [Текст] / А.А. Иванько – К.: Наукова думка, 1968. – 128 с.