
УДК 669.715:669

СВАРИВАЕМОСТЬ ВТОРИЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

асп. О.В. Лютова, д.т.н., проф. И.П. Волчок

Запорожский национальный технический университет

Наибольшее распространение среди литейных алюминиевых сплавов нашли силумины, характеризующиеся благоприятным сочетанием механических и технологических свойств. Согласно литературным данным [1,2,3], свойства силуминов в значительной мере определяются процессами металлургического передела и качеством шихты. В последние годы при производстве алюминиевых сплавов всё более широкое применение находят вторичные шихтовые материалы: литники, брак, стружка и прочее. Вследствие загрязнения этих материалов маслами, железом, пластмассами и другими примесями снижаются механические и технологические свойства силуминов. Анализ литературных данных показывает, что железо, попадающее в расплав с шихтой, приводит к образованию грубых интерметаллидных фаз и, как следствие, к снижению прочности, пластичности [4] а также к ухудшению технологических свойств силуминов.

Следует отметить, что литературные данные о влиянии шихты и процессов рафинирования и модифицирования на свариваемость вторичных алюминиевых сплавов часто противоречивы и не систематизированы. В связи с этим была поставлена задача изучить комплексное влияние качества шихты (количество стружки), содержания железа и присадки модификатора [5] на свариваемость вторичного сплава АК9М2.

В качестве шихты использовали сплав АК9М2 в чушках, полученный из 100% вторичного сырья в пламенных печах ЕНW5000, и стружку сплава АК9М2 после прокатки и брикетирования на гидравлическом прессе. Плавку осуществляли в печи сопротивления в чугунном тигле под покровным флюсом (62% NaCl, 13% KCl, 25% NaF) в количестве 2% от массы жидкого металла. После расплавления и нагрева металла до 700 °С в него вводили порошок железа и обрабатывали модификатором [5] (ввод с помощью колокольчика). После выдержки в течение 3 минут металл отливали в металлическую клиновидную форму. Из полученного слитка вырезали пластины, производили разделку кромок по ГОСТ 14806-80 и выполняли их сварку на установке УДГУ-251 в среде аргона, присадка – сплав АК9М2 того же состава, что и основной металл. Из полученных сварных соединений вырезали стандартные плоские образцы по ГОСТ 6996-66 с концентратором напряжений для испытаний на растяжение.

Экспериментальные плавки проводили в соответствии с планом многофакторного эксперимента второго порядка 2^3 (табл. 1). В качестве независимых переменных были приняты содержание стружки в шихте (С), содержание железа в сплаве (Fe) и количество модификатора (М). Выбор этих независимых переменных объяснялся следующими соображениями. Согласно литературным, данным качество шихты, а именно, содержание в ней стружки, влияет на газонасыщенность сплава, а, следовательно, и на уровень технологических свойств. От содержания железа зависит не только

количество, но и форма комплексных интерметаллидных фаз, что оказывает значительное влияние на свойства сварного соединения. При использовании модифицирующей обработки жидкого расплава происходит изменение морфологии интерметаллидных фаз, оказывающее значительное влияние на структуру, прочность и пластичность сварного соединения.

Таблица 1

Кодирование факторов с помощью ротатабельного плана второго порядка

Интервалы варьирования и уровни факторов		Исследуемые факторы		
		X ₁ (C,%)	X ₂ (Fe, %)	X ₃ (M, %)
Нулевой уровень X ₀ = 0		10	1,5	0,12
Интервал варьирования	1,0	5,4	0,5	0,06
	1,628	9	0,84	0,10
Нижний уровень	X = -1,0	4,6	1,0	0,06
Верхний уровень	X = +1,0	15,4	2,0	0,18
Звёздные точки	X = -1,682	1	0,66	0,02
	X = +1,682	19	2,34	0,22

В качестве функций отклика при построении математических моделей были приняты: предел прочности сварного соединения σ_b , относительное удлинение δ ; твердость сварного шва HRB шва; твердость зоны термического влияния HRB (ЗТВ). Обработку экспериментальных данных проводили методом регрессионного анализа. После проверки адекватности моделей и перехода к натуральным переменным была получена система уравнений второго порядка:

$$\sigma_b = 92,13 - 1,82C^2 + 98,42Fe + 465,8M - 0,04CFe + 0,8CM - 8FeM + 0,02C^2 - 35,8Fe^2 - 1255,56M^2$$

$$\delta = 9,16 - 0,46C - 1,6Fe - 38M + 0,04CFe + 1,88CM - 3FeM + 0,005C^2 + 0,08Fe^2 - 186,11M^2$$

$$HRB_{шва} = 19,1 + 0,72C + 15,4Fe + 155,64M - 0,02CFe + 0,59CM + 1,33FeM - 0,006C^2 - 2,44Fe^2 - 533,33M^2$$

$$HRB(ЗТВ) = 22,04 + 0,79C + 8,81Fe + 148,96M + 0,04CFe + 0,8CM + 13,67FeM - 0,03C^2 - 1,04Fe^2 - 630,56M^2$$

Как и следовало ожидать, исследуемые металлургические факторы производства (состав шихты и рафинирующе-модифицирующая обработка жидкого метала) оказали существенное влияние на количество и строение интерметаллидных фаз. На рис.1 представлены типичные микроструктуры, иллюстрирующие влияние количества стружки в шихте, содержания железа в сплаве и количества модификатора на количество, форму и распределение интерметаллидных фаз. Как видно из представленных данных, с увеличением содержания стружки с 1 до 19% увеличивалась объемная доля железосодержащих фаз (рис.1 а, б). С увеличением количества железа с 0,66 до 2,34% (см. рис.1 в, г) также объемная доля железосодержащих фаз становилась больше. При присадке модификатора 0,02% включения располагались преимущественно по границам зерен (рис.1 д), при присадке

0,22% наблюдалось более равномерное распределение структурных составляющих (рис.1 е).

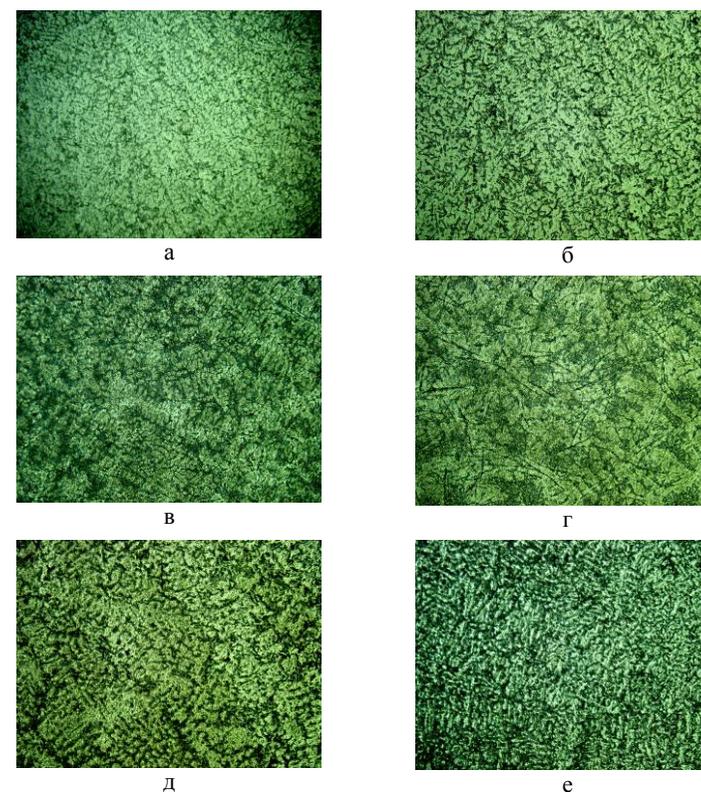


Рис.1. Структура сварного шва сплава АК9М2 (x500):
а – 1% стружки; б – 19% стружки; в – 0,66% железа; г – 2,34% железа;
д – 0,02% модификатора; е – 0,22% модификатора.

С целью анализа влияния исследуемых параметров на качество сплава выполнили графический анализ полученных регрессионных уравнений. При этом содержание одного из элементов задавалось постоянным, соответствующим нулевому уровню матрицы планирования, содержание второго элемента равнялось трём значениям (нижний, нулевой и верхний уровни), содержание третьего элемента изменялось в исследуемых в данной работе пределах.

Как видно из рисунка 2, при содержании стружки 10% с увеличением количества модификатора до 0,12%...0,15% повышались предел прочности,

относительное удлинение и твердость сварного соединения сплава АК9М2. При дальнейшем увеличении количества модификатора имело место снижение этих показателей вследствие перемодифицирования сплава.

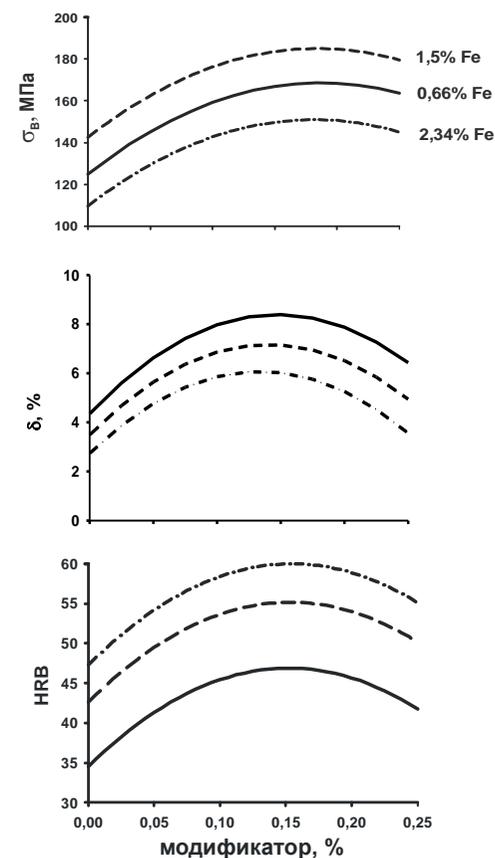


Рис.2. Влияние модификатора и железа (стружка = 10%) на свойства сплава АК9М2

При содержании модификатора 0,12% с увеличением количества железа до 1,3% имело место повышение предела прочности на 15...20%; при более высоких концентрациях железа происходило монотонное снижение этого показателя (рис.3). Это явление можно объяснить увеличением количества интерметаллидных железосодержащих фаз и ростом сопротивления движению дислокаций и соответственно, увеличением прочности сварного соединения. Снижение предела прочности объясняется, на наш взгляд,

увеличением количества и размеров железосодержащих фаз иглоподобной формы вызывающим охрупчивание металла.

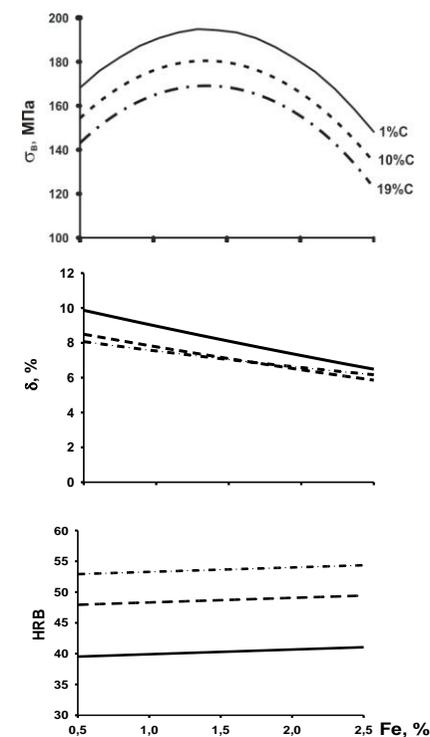


Рис.3. Влияние железа и стружки (модификатор = 0,12%) на свойства сплава АК9М2.

С ростом концентрации железа происходило снижение пластичности, что согласуется с данными [6], а твердость монотонно возрастала во всем исследуемом интервале [7].

На основании полученных графических зависимостей можно рекомендовать допустимое содержание стружки в шихте до 20%, содержание железа в сплаве до 1,2%, модификатора 0,15-0,18%. Для получения механических свойств, соответствующих требованиям ГОСТ 1583-93, сварные соединения термообработывались по режиму Т6. При этом, вследствие быстрого охлаждения сварного шва, в нем наблюдалось измельчение и равномерное распределение структурных составляющих. В

тоже время в основном металле железосодержащие фазы имели крупные размеры и форму неправильных многоугольников (рис. 4).

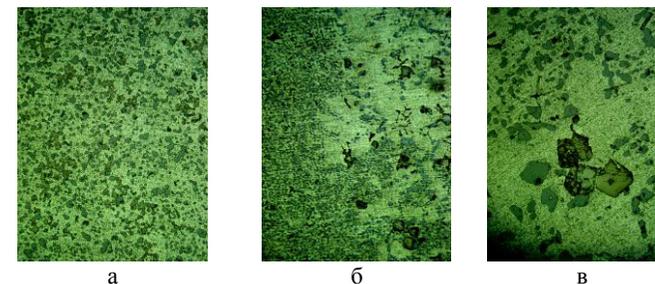


Рис.4. Микроструктуры металла сварного соединения:
а – сварной шов,х500; б – зона сплавления,х200; в – основной металл,х500.

Коэффициент прочности сварного соединения составляет 1,3 (табл. 2).

Таблица 2

Механические свойства сварного шва и основного металла

Показатель	Основной металл	Сварной шов
Предел прочности σ_B , МПа	233	298
Относительное удлинение δ , %	1,6	5,9

Испытания на стойкость против образования горячих трещин проводились по методике "точечный шов" [8], имитирующей технологический процесс устранения дефектов литья и сварного шва. Трещин в процессе испытаний не было обнаружено, что подтверждают литературные данные об удовлетворительной свариваемости силуминов.

В целом результаты проведенных исследований показали, что соответствующая подготовка шихтовых материалов и модифицирование жидкого расплава обеспечивают хорошую свариваемость алюминиевых сплавов, полученных с использованием вторичного сырья.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Волчок, И.П. Влияние количества вторичных шихтовых материалов на качество и механические свойства сплава АК9М2 [Текст] / И.П. Волчок, А.А. Митяев, С.Г. Рязанов // Литьё и металлургия.-2004.-№2.-С.182-184

2. Беліков, С. Вплив металургійних факторів на корозійну стійкість вторинного сплаву АК9М2 [Текст] / С. Беліков, О. Мітяєв, О. Лютова // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів: В 2-х т./ Спец. випуск журналу "Фізико-хімічна механіка матеріалів" - №5-Львів: Фіз-мех. інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2006.-Т1.-С.149-151
3. Рязанов, С.Г. Влияние металлургических факторов на структуру и свойства силуминов [Текст] / С.Г. Рязанов, А.А. Митяев, И.П. Волчок // Литье и металлургия.-2003.-№1.-С.101-105
4. Волчок, І.П. Вплив інтерметалідних включень на міцнісні властивості алюмінієвих сплавів [Текст] / І.П. Волчок, В.Г. Силованюк, О.А. Мітяєв, Н.А. Івантишин // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні.-2007.-№2.-С.17-21
5. Модифікатор для алюмінієвих сплавів [Текст]: пат. 57584А Україна, МКВ С22С1/06/ І.П. Волчок, О.А. Мітяєв (Україна).-№2002108343; заявл. 22.10.2002; опубл. 16.06.2003, Бюл.№6 – 33с.
6. Мондольфо, Л.Р. Структура и свойства алюминиевых сплавов [Текст] / Л.Р. Мондольфо. -М.: Металлургия, 1978.-640с.
7. Мітяєв, О.А. Науково-технологічні основи формування структури, фізико-механічних і службових властивостей вторинних силумінів [Текст]: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-р. техн. наук : 20.10.2008 / Мітяєв Олександр Анатолійович. – Запоріжжя, 2008. – 32с.
8. Гаврилин, С.В. Оценка свариваемости алюминиевых сплавов по технологической пробе точечный шов [Текст] / С.В. Гаврилин, А.Я. Ищенко // Автомат сварка. – 1996. - №10. –С.55-57.