

ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ТРАНСПОРТНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Алюмінієві сплави широко використовують у транспортному машинобудуванні, будівельній та електро-технічній промисловостях. Внаслідок цього щорічно збільшується кількість відходів та скрапу алюмінію, що потребує повторної переробки. У роботі розглядається технологія підвищення щільності, механічних та службових властивостей вторинних алюмінієвих сплавів.

Алюминиевые сплавы широко применяются в транспортном машиностроении, строительной и электротехнической промышленности. Вследствие этого ежегодно растет количество отходов и скрапа алюминия, которые требуют повторной переработки. В работе рассматривается технология повышения плотности, механических и служебных свойств вторичных алюминиевых сплавов.

Aluminium alloys are widely used in transport machinery, building and electrical industry. Owing to this reason, considerable volumes of aluminium waste and scrap are produced. The technology of increasing the density, mechanical and service properties of reusable aluminium alloys is considered in the paper.

Благодаря малой плотности, хорошей коррозионной стойкости и достаточно высокой удельной прочности алюминиевые сплавы по широте применения занимают второе место после стали и чугуна. Темпы производства и освоения крылатого металла впечатляют: 1855 год – 0,006 т; 1885 – 15 т; 1900 – 8000 т; 1920 – 128 000 т; 1946 – 681000 т; 1999 – 24 млн т; 2004 – 31 млн т первичного алюминия. Структура использования алюминия и его сплавов в Европе следующая: транспортное машиностроение – 26 %, строительная индустрия – 20 %, упаковочные материалы – 20 %, электротехническая промышленность – 9 %, другие сферы – 25 % [1].

Широкое применение алюминия и сплавов на его основе в транспортном машиностроении определяется высокими показателями удельной прочности, повышенной коррозионной стойкостью, а также способностью к демпфированию колебаний и большому поглощению энергии. Эти показатели особенно важны при производстве железнодорожного и автомобильного транспорта. В связи с этим темпы использования изделий из алюминиевых сплавов в легковых автомобилях имеют устойчивую тенденцию к росту (рис. 1). Эксперты считают, что максимально возможный предел использования алюминиевых сплавов в легковом автомобиле составляет 200 кг.

По данным фирм Volvo, Mercedes, выпускающих большегрузные автомобили, в грузовом автомобиле можно использовать в среднем до 2000 кг алюминия и его сплавов. Себестоимость таких автомобилей выше серийных, однако, эта разница окупается уже после 16 меся-

цев эксплуатации. За 10 лет использования таких автомобилей обеспечивается снижение выбросов угарного и углекислого газов в окружающую атмосферу на 60 т, а экономия на топливе при эксплуатации за этот период составляет порядка 18000 евро.

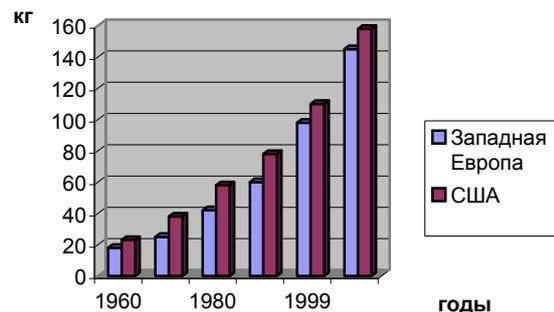


Рис. 1. Динамика использования изделий из алюминиевых сплавов в легковых автомобилях

Высокая потребность в алюминии обусловлена его малой плотностью; локомотивы, суда, вагоны, автомобили, изготовленные из стали, слишком массивны. Доля полезного груза в автотранспорте составляет 10...20 %, в железнодорожном – 40...50 %, т. е. более половины энергии расходуется на транспортирование самого транспортного средства. Экспериментально установлено, что при замене 12 % стальных деталей на алюминиевые, полезная нагрузка и количество перевозимых пассажиров увеличились на 40 %. При широком использовании алюминия в поездах метро и трамваях в два

раза снижается потребление электрической энергии при разгонах и торможениях. В аэрокосмической промышленности элементы фюзеляжа, крыльев, топливные баки криогенных жидкостей, корпуса ракет изготавливаются из алюминиевых сплавов; в железнодорожном транспорте в Европы на сегодняшний день 80 % вагонов изготовлены с использованием алюминиевых сплавов (фирмой «Hitachi» произведено более 200 шт. железнодорожных вагонов из алюминиевых прессованных панелей) [1].

Следует отметить, что стоимость алюминиевых сплавов превышает стоимость чугунов, углеродистых и низколегированных сталей. В связи с этим замена сплавов на основе железа алюминиевыми сплавами часто оказывается целесообразной лишь при условии использования в качестве шихты дешевого вторичного алюминия. В мире наиболее крупными потребителями алюминия и соответственно поставщиками его скрапа являются: машиностроение, транспорт, строительная промышленность (табл. 1).

Таблица 1

Образование скрапа при производстве и применении изделий из алюминия [2]

Отрасль	Изделие	Жизненный цикл, лет	Образование скрапа в производстве, %	Коэффициент сбора лома изделий, %
Транспорт	Пассажирский самолет	25...30	100...122	85...90
	Автомобиль	12...15	25...43	50...85

По расчетам Международного института алюминия (IAI) в мире накопилось около 400 млн т алюминия. В последние годы возрос интерес к силуминам, которые обладают удовлетворительным сочетанием литейных, механических, служебных свойств. Получение вторичных силуминов экономически целесообразно и требует в 20 раз меньших затрат, чем на изготовление первичных [3].

Для успешного и широкого применения этих сплавов необходимо обеспечить в них благоприятную структуру и высокие свойства на первоначальных стадиях получения металла. С целью снижения пористости, улучшения структуры и механических свойств силуминов, шихта которых состояла из лома и отходов производства алюминия, опробованы три варианта технологии обработки жидкого расплава стандартными флюсами и модифицирующе-рафинирующими комплексами [4] в количестве 0,05 и 0,075 % от массы жидкого металла.

Промышленные плавки сплава АК12М2 проводили в пламенной печи отражательного типа ЕНW5000.

Суть вариантов заключалась в следующем: I – плавка под покровным флюсом (33 % KCl + 67 % NaCl) с последующим рафинированием путем продувки флюса Ф1 (15 % KI + 45 % NaCl + 40 % AlF₃) через расплав с помощью воздуха.

II, III – плавка под покровным флюсом с последующим рафинированием и модифицированием путем продувки флюса Ф2 (в количестве 0,05 и 0,075 % от массы жидкого металла соответственно) по патенту 58793А (Украина) через расплав с помощью азота.

Литая структура полученного по I варианту металла представляла собой α-твердый раствор, по границам которого неравномерно расположена эвтектика. Также в структуре сплава присутствовала беспорядочно направленная иглообразная железосодержащая фаза FeSiAl₅ (рис. 2, а).

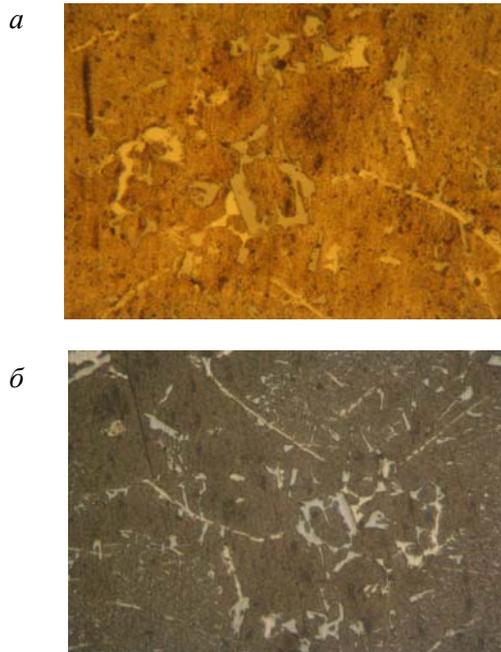


Рис. 2. Микроструктура сплава АК12М2 (технологический вариант I):

а – в литом состоянии; б – термическая обработка по режиму T5. X200

С целью получения высокой прочности и сохранения повышенного уровня пластичности была проведена термическая обработка по режиму T5 (закалка + кратковременное искусственное старение).

Структура сплава после термической обработки стала более однородной, значительно изменилась форма кремния и железосодержащей

фазы, она стала более дисперсной (см. рис. 2, б). Химический состав и механические свойства полученного металла приведены в табл. 2, 3.

Таблица 2

Химический состав вторичного сплава АК12М2

Варианты	Обработка флюсом в печи, %		Химический состав, мас %				
	Ф1	Ф2	Si	Cu	Fe	Mn	Mg
I	0,05	–	12,2	1,67	0,83	0,20	0,42
II	–	0,05	11,9	1,65	0,89	0,22	0,46
III	–	0,075	12,0	1,63	0,87	0,21	0,41

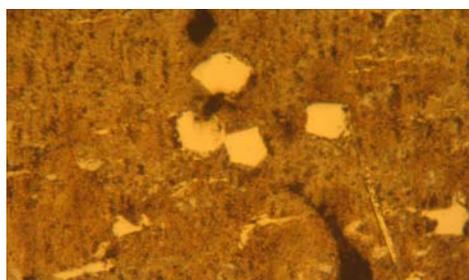
Таблица 3

Механические свойства вторичного сплава АК12М2

Варианты	σ_v , МПа		δ , %		ψ , %		HRB		Балл пористости, ГОСТ1583-93
	без T/O	T5	без T/O	T5	без T/O	T5	без T/O	T5	
I	109,7	178,9	2,2	1,7	2,0	1,5	48	65	4
II	119,6	208,4	3,4	2,7	3,6	2,5	52	63	3
III	122,1	229,0	4,4	2,8	4,8	2,6	53	72	1...2

В структуре литого металла второго варианта присутствовали очень крупные включения кремния и железосодержащей фазы, которая приобрела форму многогранников (рис. 3, а).

а



б



Рис. 3 Микроструктура сплава АК12М2 (технологический вариант II):

а – в литом состоянии; б – термическая обработка по режиму T5. X200

Прочность литого металла в сравнении с первым технологическим вариантом увеличилась на 9,9 МПа, относительное удлинение на 1,2 %, относительное сужение на 1,6 %, твер-

дость на 4 HRB (см. табл. 3). Такое повышение свойств обусловлено более благоприятной плотной модифицированной структурой, содержащей мелкодисперсную эвтектику и железосодержащую фазу компактной формы.

Термическая обработка по режиму T5 способствовала измельчению всех присутствующих фаз и обеспечила более равномерное их распределение в плоскости шлифа (см. рис. 3, б). Прочность увеличилась на 29,5 МПа, удлинение на 1 %, относительное сужение на 1 %, твердость осталась практически неизменной.

При увеличении присадки рафинирующе-модифицирующей смеси до 0,075 % от массы жидкого металла (технологический вариант III) структура литого металла состоит из зерен α -твердого раствора, по границам которых расположена мелкодисперсная эвтектика. В ее состав входят следующие фазы: кристаллический кремний, $CuAl_2$, Mg_2Si , $W(Al_xMg_5Si_4Cu_4)$ [5].

Кроме эвтектики, в сплаве содержится железосодержащая фаза, которая благодаря модифицированию приобрела форму китайских письмен и гексагональных глобулей (рис. 4, а).

Так как суммарное содержание марганца и железа превышает 0,8 %, то согласно [6] фаза с формой китайских письмен и гексагональных глобулей имеет формулу $(FeMn)_3Si_2Al_{15}$.

Механические свойства полученного сплава в литом состоянии превышают I технологический

вариант по пределу прочности на 12,4 МПа, относительному удлинению – на 2,2 %, относительному сужению на 1,1 %, твердости – 8 HRB.

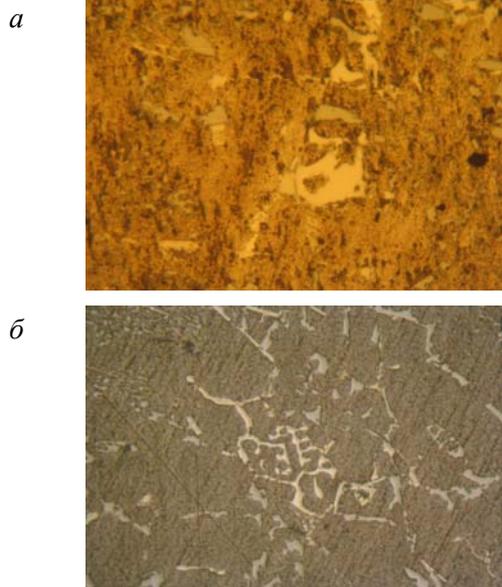


Рис. 4. Микроструктура сплава АК12М (технологический вариант III):

a – в литом состоянии; *б* – термическая обработка по режиму T5. X200

Структура термообработанного по режиму T5 сплава представляла собой α – твердый раствор со значительным количеством мелкодисперсных фаз округлой формы (см. рис. 4, *б*). Такая форма в наименьшей степени снижала механические свойства сплава (см. табл. 3). В сравнении с технологическим вариантом I было достигнуто повышение предела прочности на 50,1 МПа, относительного удлинения – на 1,1 %, относительного сужения – на 1,1 %, твердости – на 8 HRB.

Таким образом, наилучший комплекс свойств по результатам испытаний достигается при использовании III технологического варианта ($\Phi_2 = 0,075$ % от массы жидкого металла). В результате дополнительной обработки жидкого металла рафинирующе-модифицирующим флюсом (патент Украины 58793А) было достигнуто повышение предела прочности на 10...15 %, относительного удлинения на 10...20 %, твердости на 15...20 % сплава АК12М2 по сравнению с заводской технологией производства. Пористость в результате обработки снизилась с 3...4 до 1...2 баллов по ГОСТ 1583-93.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Okamura H. Friction stir welding of aluminium alloy and application to structure H. Okamura, K. Aota, M. Egumi // J. of Jap. Institute of Light Metals. – 2000. – 50, № 4. – P. 166–172.
2. Макаров Г. С. Российский рынок вторичного алюминия // Рынок вторичных металлов. – 2004. – № 5/25. – С. 70–73.
3. Рязанов С. Г. Технично-экономические аспекты получения и использования вторичных алюминиевых сплавов / С. Г. Рязанов, А. А. Митяев // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2001. – № 2. – С. 92–93.
4. Патент 58793А Украина, МКИ с22В21/06, С22В9/10. Флюс для обработки алюминиевых сплавов. / И. П. Волчок, А. А. Митяев, С. Г. Рязанов (Украина) №2002108362: – Заявлено 22.10.2002; Опубл. 15.08.2003; Бюл. №8.
5. Аристова Н. А. Термическая обработка литейных алюминиевых сплавов / Н. А. Аристова, И. Ф. Колобнев. – М.: Металлургия, 1977. – 143 с.
6. Мондольфо Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1979. – 639 с.

Поступила в редколлегию 11.05.06.