



The problems of aluminium production, using and recycling are considered. The technology found out for improvement of properties of secondary aluminium alloys is described.

С. Е. БЕЛЬСКИЙ, Белорусский государственный технологический университет,
И. П. ВОЛЧОК, А. А. МИТЯЕВ, Запорожский национальный технический университет,
Н. А. СВИДУНОВИЧ, Белорусский государственный технологический университет

УДК 669.711

ПРОИЗВОДСТВО АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В настоящее время алюминиевые сплавы являются конструкционным материалом № 2, уступая по объемам производства только сплавам на основе железа (сталям и чугунам). Темпы производства и освоения алюминия впечатляют: 1855 г. — 0,006 т; 1885 г. — 15 т; 1900 г. — 8000 т; 1920 г. — 128000 т; 1946 г. — 681000 т; 1999 г. — 24 млн. т первичного алюминия; 2004 г. — 31 млн. т, 2005 г. — 32 млн. т.

В 2005 г. потребление алюминия в странах Европы составило от 7,2 кг/чел. в Украине до 39,2 кг/чел. в Нидерландах при среднеевропейском показателе 22,5 кг/чел. Структура использования алюминия и его сплавов в Европе следующая: транспортное машиностроение — 26%, строительная индустрия — 20, упаковочные материалы — 20, электротехническая промышленность — 9, другие сферы — 25%.

В настоящее время в мире сосуществуют два процесса получения алюминия: 1) первичного из глинозема методом электролиза; 2) вторичного из лома и отходов производства путем их переплавки. Главным достоинством первого процесса является высокое качество продукции, главным недостатком — высокий расход электроэнергии. Несмотря на то что в течение XX столетия энергозатраты на электролиз снизились в среднем с 50 до 14 кВт·ч/кг алюминия, их доля в себестоимости продукции составляет 25–30%, кроме того, примерно 15% от себестоимости составляют затраты на углеродные аноды. Серьезным недостатком классической технологии получения первичного алюминия является также выделение больших количеств угарного газа и двуокси углерода в результате сгорания углеродного анода.

В мире постоянно ведутся работы по устранению отмеченных недостатков. Так, по данным Международного института алюминия [1], наиболее

перспективными с точки зрения повышения эффективности использования энергии и улучшения экологической обстановки являются технологии, предусматривающие применение инертного анода из алюминиевой бронзы (устраняется выделение парниковых газов), смачиваемого катода из боридно-углеродных композитов (снижаются расстояние между электродами, напряжение между ними и соответственно расход электроэнергии), низкотемпературное (около 350°C) восстановление глинозема в ионных жидкостях и др. Ожидается, что новые технологии позволят снизить расход энергии до 9,5 кВт·ч/кг при теоретическом, необходимом для диссоциации оксида алюминия, 6,34 кВт·ч/кг металла.

В связи с тем что новые технологии электролиза требуют значительных средств и времени на их разработку и внедрение, а также в связи с тем что после их реализации энергозатраты останутся достаточно высокими и будут составлять 17–20% от себестоимости производства, весьма перспективно использование вторичного алюминия. Энергозатраты на получение из него сплавов при плавке в электропечах составляют около 0,4 кВт·ч [2], что в 35 раз ниже, чем при производстве первичного алюминия методом электролиза.

В мире наиболее крупными потребителями алюминия и соответственно поставщиками его скрапа являются транспорт, строительная и пищевая промышленность, машиностроение (табл. 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. Особенно эти показатели важны при производстве легковых автомобилей. В связи с этим темпы использования

Таблица 1. Образование скрапа при производстве и применении изделий из алюминия [3]

Отрасль	Изделие	Жизненный цикл, лет	Образование скрапа в производстве, %	Коэффициент сбора лома изделий, %	Соотношение деформируемых и литейных сплавов
Транспорт	Пассажирский самолет	25–30	100–122	85–90	90/10
	Автомобиль	12–15	25–43	50–85	20/80
Строительство	Оконная рама	40–50	11–18	85–95	100/0
Пищевая промышленность	Банка для напитков	0,2–0,5	30–33	20–91	100/0
	Фольга	0,2–1,0	10–20	10–30	100/0
Машиностроение	Бытовая техника	7–10	40–70	50–85	50/50

изделий из алюминиевых сплавов в легковых автомобилях имеют устойчивую тенденцию к росту (рис. 1).

Увеличение доли алюминиевых сплавов в автомобиле приводит к уменьшению его массы и количества потребляемого топлива, сокращению вредных выбросов в окружающую среду и снижению давления на дорожное покрытие (табл. 2). Активно развивается направление производства изделий из пеноалюминия. Его использование на транспорте обеспечивает значительное повышение шумоизоляции, а также безопасности водителей и пассажиров.

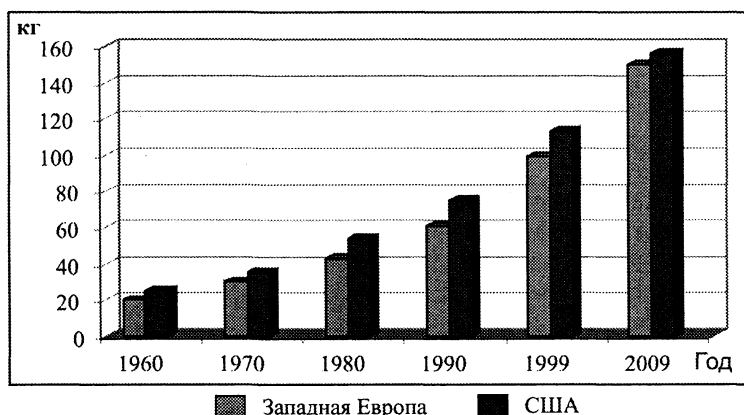


Рис. 1. Динамика использования изделий из алюминиевых сплавов в легковых автомобилях

Таблица 2. Техничко-экономические показатели использования алюминия и его сплавов в европейском легковом автомобиле

Год	Средняя масса автомобиля, кг	Количество алюминия и сплавов на автомобиль, кг	Экономия топлива на 100 км пробега автомобиля, л
1995	1085	71	0,85
2000	1026	100	1,20
2003	966	130	1,56
2005	926	150	1,80
2015	826	200	2,40

В то же время эксперты считают, что максимально возможный предел использования алюминиевых сплавов в легковом автомобиле составляет 200 кг и ограничивается техническими требованиями, предъявляемыми к материалам различных узлов и агрегатов.

По данным фирм, выпускающих большегрузные автомобили Volvo, Scania, Man, Mercedes, 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 мес. 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 18 000 евро.

Алюминиевые конструкционные материалы все активнее используются при изготовлении подвижного состава железнодорожного транспорта. На сегодняшний день 80% всех вагонов, эксплуатирующихся

в Европе, изготовлены из алюминийсодержащих материалов. Экспериментально установлено, что при замене в вагонах 12% стальных деталей на алюминиевые полезная нагрузка увеличивается на 40%. При широком использовании алюминия в поездах метро и трамваях в 2 раза снижается потребление электрической энергии при разгонах и торможениях.

За период с 1990 по 2000 г. производство первичного алюминия в развитых странах сократилось на 10% при значительном росте вторичного, обеспечившем рост общего потребления алюминия на 30%, при этом каждый третий килограмм потребленного металла был получен путем рециклинга [3].

Известно, что основной проблемой рециклинга является более низкое качество сплавов по сравнению с полученными из первичного алюминия. Это объясняется тем, что поступающий на переработку металл в значительной степени загрязнен посторонними материалами – пластиком, маслами, деталями из других конструкционных

материалов. В связи с этим вторичные сплавы алюминия содержат большое количество интерметаллидных фаз, неметаллических включений, растворенных газов, отличаются гетерогенностью структуры и поэтому значительно уступают по служебным и механическим свойствам первичным.

Анализ научно-технической литературы и опыта производства показывает, что основными технологическими процессами, обеспечивающими высокое качество вторичных алюминиевых сплавов, являются:

- сортировка скрапа, обеспечивающая получение требуемого состава при минимуме нежелательных примесей (железа, магния и др.) в получаемых сплавах (как правило, в виде чушек);
- рафинирование, легирование и модифицирование сплавов с целью снижения газосодержания и пористости, управления размерами и формой структурных составляющих, повышения плотности, механических и служебных свойств;
- плавка в дуговых печах постоянного тока, дающая возможность отказаться от процессов рафинирования и модифицирования, в 3 раза снизить затраты на переплав по сравнению с газовыми печами, получить высокое качество сплавов.

Ниже на примере наиболее распространенных алюминиевых сплавов — силуминов приведены некоторые результаты исследований по совершенствованию технологии рециклинга.

На Запорожском заводе цветных сплавов был внедрен «Классификатор лома алюминиевых сплавов после первичной переработки» [4], который

в отличие от действующего стандарта ДСТУ 3211-95 предусматривал более детальную разбивку лома на классы и подклассы. Это позволило обеспечить получение 100%-ного годного металла по химическому составу, уменьшить в нем содержание железа с 0,7–1,2 до 0,6–0,9% и других нежелательных примесей, снизить затраты на переплав. Также были разработаны высокоэффективные и низкочеловеческие «Флюс для обработки алюминиевых сплавов» [5] и «Модификатор для алюминиевых сплавов» [6], в состав которых вошли KCl, NaCl, Na₂CO₃, SiC, S, AlF₃. Хлориды K и Na и фторид Al обеспечили образование на поверхности расплава защитной пленки и его рафинирование по газам и неметаллическим включениям. Газообразная сера (флюс вдувался в расплав с помощью азота) способствовала рафинированию расплава методом адсорбции, диссоциирующий карбонат замедлял скорость окисления серы, рафинировал расплав с помощью серой CO₂, а также вместе с газообразной серой способствовал увеличению контактной поверхности жидкий металл — шлак. Ультрадисперсный карбид кремния (размеры частиц порядка 10 мкм) обеспечил достаточное количество центров кристаллизации, что привело к уменьшению длины дендритных осей первого порядка в 3 раза и увеличению их количества на площади шлифа в 1,8–2,0 раза. Имело место также модифицирование эвтектики и снижение параметра формы частиц β-фазы Al₃SiFe с 2–16 до 1–5 (рис. 2). В табл. 3 приведены результаты испытаний сплава

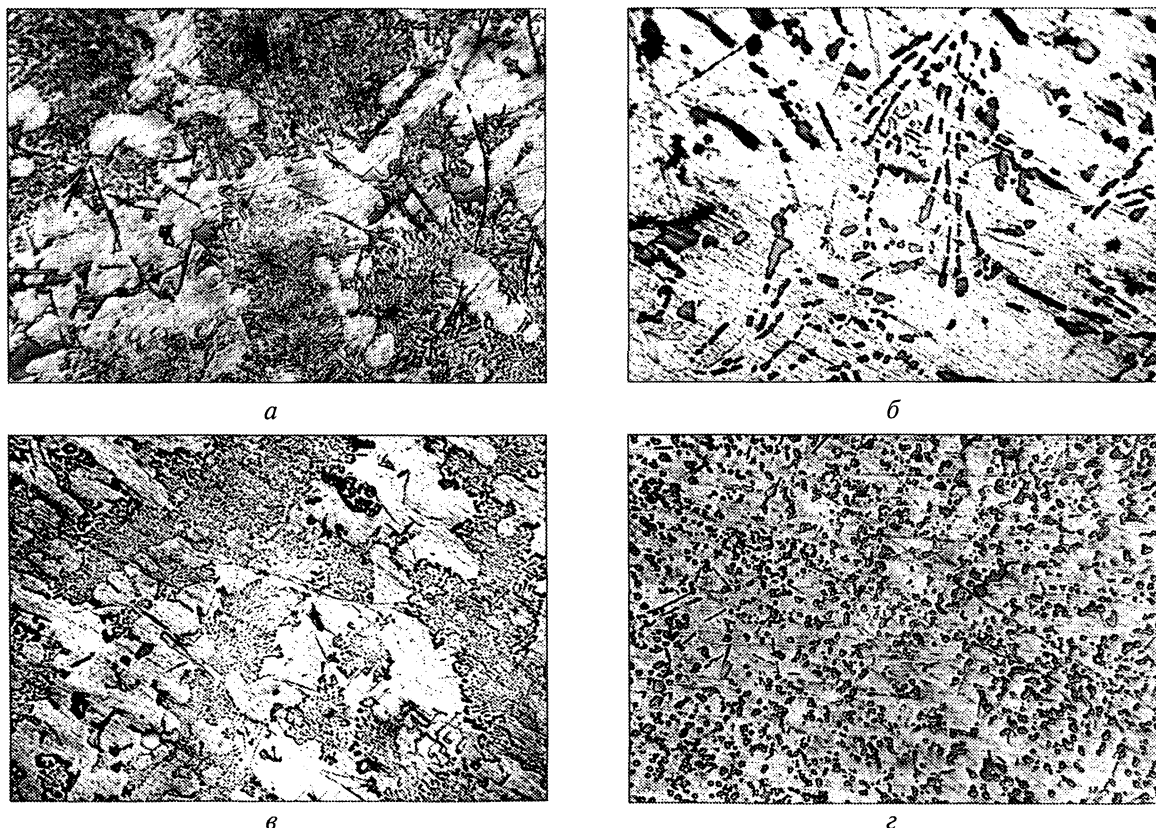


Рис. 2. Структуры вторичного сплава АК9М2: а, в — литое состояние; б, г — термообработка по режиму Т5. х200

Таблица 3. Механические свойства сплава АК9М2

Вариант	Литое состояние				После Т5			
	σ_b , МПа	δ , %	КС, МДж/м ²	HRB	σ_b , МПа	δ , %	КС, МДж/м ²	HRB
1	123	3,2	0,09	46	191	2,4	0,10	63
2	146	3,4	0,08	71	259	2,8	0,11	72

АК9М2, выплавленного в промышленной плавильной печи ЕНW5000 под покровным флюсом: 33% KCl + 67% NaCl и подвергнутого рафинированию стандартным флюсом: 45% NaCl + 15% KCl + 40% AlF₃ (вариант 1) и предложенным (вариант 2).

Из таблицы видно, что экспериментальная технология рафинирования и модифицирования обеспечила получение более высоких свойств сплава по сравнению с существующей.

На технических комплексах, разработанных и реализованных Белорусским государственным технологическим университетом, были проведены усталостные испытания вторичных сплавов с частотами нагружения 0,3; 8,8; 18 и 44 кГц, что позволило моделировать обширный спектр реальных условий эксплуатации различных деталей. Испытания сплавов на усталость проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 25.502-79 [7]. Результаты испытаний показали, что на сплавах, обработанных комплексами [5, 6], повышение показателей циклической прочности составило 26–48% в диапазоне частот 0,3; 8,8; 18 и 44 кГц. Одновременно с этим долговечность эксперимен-

тальных сплавов возросла в 3–5 раз при частоте 0,3 кГц, в 4–7 раз – при частоте 8,8 кГц, а также в 5–15 и 8–15 раз на частотах 18 и 44 кГц соответственно.

Сплавы, полученные с использованием разработок [5, 6], отвечали требованиям международного стандарта качества ISO 9002.

Литература

1. www.oit.doe.gov/aluminium.
2. Малиновский В.С., Малиновский В.Д., Мешков М.А., Ярных Л.В. Плавка алюминиевых сплавов в дуговых печах постоянного тока // Рынок вторичных металлов. 2004. № 5/25. С. 53–54.
3. Макаров Г.С. Российский рынок вторичного алюминия // Рынок вторичных металлов. 2004. № 5/25. С. 70–73.
4. Рязанов С.Г. Пути повышения качества вторичных алюминиевых сплавов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. 2001. № 1. С. 70.
5. Пат. 58793А Украина: МКИ С22В21/06, С22В9/10. Флюс для обработки алюминиевых сплавов / И.П. Волчок, А.А. Митяев, С.Г. Рязанов.
6. Пат. 57584А Украина: МКИ С22С1/06. Модификатор для алюминиевых сплавов /И.П. Волчок, А.А. Митяев.
7. ГОСТ 25.502-79. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. М.: Изд-во стандартов, 1980.