

А.В. Блохин, канд. техн. наук., доц.;
С.Е. Бельский, канд. техн. наук. доц.;
Адель Рашид (БГТУ, г. Минск)

ПОВЫШЕНИЕ КОМПЛЕКСА МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АІ-СПЛАВОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ, ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Введение. Одним из востребованных сплавов по применяемости в самых разных отраслях промышленности являются сплавы на основе алюминия. Анализируя информацию Международного института алюминия [1], производство первичного алюминия сегодня достигло десятков млн. т в год и его мировое потребление уступает только сплавам на основе железа.

В мире наиболее крупными потребителями алюминия и, соответственно, поставщиками его скрапа, являются: транспорт, строительная и пищевая промышленность, машиностроение. 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 важны эти показатели при производстве отдельных деталей, узлов и агрегатов в транспортном машиностроении. В связи с этим темпы роста использования деталей из алюминиевых сплавов в автотранспорте показывают устойчивую тенденцию к увеличению.

Следует отметить, что сегодня в мировой практике наблюдается неуклонный рост производства алюминиевых сплавов из вторичного сырья с использованием лома и отходов самых различных производств путем их переплавки. Учитывая, что доля затрат электроэнергии в себестоимости производства первичного алюминия высока (составляет не менее 25-30%), широкое внедрение использования алюминиевых сплавов, полученных из вторичного сырья является весьма перспективным. Одним из факторов, определяющих постоянный интерес к переработке алюминийсодержащих отходов, являются относительно малые энергозатраты – для изготовления таких сплавов при плавке в электропечах составляют около 0,4-0,5 кВт·ч. [2], что в 30-40 раз ниже, чем при производстве первичного алюминия методом электролиза. Кроме того, необходимо помнить, что при производстве первичного алюминия примерно 10-20% себестоимости включают затраты на углеродные аноды.

Одной из основных проблем рециклинга алюминийсодержащих отходов является более низкое качество получаемых сплавов по сравнению со сплавами, полученными из первичного алюминия. Основной причиной этого является высокая степень загрязнения алюминиевого лома и алюминийсодержащих отходов посторонними материалами, такими как полимеры, органические и неорганические масла, деталями из других металлических и неметаллических конструкционных материалов. В связи с этим, алюминиевые сплавы, полученные после переработки вторичного сырья, характеризуются повышенным содержанием интерметаллидных фаз, неметаллических включений, растворенных газов, отличаются гетерогенностью структуры и поэтому уступают по широкому перечню характеристик, в том числе – механических, по сравнению с первичным.

Для обеспечения высокого качества алюминиевых сплавов, изготовленных из вторичного сырья, общепринятыми технологическими процессами [3] являются: сортировка скрапа, обеспечивающая получение требуемого состава при минимуме примесей, отрицательно влияющими на механические характеристики (железа, магния и др.); рафинирование, легирование и модифицирование сплавов; плавка в дуговых печах постоянного тока, дающая возможность отказаться от процессов рафинирования и модифицирования, в три раза снизить затраты на переплав по сравнению с газовыми печами.

Авторы работы предлагают для повышения ряда механических характеристик деталей, изготовленных из вторичных алюминиевых сплавов, использовать термоциклическую обработку. Целью данной работы было исследование влияния различных режимов термоциклической обработки на характеристики усталости образцов, изготовленных из вторичных алюминиевых сплавов.

Основная часть. Исследования проводились на образцах из сплава по химическому составу близком к сплаву АК9М2 со следующим химическим составом: 9,1-9,9 % Si, 1,9-2,4 % Cu, 0,02-0,06 % Mn, 0,05-0,15 Mg, до 1,5%Fe, остальное – Al.

Образцы для испытаний вырезались из слитка, полученного литьем в кокиль, и представляли собой плоские балочки с прямоугольным поперечным сечением (2×6 мм) с уширением на одном из концов до 15 мм для обеспечения надежного крепления на хвостовике концентратора.

Для повышения механических характеристик, в том числе усталостных, алюминиевых сплавов, полученных из вторичного сырья, предполагается обеспечить совершенствованием технологии термической обработки, включающим термоциклирование до закалки, закалку

и старение, проводимое путем термоциклирования [4]. Авторами было предложено увеличить как температурный диапазон термоциклирования, проводимого до закалки, так и другие режимы обработки.

После обработки по предлагаемому и известному [4] способам были определены ряд физико-механических характеристик сплава (предел прочности σ_B , относительное удлинение δ , усталостная долговечность $N_{ц}$ при частоте испытаний 18 кГц и нагрузке $\sigma_i = 0,7 \sigma_B$), представленные в таблице наряду с режимами термической обработки.

Полученные результаты показывают, что предложенный способ обеспечивает повышение усталостной долговечности испытываемых образцов из вторичного литейного сплава на 20-25 %, повышение предела текучести не менее чем на 15%, при сохранении пластичности как у известного способа [4].

Таблица 1 – Режимы термообработки образцов изготовленных из вторичного алюминиевого сплава типа АК9М2, обработанного известным и предложенным способами

Способ обработки	Режимы обработки										Результаты испытаний		
	Термоциклирование до закалки					Старение							
	Число циклов	Температура, °С		Скорость, °С/с		Число циклов	Температура, °С		Скорость, °С/с		σ_s , МПа	δ , %	$N_{ц}$, (10^5)
		Нагрев	Охлаждение	Нагрев	Охлаждение		Нагрев	Охлаждение	Нагрев	Охлаждение			
Известный	15	525	350	2,0	3,0	15	250	20	2,0	5,0	185	2,4	7,2
Предложенный	20	525	200	4,0	7,0	15	250	20	2,0	5,0	225	3,5	13,4
	30	525	200	3,0	7,0	15	250	20	2,0	5,0	217	4,2	14,7
	25	525	200	5,0	10,0	15	250	20	2,0	5,0	255	3,8	15,3
	25	525	200	4,5	7,5	15	250	20	2,0	5,0	250	4,5	12,5
	25	525	200	2,0	3,0	15	250	20	2,0	5,0	252	3,1	10,5
	27	525	200	7,0	7,0	15	250	20	2,0	5,0	230	2,7	9,4
	24	525	200	4,5	12,0	15	250	20	2,0	5,0	190	3,0	10,9
	18	525	200	3,5	7,5	15	250	20	2,0	5,0	220	2,5	8,7
	34	525	200	3,4	6,5	15	250	20	2,0	5,0	212	2,9	9,5

Для достижения заявленного эффекта повышения механических характеристик, термоциклирование до закалки было предложено про-

водить в интервале температур 200-525 °С со скоростью нагрева 3-5 °С/с и охлаждения 5-10 °С/с при количестве циклов 20-30, причем охлаждение в каждом цикле до закалки, осуществлять с одновременным наложением ультразвуковых колебаний с частотой 18-24 кГц (см таблицу).

Заключение. Предложенный способ термической обработки может быть использован на предприятиях машиностроительного, станкостроительного и приборостроительного профиля для отливки деталей, работающих в условиях динамических нагрузок (блоки двигателей, кронштейны, поршни, радиаторы и т.п.).

Для дальнейшего совершенствования и обоснования более рациональных режимов предложенной термической обработки алюминиевых сплавов, полученных с использованием вторичного сырья, необходимы дополнительные исследования.

ЛИТЕРАТУРА.

1. International Aluminium Institute [Electronic resource] – Mode of access: https://stats.world-aluminium.org/iai/stats_new/index.asp. – Date of access: 12.12.2021.

2. Макаров, Г.С. Российский рынок вторичного алюминия / Г.С. Макаров // Рынок вторичных металлов. – 2004. – № 5/25. – С.70-73.

3. Рязанов, С.Г. Тенденции и проблемы использования вторичных алюминиевых сплавов / С.Г. Рязанов, А.А. Митяев, И.П. Волчок // Nauka i Technologia: Труды VI конференции. – Zakopane. – 2003. – С. 99–102.

4. Патент РБ на изобретение № 12582 (прототип). Опубл. 25.09.2009 Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуальн. уласнасці. – 2009. – № 6. – С. 119.