

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **22400**

(13) **С1**

(46) **2019.02.28**

(51) МПК

**C 22F 1/04** (2006.01)

(54)

**СПОСОБ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛИТЕЙНОГО  
АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ**

(21) Номер заявки: а 20140741

(22) 2014.12.30

(43) 2016.08.30

(71) Заявитель: Учреждение образования  
"Белорусский государственный техно-  
логический университет" (ВУ)

(72) Авторы: Бельский Сергей Евграфо-  
вич; Блохин Алексей Владимиро-  
вич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение обра-  
зования "Белорусский государственный  
технологический университет"  
(ВУ)

(56) ВУ 12582 С1, 2009.

RU 2266348 С2, 2005.

SU 1424974 А1, 1988.

SU 1527939 А1, 1995.

US 5858134, 1999.

EP 2554288 А1, 2013.

БЛОХИН А.В. Литье и металлургия. -  
2009. - № 4. - С. 72-75.

(57)

Способ термической обработки литейного алюминиевого сплава из вторичного сырья, при котором осуществляют термоциклирование в интервале температур от 200 до 525 °С со скоростью нагрева от 3 до 5 °С/с и скоростью охлаждения от 5 до 10 °С/с, при количестве циклов от 20 до 30, причем охлаждение в каждом цикле осуществляют с одновременным наложением ультразвуковых колебаний с частотой от 18 до 24 кГц, а затем осуществляют последующие закалку и старение путем термоциклирования.

Изобретение относится к цветной металлургии, в частности к технологии термической обработки литейных алюминиевых сплавов, полученных из вторичного сырья, и может быть использовано для повышения надежности и долговечности деталей и элементов конструкций, работающих в условиях динамических и вибрационных нагрузок, в результате повышения усталостной долговечности материала при сохранении высоких показателей пластичности.

Известен способ термической обработки алюминиевых сплавов преимущественно из вторичного сырья, включающий закалку и старение, осуществляемые путем термоциклирования, что приводит к существенному повышению пластичности [1].

Недостатком такого способа является недостаточно высокий уровень усталостной долговечности, что ограничивает область применения деталей из литейных алюминиевых сплавов, полученных из вторичного сырья, для работы в условиях знакопеременных нагрузок.

Известен также способ термической обработки алюминиевых сплавов, включающий закалку и старение, осуществляемое путем термоциклирования [2]. Недостатком такого способа является использование низких температур охлаждения (до -100 °С), что усложняет технологию термообработки, а в некоторых случаях может вызвать коробление (поводку) тонкостенных деталей сложной формы.

**ВУ 22400 С1 2019.02.28**

## BY 22400 C1 2019.02.28

Наиболее близким к предлагаемому изобретению по технологическому процессу обработки и достигаемому результату является способ термической обработки литейных алюминиевых сплавов из вторичного сырья, включающий термоциклирование до закалки, закалку и старение, также проводимое путем термоциклирования. При этом термоциклирование до закалки проводят в интервале температур 350-525 °С со скоростью нагрева 0,5-3,0 °С/с и охлаждения 1,5-5,0 °С/с при количестве циклов 7-20, а старение путем термоциклирования проводят в интервале температур 20-250 °С со скоростью нагрева 0,5-3,0 °С/с и охлаждения 2,0-10,0 °С/с при количестве циклов 12-20 [3].

Недостатком такого способа является недостаточно высокий уровень комплекса механических свойств, особенно для сплавов, полученных из вторичного сырья.

Задачей предлагаемого изобретения является повышение усталостной долговечности литейных алюминиевых сплавов, полученных из вторичного сырья, при сохранении высокой прочности и пластичности материала.

Поставленная задача решается тем, что способ термической обработки литейных алюминиевых сплавов из вторичного сырья включает термоциклирование до закалки, закалку и старение, проводимое путем термоциклирования. При этом термоциклирование до закалки проводят 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 осуществляют с одновременным наложением ультразвуковых колебаний с частотой 18-24 кГц.

Известная циклическая обработка при старении способствует образованию большого количества зон Гинье-Престона и выделению мелкодисперсной  $\text{CuAl}_2$ -фазы. Количество грубых выделений при этом уменьшается. Проведение нагрева с использованием высокочастотных знакопеременных колебаний способствует как измельчению выделений, равномерному распределению термических напряжений по сечению, так и фазовому наклепу, что благоприятно влияет на прочность, усталостную долговечность и твердость материала. Кроме того, усталостная долговечность повышается в результате дробления участков железосодержащих фаз, прежде всего  $\text{Al}_3\text{Fe}$ .

Предложенная циклическая обработка, отличающаяся более широким интервалом температур (200-525 °С) при обработке циклированием до закалки, более высокими скоростями нагрева и охлаждения и большим числом циклов, обеспечивает дробление крупных фаз, особенно таких как  $\text{FeAl}_3$ , улучшение их формы (ликвидация крупноигльчатых включений), что способствует повышению комплекса механических свойств, прежде всего устойчивой долговечности.

Меньшее число циклов (до 15) при обработке до закалки снижает эффективность обработки, большее (свыше 30) число циклов неоправданно увеличивает время процесса.

Снижение температуры нагрева менее 200 °С способствует замедлению дробления крупноигльчатых фаз, полученных после литья, повышение температуры свыше 525 °С недопустимо по причине пережога обрабатываемого материала.

Наложение ультразвуковых колебаний при обработке до закалки во время охлаждения обеспечивает интенсификацию процессов, происходящих в материале.

Предложенные скорости нагрева 3-5 °С/с и охлаждения 5-10 °С/с обеспечивают лучшее по сравнению со способом [2] дробление интерметаллических фаз и способствуют сокращению времени обработки.

Изобретение иллюстрируется следующим примером.

### **Пример.**

Образцы, представляющие собой балочки с прямоугольным поперечным сечением, изготовленные из литейного алюминиевого сплава АК9М2, полученного из вторичного сырья (содержание Fe 0,9-1,2 %), после отжига подвергают термоциклированию по предложенному способу в электропечи в интервале температур 350-525 °С при скорости нагрева 3-5 °С/с и охлаждения 5-10 °С/с с наложением при охлаждении ультразвуковых колебаний

# ВУ 22400 С1 2019.02.28

частотой 18,0 кГц и последующей закалкой в воду. После закалки произведено старение в соответствии с известным способом [3]. Для сравнения проводят термообработку образцов, изготовленных из данного сплава, по известному способу.

## 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		$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$N_{ц}$ , ( $\cdot 10^5$ )
		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

После обработки по предложенному и известному способам определяют ряд физико-механических характеристик материала (предел прочности  $\sigma_b$ , относительное удлинение  $\delta$ , усталостная долговечность  $N_{ц}$  при частоте испытаний 18 кГц и нагрузке  $\sigma_n = 0,7 \sigma_T$ ).

Режимы термической обработки и физико-механические характеристики образцов приведены в таблице.

Полученные результаты показывают, что предложенный способ обеспечивает повышение усталостной долговечности испытываемых образцов из вторичного литейного сплава на 20-25 % при сохранении прочности и пластичности как у прототипа.

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.)

Источники информации:

1. А.с. СССР 1244203, МПК С 22 F 1/04, 1986.
2. А.с. СССР 1689427, МПК С 22 F 1/04, 1991.
3. Патент РБ на изобретение 12582, 2009 (прототип).