

УДК 669.018.28

Н.Е. КАЛИНИНА<sup>1</sup>, О.А. КАВАЦ<sup>1</sup>, В.Т. КАЛИНИН<sup>2</sup><sup>1</sup>Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Украина<sup>2</sup>Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск, Украина

## ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ НАНОДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Приведено влияние нанодисперсного тугоплавкого модификатора карбида титана на технологические свойства литейных алюминиевых сплавов. Показаны химические составы исследуемых алюминиевых сплавов систем Al-Si-Mg и Al-Zn-Mg. Разработана технология модифицирования алюминиевых сплавов порошковым модификатором. Достигнуто повышение технологических свойств исследуемых сплавов. Показаны результаты проведенного изучения технологических свойств модифицированных сплавов В93 и АК9. Предложены теоретические обоснования отмеченного повышения технологических свойств литейных алюминиевых сплавов. Разработаны заводские технологические инструкции по модифицированию алюминиевых сплавов и получению отливок высокого качества.

**Ключевые слова:** алюминиевый сплав, модификатор, дисперсная частица, технологические свойства, жидкотекучесть, трещинообразование, газосодержание.

### Введение

Литейные алюминиевые сплавы систем Al-Zn-Mg и Al-Si-Mg применяют для изготовления ответственных деталей сложной конфигурации, так как они имеют высокие показатели механических свойств в термически обработанном состоянии, высокую коррозионную стойкость, малую удельную прочность, допускают глубокую вытяжку, что обуславливает их перспективность для современного машиностроения.

Однако недостаточная технологичность при литье и механической обработке сдерживает широкое применение алюминиевых сплавов как конструкционных материалов. Низкая технологичность объясняется наличием в сплавах хрупких и труднорастворимых фаз  $FeAl_3$ ,  $Mg_2Si$ ,  $MgZn_2$ , выделяющихся в виде крупных скоплений и образующих сплошную сетку [1]. Эти хрупкие составляющие служат причиной трещинообразования при литье слитков и фасонных отливок. Кроме того, замедляются диффузионные процессы растворения фазы  $Mg_2Si$  при гомогенизации отливок. Другой важной причиной низкой технологичности является повышенное газосодержание в сплавах.

### 1. Формулирование проблемы

Развитие современной техники требует создания новых материалов и усовершенствования уже существующих сплавов. Одним из эффективных

путей повышения качества отливок, устранения столбчатой и веерной структуры, измельчения зерна и достижения однородной структуры является модифицирование. Промышленные предприятия Украины применяют модифицирование литейных алюминиевых сплавов солями натрия, что способствует дифференциации эвтектики Al-Si. Однако легкоплавкие соли натрия не технологичны для обработки больших масс расплавов, поскольку сокращается время действия модификатора и возникают экологические проблемы его применения [2].

### 2. Решение проблемы. Теоретическое обоснование

Для повышения уровня механических и технологических свойств отливок из алюминиево-кремниевых и алюминиево-цинковых сплавов проводят модифицирование. В настоящее время перспективным направлением является применение дисперсных модификаторов: карбидов, нитридов, боридов, оксидов металлов размерами более 100 нм. При модифицировании литейных алюминиевых сплавов марок В93 и АК9 (табл. 1) ультрадисперсными частицами карбида титана размерами до 100 нм отмечено повышение механических свойств сплавов и коррозионной стойкости.

Разработан технологический процесс модифицирования сплавов В93 и АК9. Для удобства введения модификатора в расплав в работе использован способ таблетирования порошков карбида титана.

Таблица 1  
Химический состав  
литейных алюминиевых сплавов

Сплав	Содержание элементов, % мас.					
	Si	Zn	Mg	Mn	Cu	Fe
В93	0,2	7,3	2,2	0,3	1,2	0,4
АК9	9,5	0,5	0,3	0,5	1,0	0,8

Для этого изготовили на пресс-автомате ударного действия прессованные таблетки из смеси порошков карбида титана фракцией до 100 нм и порошков алюминия фракцией 50...150 мкм в соотношении 1:3 (мас.). Таблетки диаметром 10 мм и высотой 4 мм имеют предел прочности на сжатие 8 МПа. Возможно изготовление таблеток с широкими интервалами диаметра и высоты, что обеспечивается сменными матрицей и пуансоном пресс-автомата. В промышленных условиях проведен ряд опытных плавок сплавов В93 и АК9, модифицированных частицами TiC.

В приведенной работе определяли следующие технологические свойства литейных алюминиевых сплавов: жидкотекучесть, склонность к образованию горячих трещин, газосодержание и герметичность.

Жидкотекучесть является важным свойством сплава, характеризующим степень его подвижности в процессе заполнения формы. Чем выше жидкотекучесть, тем легче получить сложную фасонную отливку с тонким сечением [3]. Жидкотекучесть алюминиевых сплавов В93 и АК9 до и после модифицирования определяли методом отливки образцов в виде прутков.

Длина залитого прутка характеризовала жидкотекучесть исследуемых сплавов. Чем больше длина залитого прутка, тем выше жидкотекучесть. Температура заливки алюминиевых сплавов превышала температуру плавления сплавов на 200 °С.

Среднеарифметические значения жидкотекучести сплавов В93 и АК9 до и после модифицирования 0,3 % TiC, которые определены методом прутковой пробы, приведены в табл. 2.

Таблица 2  
Результаты определения  
жидкотекучести сплавов

Сплав	Жидкотекучесть, мм
В93	280
В93, модифицированный TiC	285
АК9	360
АК9, модифицированный TiC	382

Из таблицы следует, что модифицирование карбидом титана повышает жидкотекучесть сплавов В93 и АК9 на 1,5 и 6,2 % соответственно.

Определение склонности к образованию горячих трещин литейных алюминиевых сплавов В93 и АК9 до и после модифицирования нанодисперсными частицами провели по следующей методике. В форму из песчано-глинистой смеси формовали две пробы в виде колец наружным диаметром 100 мм. Внутренний диаметр колец выполняли за счёт простановки стержней из коррозионностойкой стали марки 12Х18Н10Т, предварительно окрашенных литейной краской для исключения насыщения алюминиевых сплавов железом, хромом и никелем. Одновременно в форму устанавливали холодильники в противоположных от питателя направлениях. Температура литья также превышала на 200 °С температуру плавления алюминиевых сплавов. Толщину кольца изменяли путём установки в форму стальных стержней различных диаметров. Чем больше диаметр стержня, то есть чем меньше толщина кольца, тем больше усадочные напряжения, возникающие в кольце при остывании. Толщину кольца можно изменять через каждые 2,5 мм. Такая методика позволяет образовывать трещины в дальней части или вблизи питателя, то есть в том месте, где сплав кристаллизуется в последнюю очередь. Степень трещиностойкости определяли толщиной кольца, при которой обнаружены первые трещины. На рис. 1 приведен эскиз отливки образцов для определения склонности алюминиевых сплавов к образованию горячих трещин.

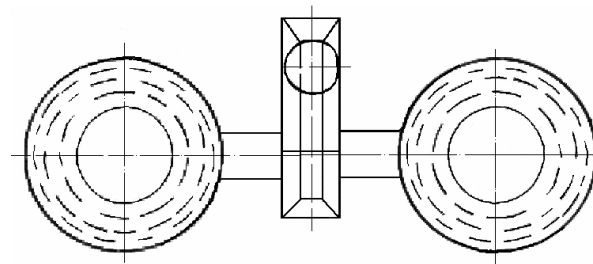


Рис. 1. Эскиз отливки  
для определения трещиностойкости

Результаты проведенных экспериментов по определению склонности сплавов к образованию горячих трещин приведены в табл. 3, из которой следует, что сплав АК9 до и после модифицирования дисперсными частицами карбида титана имеет высокую стойкость к образованию горячих трещин. Трещиностойкость сплава В93 при модифицировании повышается, так как при толщине кольца 10 мм у исходного сплава отмечены трещины в образцах в дальней части от питателя. При этом в модифицированном сплаве В93 таких трещин не наблюдали.

Таблица 3  
Результаты определения трещиностойкости

Сплав	Толщина кольца, мм
AK9	5
AK9, модифицированный TiC	5
B93	10
B93, модифицированный TiC	5

Содержание газов в сплавах определяют с помощью различных технологических проб. При понижении температуры жидкого металла в форме понижается растворимость газов и, следовательно, увеличивается количество газовых пузырей [4]. Сплавы B93 и AK9 доэвтектического состава, обладающие большей жидкотекучестью, менее склонны к образованию в отливках газовых раковин [5]. В данной работе газосодержание в сплавах B93 и AK9 до и после модифицирования частицами карбида титана определяли с помощью вакуумных проб.

Плавку алюминиевых сплавов проводили в промышленной электропечи сопротивления САТ-0,16 ёмкостью 160 кг по алюминию. Расплавленный металл заливали в графитовый тигель, который устанавливали под колпак прибора. Создавали невысокий вакуум, чтобы кристаллизация сплавов проходила при пониженном давлении, и выдерживали пробы в приборе в течение 40...60 с.

Оценку проб проводили визуально по количеству выделившихся газовых пузырей до момента кристаллизации сплавов со сравнительной оценкой отливок по шкале пористости. Отливку разрезали в вертикальном направлении, из половины которой изготавливали микрошлиф и оценивали пористость. Результаты оценки проб приведены в табл. 4.

Таблица 4  
Результаты определения газосодержания

Сплав	Количество газовых пузырей до момента кристаллизации	Количество пор на 100 мм <sup>2</sup>
B93	12	5
B93+TiC	9	3
AK9	7	4
AK9+TiC	6	3

Из табл. 4 следует, что модифицирование карбидом титана литейных алюминиевых сплавов B93 и AK9 обеспечивает низкое газосодержание, соответствующее 1 баллу пористости для отливок из алюминиевых сплавов по ДСТУ 2839-94.

## Заключение

В заводских условиях проведен ряд экспериментальных плавов сплавов B93 и AK9 с частицами TiC. Применение модификатора карбида титана значительно повысило прочностные свойства и характеристики пластичности алюминиевых сплавов B93 и AK9, привело к измельчению макро- и микроструктуры алюминиевых сплавов.

Работы, проведенные в промышленных условиях, показали повышение технологических свойств модифицированных алюминиевых сплавов: высокую стойкость к образованию горячих трещин; повышение жидкотекучести алюминиевых сплавов на 1,5...6,2 %; низкое газосодержание, соответствующее 1 баллу пористости по ДСТУ 2839-94. Разработаны заводские технологические инструкции по модифицированию сплавов B93 и AK9.

## Литература

1. Фридляндер И.Н. *Металловедение алюминия и его сплавов*. – М.: Металлургия, 1983. – 522 с.
2. Куцова В.З. *Алюміній та сплави на його основі* / В.З. Куцова, Н.Е. Погребна. – Дніпропетровськ: Пороги, 2004. – 135 с.
3. Калинина Н.Е. *Влияние модифицирования тонкодисперсным карбидом кремния на свойства литейных алюминиевых сплавов* / Н.Е. Калинина, О.А. Кавац, В.Т. Калинин // *Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов: междунар. науч.-техн. конф., 28 мая – 1 июня 2007 г.: сб. докл. – VIII., 2007. – С. 140-143.*
4. Добаткин В.И. *Газы и окислы в алюминиевых сплавах* / В.И. Добаткин, Р.М. Габидуллин, Б.А. Колачев. – М.: Металлургия, 1976. – 262 с.
5. Калинина Н.Е. *Влияние модифицирования на механические и коррозионные свойства литейных алюминиевых сплавов* / Н.Е. Калинина, О.А. Кавац, В.Т. Калинин // *Проблеми високотемпературної техніки : зб. наук. пр. – М-во освіти і науки України, Дніпропетр. нац. ун-т ім. О. Гончара. – 2008. – С. 57-61.*

Поступила в редакцию 31.05.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. кафедры Е.А. Джур, Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Днепропетровск.

**ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ  
ЛИВАРНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ПРИ МОДИФІКУВАННІ  
НАНОДИСПЕРСНИМИ ЧАСТИНКАМИ**

*Н.Є. Калініна, О.А. Кавац, В.Т. Калінін*

Наведений вплив нанодисперсного тугоплавкого модифікатора карбіду титану на технологічні властивості ливарних алюмінієвих сплавів. Показано хімічні складі досліджуваних алюмінієвих сплавів систем Al-Si-Mg і Al-Zn-Mg. Розроблено технологію модифікування алюмінієвих сплавів порошковим модифікатором. Досягнуто підвищення технологічних властивостей досліджуваних сплавів. Показано результати проведеного вивчення технологічних властивостей модифікованих сплавів В93 і АК9. Запропоновано теоретичні обґрунтування відзначеного підвищення технологічних властивостей ливарних алюмінієвих сплавів. Розроблено заводські технологічні інструкції з модифікування алюмінієвих сплавів і одержання виливків високої якості.

**Ключові слова:** алюмінієвий сплав, модифікатор, дисперсна частинка, технологічні властивості, рідко-текучість, тріщиноутворення, газовміст.

**INCREASE OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF CASTINGS ALUMINIUM ALLOYS  
AT RETROFITTING BY NANODISPERSIBLE PARTICLES**

*N.E. Kalinina, O.A. Kavats, V.T. Kalinin*

Influence over of nanodispersible refractory modifier of carbide of titanium is brought on technological properties of castings aluminium alloys. Chemical compositions of the investigated aluminium alloys of the systems of Al-Si-Mg and Al-Zn-Mg are shown. Technology of retrofitting of aluminium alloys a powder-like modifier is worked out. The increase of technological properties of the investigated alloys is attained. The results of the conducted study of technological properties of the modified alloys of B93 and AK9 are shown. The theoretical grounds of the noted increase of technological properties of castings aluminium alloys are offered. Plant technological instructions on retrofitting of aluminium alloys and receipt of foundings of high quality are worked out.

**Key words:** aluminium alloy, modifier, dispersible particle, technological properties, fluidity, formation of cracks, gas content.

**Калинина Наталия Евграфовна** – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии производства Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара, Днепропетровск, Украина.

**Кавац Олег Анатольевич** – аспирант Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара, Днепропетровск, Украина.

**Калинин Василий Тимофеевич** – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры литейного производства Национальной металлургической академии Украины, Днепропетровск, Украина.