

УДК 669.018.28

Н.Е. КАЛИНИНА¹, О.А. КАВАЦ², В.Т. КАЛИНИН³¹Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Украина²ГП «ПО ЮМЗ им. А.М. Макарова»³Национальная металлургическая академия Украины, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЛИТЕЙНЫХ СИЛУМИНОВ

Приведено влияние нанодисперсного тугоплавкого модификатора карбида кремния на технологические свойства литейных алюминиевых сплавов АК12 и АК9ч. Показаны химические составы исследуемых алюминиевых сплавов систем Al-Si и Al-Si-Mg. Разработана технология модифицирования алюминиевых сплавов порошковым модификатором. Достигнуто повышение технологических свойств исследуемых сплавов. 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

Разработка новых узлов ракетно-космической техники ставит задачи повышения конструкционной прочности, коррозионной стойкости, технологических свойств литейных алюминиевых сплавов. В украинских ракетносителях применяют силумины системы алюминий-кремний, в частности, сплавы марок АК12, АК9ч, АК8л и АК7.

Из сплавов АК12 и АК9ч отливают ответственные детали, входящие в состав турбонасосного агрегата ракетного двигателя. Литейные алюминиевые сплавы марок АК8л и АК7 системы Al-Si-Mg применяют для изготовления ответственных деталей сложной конфигурации, так как имеют высокие показатели механических свойств в термически обработанном состоянии, высокую коррозионную стойкость, малую удельную прочность, 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 нетехнологичны 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 технологических и механических свойств отливок из алюминий-кремниевых-магниевого 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 АК12 и АК9ч (табл. 1) ультрадисперсными частицами кар-

бида кремния размерами до 100 нм отмечено повышение технологических и механических свойств сплавов, а также коррозионной стойкости.

Таблица 1

Химический состав
литейных алюминиевых сплавов

| Сплав | Содержание элементов, % мас. | | | | | |
|-------|------------------------------|-----|------|------|-----|-----|
| | Si | Zn | Mg | Mn | Cu | Fe |
| AK12 | 11,5 | 0,3 | - | 0,5 | 0,6 | 2,2 |
| AK9ч | 9,2 | 0,5 | 0,25 | 0,35 | 1,0 | 0,8 |
| AK8л | 7,5 | 0,3 | 0,45 | - | 0,3 | 1,0 |
| AK7 | 7,0 | 0,4 | 0,35 | - | 1,5 | 3,2 |

Нанодисперсные модификаторы получали методом плазмохимического синтеза с варьированием температурно-временного режима и состава газоплазменного потока.

Определяли удельную поверхность полученных тугоплавких соединений. Особенности размерно-кристаллографических параметров изучали методами электронной микроскопии и дифракционного анализа. Была разработана методика плакирования нанопорошков с целью их длительного хранения.

Эффект получения нанодисперсных соединений на основе Ti, Al, Mg методом плазмохимического синтеза обусловлен высокими скоростями объемной конденсации газоплазменного потока. Это приводит к нестабильному состоянию частиц: уменьшению параметров кристаллической решетки по сравнению с массивными соединениями, изменения параметров от центра к поверхности частиц вследствие максимального сжатия поверхностного слоя. Это вызывает неоднородное распределение компонентов и фаз по радиусу частицы.

Дисперсность наночастиц определяет свойства системы: модификатор-расплав и количественно характеризуется линейными размерами и удельной поверхностью частиц. Удельная поверхность $S_{уд}$ выражается уравнением

$$S_{уд} = S_{1-2}/\gamma V,$$

где S_{1-2} – поверхность между фазами 1 и 2 (межфазная поверхность модификатор-среда);

γ – плотность нанодисперсного соединения;

V – объем нанодисперсной фазы.

По удельной поверхности нанодисперсные системы занимают особое положение среди дисперсных систем. Если удельная поверхность в молекулярных системах (например, истинных растворах) отсутствует, так как молекулы не обладают поверхностью в обычном представлении, то удельная поверхность грубодисперсных систем очень невелика.

И лишь гетерогенные нанодисперсные системы (размер частиц 10... 100 нм) имеют сильно развитую удельную поверхность. Благодаря большой удельной поверхности нанодисперсных систем для них огромное значение имеют адсорбция и поверхностные явления, в то время как поведение грубодисперсных и молекулярных систем определяется в основном объемными свойствами.

Роль нанодисперсных добавок сводится к созданию в расплаве дополнительных искусственных центров кристаллизации. Для этого они должны быть соразмерны с критическими зародышами и обеспечивать достаточное их количество для получения в отливке мелкодисперсной структуры. Так, для измельчения первичного зерна аустенита в Fe-C-сплавах (инокулирующее модифицирование) размер наночастиц должен быть в пределах 20...50 нм, а для устранения отбела и измельчения графита в чугунах - 50...300 нм.

Электронномикроскопические исследования нанодисперсных соединений, полученных методом плазмохимического синтеза показывают, что частицы при кристаллизации сохраняют способность к самоогранке плоскими гранями и принадлежат к твердым кристаллическим веществам без видимых признаков присутствия аморфных фаз.

Сопоставление содержания свободных элементов (Si, C, Al, Ti) в нанопорошках с данными ГОСТ показывает, что в конечном продукте нежелательно их присутствие, особенно углерода, так как в дисперсной форме пирофобность элементов с увеличением их количества значительно возрастает.

Анализ микродифракционных картин от кристаллов графитизирующего карбида кремния позволил установить, что они по своей кристаллической структуре относятся к гексагональной сингонии с параметрами $a = 3,08 \text{ \AA}$, $c = 10,04 \text{ \AA}$. Сопоставление изображений частиц карбида кремния с их микродифракционными картинками показало, что основной габитусной плоскостью является базисная плоскость (0001), а огранка осуществляется плоскостями семейства {1010}. Поэтому частицы этого карбида формируются в виде шестигранных призм малой высоты. При контакте с атмосферой на поверхности частиц формируются окислы, подобные побежалости на поверхности массивных твердых тел. На начальной стадии окисел не является стехиометрическим и не обладает характерной для него кристаллической решеткой, образуя «псевдоаморфную» оболочку.

Разработан технологический процесс модифицирования сплавов АК9ч и АК12. Для удобства введения модификатора в расплав в работе использован способ таблетирования порошков карбида кремния. Для этого изготовили на пресс-автомате ударного

действия пресованные таблетки из смеси порошков карбида кремния фракцией до 100 нм и порошков алюминия фракцией 80...160 мкм в соотношении 1:4 (мас.). Таблетки диаметром 12 мм и высотой 6 мм имеют предел прочности на сжатие 12 МПа.

В приведенной работе определяли следующие технологические свойства литейных алюминиевых сплавов: жидкотекучесть и газосодержание.

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. Жидкотекучесть алюминиевых сплавов АК12 и АК9ч 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. Значения жидкотекучести сплавов АК12 и АК9ч до и после модифицирования 0,2 % SiC, которые определены методом прутковой пробы, приведены в табл. 2.

Таблица 2
Результаты определения жидкотекучести сплавов

| Сплав | Жидкотекучесть, мм |
|----------------------------|--------------------|
| АК12 | 358 |
| АК12, модифицированный SiC | 377 |
| АК9 | 225 |
| АК9, модифицированный TiC | 250 |

Из таблицы следует, что модифицирование карбидом кремния повышает жидкотекучесть сплавов АК12 и АК9ч на 5 % и 11 % соответственно.

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 [3]. Сплавы АК9ч и АК12 доэвтектического и эвтектического составов соответственно обладают высокой жидкотекучестью и менее склонны к образованию в отливках газовых раковин [4]. В данной работе газосодержание в сплавах до и после модифицирования частицами карбида кремния 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 про-

ходила при пониженном давлении, и выдерживали пробы в приборе в течение 40...60 с.

Результаты оценки проб (табл. 3) показывают, что модифицирование карбидом кремния литейных алюминиевых сплавов АК12 и АК9ч обеспечивает низкое газосодержание, соответствующее 1 баллу пористости для отливок из алюминиевых сплавов по ДСТУ 2839-94.

Таблица 3
Результаты определения газосодержания

| Сплав | Количество газовых пузырей до момента кристаллизации | Количество пор на 100 мм ² |
|-----------|--|---------------------------------------|
| АК12 | 10 | 4 |
| АК12+ SiC | 9 | 3 |
| АК9ч | 6 | 4 |
| АК9ч+ SiC | 4 | 3 |

Заключение

В заводских условиях проведен ряд экспериментальных плавок сплавов АК12 и АК9ч с частицами SiC.

Применение модификатора карбида кремния значительно повысило прочностные свойства и характеристики пластичности алюминиевых сплавов АК12 и АК9ч, привело к измельчению макро- и микроструктуры алюминиевых сплавов.

Работы, проведенные в промышленных условиях, показали повышение технологических свойств модифицированных алюминиевых сплавов: жидкотекучести алюминиевых сплавов - на 5...11 % и низкое газосодержание, соответствующее 1 баллу пористости по ДСТУ 2839-94.

Разработаны заводские технологические инструкции по модифицированию сплавов АК12 и АК9ч.

Литература

1. Куцова, В.З. *Алюміній та сплави на його основі [Текст]* / В.З. Куцова, Н.Е. Погребна. – Дніпропетровськ: Пороги, 2004. – 135 с.
2. Добаткин, В.И. *Газы и окислы в алюминиевых сплавах [Текст]* / В.И. Добаткин, Р.М. Габидуллин, Б.А. Колачев. – М.: Металлургия, 1976. – 262 с.
3. Кавац, О.А. *Изучение влияния наномодификатора на технологические свойства алюминиевых сплавов [Текст]* / О.А. Кавац, Н.Е. Калинина // *Человек и космос: тез. докл. XIV Междунар. науч.-практ. конф. 11-13 апреля 2012 г.* – Днепропетровск, 2012. – С. 284.
4. Калинина, Н.Е. *Влияние модифицирования на механические и коррозионные свойства литейных*

алюминиевых сплавов [Текст] / Н.Е. Калинина, О.А. Кавац, В.Т. Калинин // Проблемы высокотемпературной техники: сб. науч. пр. Днепроп. нац. ун-та ім. Олесь Гончара. – Дніпропетровск, 2008. – С. 57 – 61.

Поступила в редакцию 8.06.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологии производства Е.А. Джур, Днепропетровский национальный университет имени Олесь Гончара, Днепропетровск.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНИХ ЛИВАРНИХ СИЛУМІНІВ

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

Наведений вплив нанодисперсного тугоплавкого модифікатора карбіду кремнію на технологічні властивості ливарних алюмінієвих сплавів АК12 і АК9ч. Показано хімічні склади досліджуваних алюмінієвих сплавів систем Al-Si і Al-Si-Mg. Розроблено технологію модифікування алюмінієвих сплавів порошковим модифікатором. Досягнуто підвищення технологічних властивостей досліджуваних сплавів. 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.

TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF MODIFIED CASTINGS SILUMINS

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 AK12 and AK9ч. Chemical compositions of the investigated aluminium alloys of the systems of Al-Si and Al-Si-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 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 Олесь Гончара, Днепропетровск, Украина, e-mail: kalinina-ne@yandex.ru.

Кавац Олег Анатольевич – канд. техн. наук, ведущий технолог ГП «ПО ЮМЗ им. А.М. Макарова», Днепропетровск, Украина, e-mail: olegkavats@i.ua.

Калинин Василий Тимофеевич – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры литейного производства Национальной металлургической академии Украины, Днепропетровск, Украина, e-mail: kalinina-ne@yandex.ru.