

1,12-1,9 раз, а также росту твердости сплава в 2 раза.

2. Полученные данные позволяют рекомендовать водородную обработку в течение 20-40 мин с дальнейшим быстрым охлаждением или закалкой в воду и термоциклированием в твердом состоянии для улучшения свойств сплава АК18 (В-Sn).

Библиографический список

1. Мондольфо Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов: Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.

2. Борисов Г. П. Водородная обработка расплава – как метод снижения водородной по-

ристости отливок из алюминиевых сплавов // Водородная обработка материалов. – Донецк, ДонГТУ, 2001. – С. 202-204.

3. Kutsova V. Z. The Regularities of the Structure Formation and Phase Transformation in Al-Si Alloys // Advanced Light Alloys and Composites. – NATO ASI Series. – 1997. – P. 29-34.

4. [Таран Ю. Н.], Куцова В. З., Носко О. А. Фазовые переходы полупроводник-металл // Успехи физики металлов. – Т. 5. – 2004. – С. 87-166.

5. Силумины. Атлас микроструктур и фрактотграмм промышленных сплавов: Справ. изд. / А. Г. Пригунова, Н. А. Белов, Ю. Н. Таран и др. – М.: МИСИС, 1996. – 175 с.

Поступила 04.02.2015



УДК 658.382.3:669.715:621.785

Производство



Скуйбеда Е. Л. /к. т. н./
ЗНТУ

Экологически безопасная технология повышения качества вторичных сплавов системы Al-Si-Cu-Fe

Исследование посвящено улучшению структуры, механических и служебных свойств вторичного сплава АК8М3. Применение разработанной экологически безопасной технологии рафинирующе-модифицирующей и термической обработки позволило достичь вторичными силуминами уровня свойств, удовлетворяющего требованиям ГОСТ 1583-93. Промышленная апробация в условиях АО «Мотор-Сич» показала высокую эффективность и технико-экономическую целесообразность использования данной технологии. Ил. 1. Табл. 1. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: силумин, рафинирование, модифицирование, термическая обработка, безопасность, токсичность

The research is devoted to improvement of structure and increase of mechanical and service properties of the secondary alloy АК8М3. Application of developed ecologically safe technology of refining-modifying and heat treatment allowed secondary silumins to answer the requirements of ГОСТ 1583-93. High efficiency and technical-economic expediency of present technology during production approbation at joint-stock company «Motor-Sich» was shown.

Keywords: silumin, refining, modification, heat treatment, safety, toxicity

Постановка проблемы

В современных экологических, экономических и социально-политических условиях осо-

бую важность для металлургии Украины приобретает использование собственной сырьевой базы, снижение себестоимости выпуска продук-

ции, а также утилизация металлолома. Решить поставленные задачи позволяет рециклинг лома и отходов производства. Однако, при изготовлении вторичных алюминиевых сплавов, как правило, используются вредные для человека и окружающей среды вещества. Поэтому ряд экологических проблем можно решить при уменьшении концентрации используемых вредных веществ, замене чрезвычайно опасных и высокоопасных веществ элементами и соединениями 3-го и 4-го классов опасности, а также применении нетоксичных продуктов.

Анализ последних исследований и публикаций показал, что достичь достаточно высоких результатов в повышении качества алюминиевых сплавов на основе вторичного сырья наряду со сравнительно низкими затратами можно с помощью методов рафинирования и модифицирования. Наиболее распространены флюсы на основе хлористых и фтористых соединений щелочных и щелочноземельных металлов, а также криолит [1, 2]. При этом, в последнее время все больше внимания уделяется использованию экологически безопасных порошковых и ультрадисперсных частиц (карбидов, боридов, нитридов, оксидов), а также наноматериалов. Широкое разнообразие химических компонентов, а, соответственно, и составляющих в структуре вторичных силуминов обуславливает необходимость усовершенствования известных рафинирующе-модифицирующих составов как для получения качественного металла, так и для уменьшения объемов и составов пылегазовых выбросов.

Термическая обработка, являющаяся, как правило, неотъемлемой частью процесса получения изделий из алюминиевых сплавов должна учитывать химический состав вторичного сырья и быть энергосберегающей. Поскольку наиболее распространенной и, в то же время, наиболее вредной примесью силуминов считается железо, то можно предположить, что при выборе режимов термической обработки акцент необходимо делать именно на концентрацию железа в сплавах.

Цель работы

Разработка безопасной технологии обработки вторичных алюминиевых сплавов с повышенным содержанием железа и ее апробация в промышленных условиях.

Методика исследований

Исследование проводили в условиях АО «Мотор-Сич» (г. Запорожье, Украина) на сплаве АК8МЗ следующего химического состава (масс. %): 9,61-9,65 % Si; 3,44-3,47 % Cu; 1,18-1,21 % Fe; 0,08 % Mg; 0,07 % Zn; 0,05 % Mn; 0,01 % Ni; остальное – Al. Приготовление сплава соверша-

ли в печи ТПП-150. По стандартной технологии, применяющейся на предприятии, для модифицирования использовали соль K_2ZrF_6 в количестве 0,5-1,0 % от массы расплава. Затем после модифицирования при температуре 700 ± 20 °C расплав подвергали фильтрации и переливали в печь У6678-7583.

Согласно разработанной комплексной технологии обработки вторичных силуминов для рафинирования использовали флюс (1 % от массы сплава), содержащий 25-30 % NaCl; 3-10 % S; 2,0-5,0 % KBF_4 ; 1,5-5,0 % Na_2CO_3 ; 1,5-5,0 % $SrCO_3$; 0,5-2,0 % Ti; 0,5-0,8 % SiC; 0,2-0,5 % C; остальное – AlF_3 [3]. В качестве модификатора применяли состав 10-20 % Na_2CO_3 ; 15-20 % $SrCO_3$; 12-20 % SiC; 3-8 % Ti; 0,5-2 % C; остальное – S в количестве 0,1 % от массы сплава [4]. Температура обработки составляла 720 ± 10 °C.

Химический состав полученного материала определяли методом спектрального анализа. Структурно-фазовые изменения изучали с помощью металлографических и рентгеноструктурных методов. Для оценки механических и служебных свойств пользовались стандартными методиками. Определяли такие показатели как твердость НВ, предел прочности при испытании на растяжение σ_b , условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, относительное удлинение δ , количество циклов N до разрушения при малоцикло-вой усталости, предел длительной прочности σ_{-1} и вязкость разрушения K_{IC} .

Основной материал исследования

При использовании стандартной заводской технологии плавки и стандартного по ГОСТ 1583-93 режима Т6 (закалка 500 ± 10 °C, 6 ч, старение 180 ± 10 °C, 7 ч) в структуре вторичного силумина АК8МЗ присутствовали длинные вытянутые пластины железистой фазы Al_5SiFe (рисунок а). В целом структурные составляющие сильно отличались по размеру. Эвтектика имела грубую морфологию. Наблюдали неоднородность распределения частиц эвтектического кремния, медь- и железосодержащих частиц по сечению шлифа.

В результате рафинирующе-модифицирующей обработки разработанными составами (патенты Украины № 42653 и № 44463) и термической обработки по стандартному режиму вместо интерметаллида Al_5SiFe в структуре сплава наблюдали фазу $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$. Частицы фазы $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$ или приближались по форме к распылчатым многогранникам, или присутствовали в виде разветвленных частиц в составе эвтектических колоний (рисунок б). При обработке расплава разработанными флюсом и модификатором устранялась неоднородность

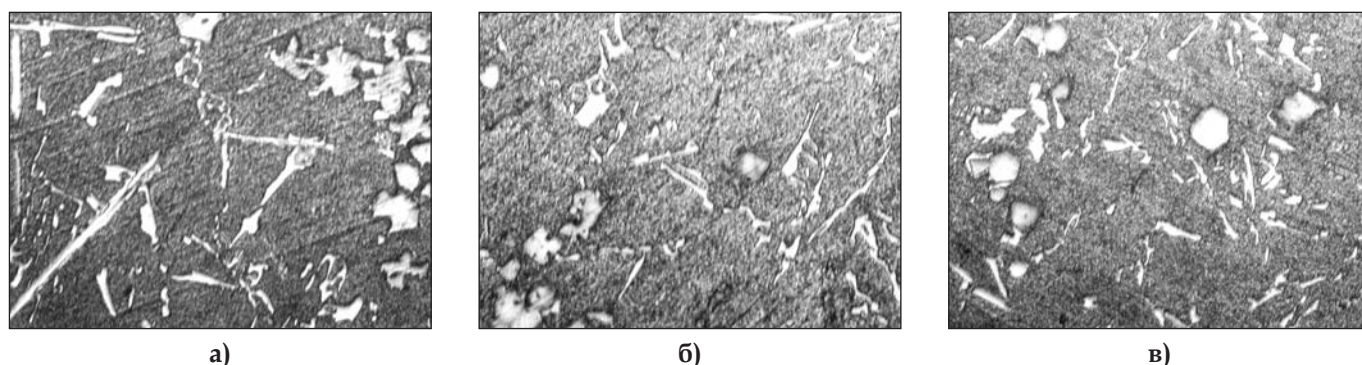


Рисунок. Структура вторичного сплава АК8М3 после разных вариантов технологической обработки, x400:

- а – стандартная заводская технология плавки силуминов и стандартная термическая обработка по режиму Т6 (закалка 500 ± 10 °С, 6 ч, старение 180 ± 10 °С, 7 ч);
- б – рафинирующе-модифицирующая обработка расплава разработанными комплексами и стандартная термическая обработка по режиму Т6;
- в – рафинирующе-модифицирующая обработка расплава разработанными комплексами и экспериментальный режим термической обработки (закалка 500 ± 10 °С, 8 ч, старение 180 ± 10 °С, 11 ч)

структуры, свойственная образцам после стандартной технологии обработки.

Ранее было установлено [5-7], что временные параметры термической обработки вторичных силуминов должны выбираться с учетом концентрации железа, и для сплавов содержащих 1,2 масс. % Fe необходимо применять время выдержки при закалке на уровне 8 ч и время выдержки при старении на уровне 11 ч. Технологическому варианту, который состоял из комплексной рафинирующе-модифицирующей и термической обработки, с учетом концентрации железа, соответствовала мелкодисперсная структура с равномерным распределением составляющих (рисунок в). Использование предложенных режимов закалки и старения привело к дополнительному благоприятному изменению формы выделений железистой фазы $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$, частицы которой имели практически равноосную форму.

Результаты анализа микроструктуры сплава АК8М3 подтверждаются результатами испытания механических и эксплуатационных свойств (таблица).

Использование разработанных флюса и модификатора позволило повысить уровень механических и служебных свойств вторичного силумина АК8М3: НВ на 30 %, σ_B^p – 15 %, $\sigma_{0,2}$ – 11 %, δ – 57 %, N – 52 %, σ_1 – 10-12 % и K_{IC} на 11 % по сравнению со стандартной технологией рафинирующей обработки.

Промышленные плавки показали, что с увеличением времени выдержки под закалку с 6 до 8 ч, а времени выдержки при старении с 7 до 11 ч происходило повышение НВ в среднем на 9 %, σ_B^p и $\sigma_{0,2}$ – 7-8 %, δ – 10 %, N – 30 %, σ_1 – 16-20 % и K_{IC} на 12 %. При использовании комплексной технологии рафинирующе-модифицирующей и термической обработки твердость увеличилась в среднем на 41 %, предел прочности – 24 %, условный предел текучести – 19 %, относительное удлинение – 43 %, малоцикловая усталость – 107 %, предел выносливости – 29-31 % и вязкость разрушения на 19 % по сравнению с заводской технологией рафинирования и термической обработки сплава.

Благоприятная морфология включений фазы $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$ способствовала повышению твердости, прочности, пластичности, малоцикловой и многоцикловой усталости, а также трещиностойкости сплава по сравнению с иглообразными частицами фазы Al_3SiFe , что связано с легким зарождением и распространением трещин по телу вытянутых частиц, являющихся концентраторами напряжений в материале. Также важное значение приобретает характер распределения железистых интерметаллидов в

Таблица

Свойства вторичного силумина АК8М3 после разных вариантов обработки расплава и термической обработки (согласно рисунка)

| Обработка | НВ | σ_B^p , МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | δ , % | N, циклов | σ_1 на базе $10^7/10^8$ циклов, МПа | K_{IC} , МПа/ $\sqrt{м}$ |
|--------------|-----|--------------------|----------------------|--------------|-----------|--|----------------------------|
| а | 85 | 203 | 152 | 0,7 | 8648 | 78/73 | 18,6 |
| б | 110 | 234 | 168 | 1,1 | 13142 | 87/80 | 20,7 |
| в | 120 | 252 | 180 | 1,0 | 17870 | 101/96 | 22,1 |
| ГОСТ 1583-93 | 90 | 216 | - | 0,5 | - | - | - |

структуре. В случае их равномерного распределения механические и служебные свойства повышались. С целью увеличения вязкости разрушения материала необходимо увеличивать запас пластичности и создавать условия для затупления трещин, что становится возможным при равномерном распределении, компактности формы и равномерности распределения частиц железистых и медьсодержащих фаз, а также эвтектического кремния.

Выводы

При применении предложенной технологии обработки силуминов с повышенным содержанием железа уровень механических свойств удовлетворял требованиям ГОСТ 1583-93. Экспериментальная технология обработки для рециклинга алюминиевых сплавов внедрена на АО «Мотор-Сич». Результаты опытно-промышленных исследований показали, что расход рафинирующе-модифицирующих комплексов уменьшался в 5-10 раз по сравнению с применением стандартных флюсов на основе вредных веществ высокого класса опасности. Внедрение экологически безопасного рафинирующего флюса и модификатора позволило АО «Мотор Сич» увеличить объемы использования отходов производства, что положительно сказывается на состоянии окружающей среды.

Библиографический список

1. Экологические и экономические аспекты рафинирующей обработки силуминов / Г. А. Румянцева, Б. М. Немененко, С. П. Задруцкий и др. // *Литье и металлургия*. – 2011. – № 3 (61). – С. 32-34.

2. Системный подход к качеству литья и препараты для эффективной печной и внепечной обработки сплавов на основе алюминия / С. П. Задруцкий, С. П. Королев, Б. М. Немененко и др. // *Литье Украины*. – 2005. – № 2 (54). – С. 29-38.

3. Пат. 44463, МПК (2009) C22B 1/00, C22B 9/00. Флюс для оброблення алюмінієвих сплавів / І. П. Волчок, О. А. Мітяєв, А. Є. Островська, О. Л. Скуйбіда; заявник та патентоутримувач Запорізький нац. техн. ун-т. – № 200902450; заявл. 19.03.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19.

4. Пат. 42653, МПК (2009) C22C 1/00. Модифікатор алюмінієвих сплавів / І. П. Волчок, О. А. Мітяєв, А. Є. Островська, О. Л. Скуйбіда; заявник та патентоутримувач Запорізький нац. техн. ун-т. – № 200902454; заявл. 19.03.2009; опубл. 10.07.2009, Бюл. № 13.

5. Волчок И. П. Термическая обработка железосодержащих силуминов / И. П. Волчок, Е. Л. Скуйбеда // *Литье и металлургия*. – 2012. – № 3 (67). – С. 94-97.

6. Skuibida O. L. Comprehensive influence of heat treatment and iron impurities on the structure of secondary silumins / O. L. Skuibida // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов*. – Вып. 73. – Дн-ск: ПГАСА, 2014. – С. 132-136.

7. Скуйбеда Е. Л. О формировании структуры и изменении свойств вторичных силуминов при термообработке / Е. Л. Скуйбеда // *Металлургия машиностроения*. – 2014. – № 3. – С. 10-13.

Поступила 04.03.2015

