

УДК 669.715:656

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВТОРИЧНЫХ СИЛУМИНОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАФИНИРУЮЩЕ-МОДИФИЦИРУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

ЛЮТОВА О.В.^{*}, канд. техн. наук

^{*}Кафедра начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики, Запорожский национальный технический университет, 69063, ул. Жуковского 64, г. Запорожье, Украина, тел.+38(061)7698532, E-mail: tmzntu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8818-2608

Аннотация. Цель. В связи с постоянным ростом производства изделий из алюминиевых сплавов и накоплением их лома и отходов, в мире стоит проблема производства алюминиевых сплавов на базе вторичного сырья. Главными недостатками вторичных алюминиевых сплавов являются низкие технологические и механические свойства, повысить которые можно в результате совершенствования процессов рафинирования и модифицирования расплава. **Методика.** Оптическая микроскопия, применение стандартных и специальных методов исследований для определения механических и технологических свойств (жидкотекучести, линейной усадки, пористости литого металла). **Результаты.** Изучено влияние рафинирующе-модифицирующих комплексов на структуру и свойства вторичных сплавов АК9М2 и АК8М3. Установлено, что применение флюса и модификатора, защищенных патентами Украины № 31862 «Флюс для обработки алюминиевых сплавов» и № 32929 «Модификатор для алюминиевых сплавов», позволяет повысить уровень литейных и механических свойств вторичных алюминиевых сплавов. **Научная новизна.** Полученные новые концентрационные зависимости, описывающие совместное влияние количества стружки в шихте, содержания железа в сплаве и присадки модификатора на литейные и механические свойства вторичного силумина АК9М2, позволили оптимизировать процессы рафинирования, модифицирования и повысить технологические и механические свойства сплава. **Практическая значимость.** Установлено, что увеличение литейных и механических свойств вторичных силуминов возможно в результате двухстадийной обработки жидкого металла флюсом по патенту Украины № 31862 «Флюс для обработки алюминиевых сплавов» в печи и модификатором по патенту № 32929 «Модификатор для алюминиевых сплавов» в разливочном ковше. Двухстадийная обработка позволяет получать металл высокого качества, используя шихту на 100 % состоящую из вторичных материалов.

Ключевые слова: вторичные алюминиевые сплавы, двухстадийная обработка, модификатор, флюс, технологические свойства

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВТОРИННИХ СИЛУМІНІВ У РЕЗУЛЬТАТІ УДОСКОНАЛЕННЯ РАФІНУВАЛЬНО-МОДИФІКУВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

ЛЮТОВА О.В.^{*}, канд. техн. наук

^{*}Кафедра нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки, Запорізький національний технічний університет, 69063, вул. Жуковського 64, м. Запорожжя, Україна, тел.+38(061)7698532, E-mail: tmzntu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8818-2608

Анотація. Мета. Узв'язку з постійним збільшенням виробництва виробів з алюмінієвих сплавів та накопиченням їх лому та відходів, у світі є проблема виробництва алюмінієвих сплавів на базі вторинної сировини. Головними недоліками вторинних алюмінієвих сплавів є низькі технологічні та механічні властивості, підвищити котрі можливо у результаті удосконалення процесів рафінування та модифікування розплаву. **Методика.** Оптична микроскопія, використання стандартних та спеціальних методів досліджень для визначення механічних та технологічних властивостей (рідкооплинності, лінійної усадки, пористості литого металу). **Результати.** Вивчено вплив рафінувально-модифікувальних комплексів на структуру та властивості вторинних сплавів АК9М2 та АК8М3. Встановлено, що використання флюсу та модифікатора, захищених патентами України № 31862 «Флюс для обробки алюмінієвих сплавів» і № 32929 «Модифікатор для алюмінієвих сплавів», дозволяє підвищити рівень ливарних та механічних властивостей вторинних алюмінієвих сплавів. **Наукова новизна.** Отримані нові концентраційні залежності, що описують спільний вплив кількості стружки у шихті, вмісту заліза у сплаві та присадки модифікатора на ливарні та механічні властивості вторинного силуміну АК9М2, дозволили оптимізувати процеси рафінування, модифікування та підвищити технологічні та механічні властивості сплаву. **Практична значимість.** Встановлено, що підвищення ливарних та механічних властивостей вторинних силумінів можливо у результаті двохстадійної обробки рідкого металу флюсом за патентом України № 31862 «Флюс для обробки алюмінієвих сплавів» у печі та модифікатором за патентом № 32929 «Модифікатор для алюмінієвих

сплавів» у розливному ковші. Двохстадійна обробка дозволяє отримати метал високої якості, використовуючи шихту, що на 100 % складається з вторинних матеріалів.

Ключові слова: вторинні алюмінієві сплави, двухстадійна обробка, модифікатор, флюс, технологічні властивості

SECONDARY SILUMINS OF TECHNOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES INCREASING BY IMPROVED REFINING-MODIFYING PROCESSES

LYUTOVA O.V. *, *Cand. Sc. (Tech)*

* Department of Descriptive Geometry, Engineer and Computer Graphics, Zaporizhzhya National Technical University, 69063, 64 Zhukovsky St., Zaporizhzhya, Ukraine, h. + 38(061)7698532, E-mail: tmzntu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8818-2608

Abstract. Purpose. Due to the constant increase of aluminum alloys production and their scrap and waste accumulation there is the world problem of aluminum alloys production on the secondary raw materials base. The main secondary aluminum alloys shortcoming are the low technological and mechanical properties, which can be improved by refining processes and melt modification. **Methodology.** Optical microscopy, standard and special investigation methods application for mechanical and technological properties determination (fluidity, linear shrinkage, metal cast porosity). **Findings.** The influence of refining-modifying complexes on the structure and properties of secondary alloys AK9M2 and AK8M3 is studied. It's found that an application of flux and modifier protected by Ukraine patents № 31862 «Aluminum alloys treatment flux» and № 32929 «Aluminum alloys modifier», can increase the easting level foundry and mechanical properties of secondary aluminum alloys. **Originality.** The resulting new concentration dependences describing the joint effect of the number of chips in the charge, the iron content in the alloy additives and modifiers for casting and mechanical properties of the secondary silumina AK9M2 allowed to optimize the refining process, modify and improve the processing and mechanical properties of the alloy. **Practical value.** It has been established that secondary silumin foundry and the mechanical properties increase may result in two-stage treatment of the molten metal with flux by Ukraine patent № 31862 «Aluminum alloys treatment flux» in the furnace and with modifier by the patent № 32929 «Aluminum alloys modifier» in the ladle. Two-stage process produces high metal quality, using 100% of recycled materials charge.

Key words: secondary aluminum alloys, fluidity, linear shrinkage, porosity, modifier, flux

Введение

В последние годы при производстве алюминиевых сплавов все более широкое применение находят вторичные шихтовые материалы: литники, брак, стружка и прочее. Вследствие загрязнения этих материалов маслами, железом, пластмассами и другими примесями снижаются механические и технологические свойства силуминов работе [1-3, 5].

Для повышения уровня механических и технологических свойств вторичных алюминиевых сплавов применяется комплексная обработка, включающая в себя процессы рафинирования и модифицирования [6, 11, 13].

Цель работы

Представленные результаты исследований в работе [4] показали, что применение модификатора по патенту № 57584А [7] не всегда обеспечивало получение механических свойств сплава АК9М2 на уровне требований ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93). При содержании стружки в шихте более 15 % и железа в сплаве более 1,5 % предел прочности и относительное удлинение были ниже заданных ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93) значений.

В связи с этим дальнейшие исследования заключались в повышении механических (прочность,

пластичность, твердость) и технологических свойств путем совершенствования процессов рафинирования и модифицирования.

Методика

Была предложена двухэтапная обработка жидкого металла: 1) в печи; 2) в ковше, для чего разработаны новые составы флюса и модификатора. Приведенные результаты в работе [4] получены с использованием стандартного флюса состава, масс. %: 62 NaCl, 13 KCl, 25 NaF и модификатора (патент № 57584А) [7]. Прототипами при разработке составов флюса и модификатора послужили флюс (патент № 58793А) [8] состава, масс. %: (S) 3...10; хлорид калия (KCl) 10...15; хлорид натрия (NaCl) 30...40; карбонат натрия (Na₂CO₃) 1,5...5; карбид кремния (SiC) 0,5...0,8; фторид алюминия (AlF₃) остальное. Модификатор (патент № 57584А) [2] состава, масс. %: карбоната натрия (Na₂CO₃) 25...40; карбида кремния (SiC) 12...20; титана (Ti) 3...8; серы (S) остальное.

Согласно литературным данным [12], применение прототипов флюса (патент № 58793А) [8] и модификатора (патент № 57584А) [7] обеспечило некоторое улучшение структуры, повышение механических свойств и жидкотекучести. С целью дальнейшего увеличения технологических и механических свойств были разработаны новые составы.

В состав флюса включены, масс. %: сера (S) 3...10; хлорид натрия (NaCl) 25...30; карбонат натрия (Na₂CO₃) 1,5...5; карбонат стронция (SrCO₃) 1,5...5; тетрафтороборат калия (KBF₄) 2...5; титан (Ti) 0,5...2; карбид кремния (SiC) 0,5...0,8; фторид алюминия (AlF₃) остальное.

В состав модификатора входят, масс. %: карбонат натрия (Na₂CO₃) 10...20; карбонат стронция (SrCO₃) 15...20; карбид кремния (SiC) 12...20; титан (Ti) 3...8; сера (S) остальное.

Отличительной особенностью было то, что в составы флюса и модификатора был введен карбонат стронция SrCO₃, который усиливал действие карбоната натрия Na₂CO₃. При наличии в расплаве карбонатов натрия и стронция, происходит их диссоциация с выделением углекислого газа, пузырьки которого рафинируют расплав от неметаллических включений и растворенных газов по флотационному механизму. Наличие одновременно соединений натрия и стронция, совместимых в качестве модификаторов алюминиевых сплавов, обеспечивало более высокую степень модифицирования эвтектического кремния в силуминах, что приводило к повышению механических и технологических свойств. Полная замена карбоната натрия карбонатом стронция не является целесообразной, так как стронций способствует увеличению газовой пористости и имеет большую стоимость.

Кроме того, для улучшения рафинирующе-модифицирующего эффекта в состав флюса был введен тетрафторобората калия KBF₄ в количестве 2...5 %, который обеспечивал образование на поверхности расплава защитной пленки и извлечение твердых частиц неметаллических включений, а также частично растворенных газов. Наличие этого компонента в составе флюса способствовало адсорбции шлаковых включений и одновременному извлечению из расплава водорода, который образует с оксидом алюминия комплексное соединение Al₂O₃-H₂.

Для экспериментальной проверки действия разработанных флюса и модификатора были проведены исследования в промышленных условиях по их влиянию на вторичные алюминиевые сплавы АК9М2 и АК8М3, выплавленные в пламенной печи ЕНW5000, в сравнении с обработкой стандартным флюсом (62 % NaCl, 13 % KCl, 25 % NaF) и модификатором по патенту № 57584А (табл. 1, 2, 3, 4). Количество флюса составляло 0,5 % от массы расплава. Флюс в жидкий металл вводился в процессе его расплавления с помощью приспособления «колокольчик». Модификатор, с целью его более технологичного ввода в расплав, был спрессован в таблетизированные брикеты массой 50 г, в расплав вводился с помощью «колокольчика», в количестве 0,10...0,15 % от массы расплава.

Температура обработки расплава модификатором составляла 710±5 °С. После проведения модифицирования и выдержки металла в печи в

течение 10...15 мин определялись литейные свойства (жидкотекучесть, линейная усадка, балл пористости) по стандартным методикам. Для определения механических свойств изготавливались образцы согласно ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93).

Результаты

Таблица 1

Литейные свойства сплава АК9М2 / Foundry properties of the alloy АК9М2

| Обработка расплава | Число плавков | Жидкотекучесть L, мм | Линейная усадка ε _л , % | Балл пористости |
|--|---------------|----------------------|------------------------------------|-----------------|
| Стандартный Ф+М (патент № 57584А) | 8 | 360 | 1,15 | 1,0 |
| Ф (патент № 31862)+ М (патент № 32929) | 5 | 405 | 1,20 | 1,0 |

Таблица 2

Механические свойства сплава АК9М2 / Mechanical properties of the alloy АК9М2

| Обработка расплава | Число плавков | σ _в , МПа | δ, % | HRB |
|--|---------------|----------------------|------|-----|
| Стандартный Ф+М (патент № 57584А) | 8 | 148 | 2,8 | 46 |
| | | 259 | 2,0 | 51 |
| Ф (патент № 31862)+ М (патент № 32929) | 5 | 162 | 3,4 | 48 |
| | | 296 | 2,9 | 55 |

Таблица 3

Литейные свойства сплава АК8М3 / Foundry properties of the alloy АК8М3

| Обработка расплава | Число плавков | Жидкотекучесть L, мм | Линейная усадка ε _л , % | Балл пористости |
|---------------------------------------|---------------|----------------------|------------------------------------|-----------------|
| Стандартный Ф+М (патент № 57584А) | 8 | 345 | 1,0 | 1,0 |
| Ф (патент № 31862)+М (патент № 32929) | 5 | 385 | 1,10 | 1,0 |

Таблица 4

Механические свойства сплава АК8М3 / Mechanical properties of the alloy АК8М3

| Обработка расплава | Число плавков | σ _в , МПа | δ, % | HRB |
|--|---------------|----------------------|------|-----|
| Стандартный Ф+М (патент № 57584А) | 8 | 162 | 1,4 | 58 |
| | | 216 | 1,1 | 62 |
| Ф (патент № 31862)+ М (патент № 32929) | 5 | 181 | 1,8 | 67 |
| | | 262 | 1,4 | 73 |

Примечание. Числитель – значения показателей без термообработки; знаменатель – значения показателей после термообработки.

Структуры сплава АК9М2 приведены на рис. 1.1. В исходной структуре наблюдались длинные пластинчатые интерметаллиды типа Al_5SiFe , а также включения $Al_{15}Si_2(FeMn)_3$ звездообразного типа (см. рис. 1 а). После обработки расплава стандартным флюсом в комплексе с модификатором (патент № 57584А) произошло уменьшение размеров интерметаллидов Al_5SiFe , а $Al_{15}Si_2(FeMn)_3$ приобрели более компактную форму (см. рис. 1 б).



а



б



в

Рис. 1 Влияние рафинирующе-модифицирующей обработки на структуру сплава АК9М2 без термообработки ($\times 200$): а – без обработки флюсом и модификатором; б – стандартный флюс + модификатор (патент № 57584А); в – флюс (патент № 31862) + модификатор (патент № 32929) /

Fig. 1 Effect of refining-modifying treatment to alloy structure without thermal treatment AK9M2 ($\times 200$): a – processing without flux and a modifier; b – a standard flux + modifier (patent № 57584A); c – flux (patent № 31862) + modifier (patent № 32929)

Наиболее благоприятная структура была получена при обработке расплава разработанными составами флюса (патент № 31862) и модификатора

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Калинина Н.Е. Влияние модифицирования на фазовый состав высокопрочных алюминиевых

(патент № 32929), в результате измельчения интерметаллидных фаз и кремния эвтектики более равномерного их распределения, а также увеличения количества фазы $Al_{15}Si_2(FeMn)_3$ и уменьшения количества фазы Al_5SiFe (см. рис. 1 в).

Применение флюса и модификатора, предложенных составов, дало возможность повысить жидкотекучесть сплавов на 12...15 %, линейную усадку на 4...6 %, что свидетельствует об образовании более концентрированной усадочной раковины и увеличении плотности металла, снизить балл пористости до 1 балла согласно ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93), предел прочности увеличился на 10 %, относительное удлинение на 20...25 % (без термообработки), твердость на 8 % по сравнению с обработкой стандартным флюсом и модификатором по патенту № 57584А.

Научная новизна и практическая значимость

Полученные новые концентрационные зависимости, описывающие совместное влияние количества стружки в шихте, содержания железа в сплаве и присадки модификатора на литейные и механические свойства вторичного силумина АК9М2, позволили оптимизировать процессы рафинирования, модифицирования и повысить технологические и механические свойства сплава.

Установлено, что увеличение литейных и механических свойств вторичных силуминов возможно в результате двухстадийной обработки жидкого металла флюсом по патенту Украины № 31862 «Флюс для обработки алюминиевых сплавов» в печи и модификатором по патенту № 32929 «Модификатор для алюминиевых сплавов» в разливочном ковше. Двухстадийная обработка позволяет получать металл высокого качества, используя шихту на 100 % состоящую из вторичных материалов.

Выводы

Установлено, что применение флюса и модификатора, защищенных патентами Украины № 31862 «Флюс для обработки алюминиевых сплавов» [9], № 32929 «Модификатор для алюминиевых сплавов» [10] позволяет повысить уровень литейных и механических свойств вторичных алюминиевых сплавов. Учитывая наличие наследственности у алюминиевых сплавов, это дает возможность сохранить оптимальный уровень свойств на последующих стадиях переработки.

сплавов / Н.Е. Калинина, З.В. Вилищук // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. тр. – Вып. 5, – Днепропетровск, ПГАСиА. – 2010. – С. 39-44.

Kalinina N.E., Vilishchuk Z.V. Vliianie modifitsirovaniya na fazovyi sostav vysokoprochnykh aliuminievykh splavov [Influence modification on the

phase composition of high-strength aluminum alloys]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie: sb. nauchn. tr.* [Building, materials sciences, mechanic engineering: Collection of scientific papers]. Issue 5, Dnepropetrovsk, PSAES, 2010, pp. 39-44.

2. Квац О.А. Современные способы модифицирования литейных силуминов / О.А. Квац, Н.Е. Калинина, В.Т. Калинин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы докладов 67 Международной научно-практической конференции, 24-27 мая 2007 г. – Днепропетровск – С. 251-252.

Kvats O.A., Kalinina N.E., Kalinin V.T. *Sovremennye sposoby modifitsirovaniia liteinykh siluminov* [The modern methods of modifying of foundry silumins]. *Problemy i perspektivy razvitiia zheleznodorozhnogo transporta: tezisy dokladov 67 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, (24.05-27.05.2007)* [Problems and Perspectives of Railway Transport Development: Proc. of Reports of the 67 International Scientific and Practical Conference]. Dnepropetrovsk, 2007, pp. 251-252.

3. Куцова В.З. Модифікування алюмінієвих сплавів / В.З. Куцова, О.В. Швець, Т.А. Аюпова // *МОН*. – 2001. – № 1-2. – С. 99-109.

Kutsova V.Z., Shvets O.V., Aiupova T.A. *Modyfikuvannya aliuminiievykh splaviv* [Modification of aluminum alloys]. *МОН*, 2001, no. 1-2, pp. 99-109.

4. Лютова О.В. Влияние металлургических факторов производства на качество силуминов / О.В. Лютова, И.П. Волчок // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. тр.* – Вып. 45, ч.2. – Днепропетровск: ПГАСиА, 2008. – С. 34-41.

Lyutova O.V., Volchok I.P. *Vliianie metallurgicheskikh faktorov proizvodstva na kachestvo siluminov* [Influence of metallurgical factors of production on the quality silumins]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie: sb. nauchn. tr.* [Building, materials sciences, mechanic engineering: Collection of scientific papers]. Issue 45, Part 2, Dnepropetrovsk, PSAES, 2008, pp. 34-41.

5. О рафинировании и модифицировании алюминиевых сплавов / С.П. Задруцкий, Б.М. Немененок, С.П. Королев [и др.] // *Литейное производство*. – 2004. – № 3. – С. 17-20.

Zadrutskii S.P., Nemenenok V.M., Korolev S.P. and oth. *O rafinirovani i modifitsirovani aliuminiievykh splavov* [On the refining and modification of aluminum alloys]. *Liteinoe proizvodstvo – Foundry Production*, 2004, no. 3, pp. 17-20.

6. Получение нанокристаллических композиций управляемым плазмохимическим синтезом / В.Т. Калинин, А.С. Дубников, А.Я. Качан [и др.] // *Вісник двигунобудування*. – 2007. – № 1(15). – С. 134-137.

Kalinin V.T., Dubnikov A.S., Kachan A.YA. and oth. *Poluchenie nanokristallicheskih kompozitsii upravliaemym plazmokhimicheskim sintezom* [Preparation of nanocrystalline compositions controlled

by plasma chemical synthesis]. *Visnyk dvygunobuduvannia* [Herald of aeroenginebuilding], 2007, no. 1(15), pp. 134-137.

7. Пат. 57584А Україна, МКВ С22С1/06. Модифікатор для алюмінієвих сплавів / І.П. Волчок, О.А. Мітяєв (Україна); заявник і патентотримувач Запорізький національний технічний ун-т. – № 2002108343; заявл. 22.10.2002; опубл. 16.06.2003, Бюл. № 6. – 4с.

Pat. 57584A Ukraine, МКВ С22С1/06. *Modyfikator dlia aliuminiievykh splaviv* [Aluminum alloys modifier] / I.P. Volchok, O.A. Mityayev (Ukraine); zaiavnyk i patentotrymuvach Zaporizkyi Natsionalnyi Technichnyi Universytet. – № 2002108343; zaiavl. 22.10.2002; opubl. 16.06.2003, Byul. № 6. – 4s.

<http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=vie wdetails&IdClaim=67242>

8. Пат. 58793А Україна, МКВ С22В21/06, С22В9/10. Флюс для обробки алюмінієвих сплавів / Волчок І.П., Мітяєв О.А., Рязанов С.Г. (Україна); заявник і патентотримувач Запорізький національний технічний ун-т. – № 2002108362; заявл. 22.10.02; опубл. 15.08.03. Бюл. № 8. – 4с.

Pat. 58793 A Ukraine, МКВ С22В21/06, С22В9/10. *Flius dlia obrobky aliuminiievykh splaviv* [Aluminum alloys treatment flux]/ I.P. Volchok, O.A. Mityayev, S.G. Riazanov (Ukraine); zayavnyk i patentotrymuvach Zaporizkyi Natsionalnyi Technichnyi Universytet. – № 2002108362; zayavl. 22.10.2002; opubl. 15.08.2003, Byul. № 6. – 4s.

<http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=vie wdetails&IdClaim=55626>

9. Пат. 31862 Україна, МПК (2006) С22В21/00, С22В9/00. Флюс для оброблення алюмінієвих сплавів / Волчок І.П., Мітяєв О.А., Лютова О.В., Широкобокова Н.В., Повзло В.М.; заявник та патентотримувач Запорізький нац. техн. ун-т – № 200713840; заявл. 10.12.2007; опубл. 25.04.2008, Бюл. № 8. – 4с.

Pat. 31862 Ukraine, МПК (2006) С22В21/00, С22В9/00. *Flius dlia obrobky aliuminiievykh splaviv* [Aluminum alloys treatment flux] / I.P. Volchok, O.A. Mityayev, Lyutova O.V., Shyrokobokova N.V., Povzlo V.M.; zayavnyk i patentotrymuvach Zaporizkyi Natsionalnyi Technichnyi Universytet. – № 200713840; zayavl. 10.12.2007; opubl. 25.04.2008, Byul. № 8. – 4s.

<http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=vie wdetails&IdClaim=119592&chapter=biblio>

10. Пат. 32929 Україна, МПК (2006) С22С1/00. Модифікатор для алюмінієвих сплавів / Волчок І.П., Мітяєв О.А., Лютова О.В., Широкобокова Н.В., Повзло В.М.; заявник та патентотримувач Запорізький нац. техн. ун-т – № 200800105; заявл. 02.01.2008; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11. – 4с.

Pat. 32929 Ukraine, МПК (2006) С22С1/00. *Modyfikator dlia aliuminiievykh* [Aluminum alloys modifier] / I.P. Volchok, O.A. Mityayev, Lyutova O.V., Shyrokobokova N.V., Povzlo V.M.; zayavnyk i patentotrymuvach Zaporizkyi Natsionalnyi Technichnyi

Universytet. – 200800105; zayavl. 02.01.2008; opubl. 10.06.2008, Byul. № 11. – 4s.

<http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=120392>

11. Belikov S. The nanomodifier of aluminium alloys / S. Belikov, I. Volchok, A. Mityayev // Aims for Future of Engineering Science: Proceedings the International Scientific Forum. Pavas, 4-10 July 2006. – Davos Congress Centre, Switzerland, 2006. – P. 191-193.

Belikov S., Volchok I., Mityayev A. The nanomodifier of aluminium alloys. Aims for Future of Engineering Science: Proceedings the International Scientific Forum. Pavas (4.07-10.07.2006). Davos Congress Centre, Switzerland, 2006, pp. 191-193.

12. Mityayev A. The role of intermetallic phases in fracture of aluminium alloys / A. Mityayev, S. Belikov, K. Loza // Problems of modern techniques in engineering and education 2009. – Cracow, 2009. – P. 59-66.

Mityayev A., Belikov S., Loza K. The role of intermetallic phases in fracture of aluminium alloys. Problems of modern techniques in engineering and education 2009, Cracow, 2009, pp. 59-66.

13. Riazanov S.G. Povysheniie kachestva aliuminievykh splavov / S.G. Riazanov, A.A. Mityaev, I.P. Volchok // «Nauka i Technologii»: V konferentsiia naukovo-techniczna Odlewnictwa Metali Niezelazhnych Lucien, 6-8 czerwca 2002 r. – Lucien, Poland. – 2002. – P. 16- 20.

Riazanov S.G., Mityaev A.A., Volchok I.P. Povysheniie kachestva aliuminievykh splavov [Increasing of aluminium alloys properties]. // «Nauka i Technologii»: V konferentsiia naukovo-techniczna Odlewnictwa Metali Niezelazhnych Lucien, (6-8 czerwca 2002 r.) [«Science and Technology» V Science and Technical Conference of Foundry of Non-ferrous Metals]. Lucien, Poland, 2002, pp. 16- 20.

Статья рекомендована к публикации д-ром. техн. наук, доц. В.А. Шаломеевым (Украина); д-ром. техн. наук, доц. А.В. Овчинниковым (Украина)

Поступила в редколлегию 23.05. 2015.

Принята к печати 23.05.2015.