

<sup>1</sup>К. Туысхан\*, <sup>1</sup>Г.Е. Ахметова, <sup>2</sup>Г.А. Ульева, <sup>3</sup>Д.С. Сапаров, <sup>1</sup>К.С. Толубаев

<sup>1</sup> Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

<sup>2</sup>АО АрселорМиттал Темиртау, Темиртау, Казахстан

<sup>3</sup>Томский политехнический университет, Томск, Россия

\*e-mail: kura\_tuyskhan@mail.ru

## АПРОБАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРОВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

**Аннотация.** Приведены результаты исследования влияния модифицирующих добавок из производственных отходов порошков микрокремнезёма и корунда ( $Al_2O_3$ ) на структуру и фазовый состав алюминиевого сплава АД31. В условиях Карагандинского индустриального университета проведена плавка алюминиевого сплава АД31 с добавлением в качестве модификаторов по 1% отходов порошка кремниевого производства «Силициум Казахстан» (ныне «Tau-Ken Temir») (микрокремнезема марки МК-85) и порошка корунда (абразивного отхода от отрезных дисков). Выявлено положительное влияние модифицирующих добавок из производственных отходов на структуру и свойства сплава – измельчается зерно, изменяется фазовый состав и улучшаются свойства модифицированных алюминиевых сплавов. Для исследования образцов полученных модифицированных сплавов авторы использовали метод электронной микроскопии, как наиболее простой и быстрый способ передачи информации о микроструктуре, элементном составе и распределении элементов в объеме образца. Проведенные исследования актуальны с точки зрения утилизации отходов металлургических производств, расширения сырьевой базы, а также получения новых материалов с требуемым комплексом функциональных свойств.

**Ключевые слова:** алюминий, сплав, модификатор, микрокремнезём, корунд, структура, состав.

**Введение.** В последнее десятилетие наблюдается рост объема образования отходов производства и потребления, включая такую категорию как опасные отходы. По разным сведениям, объемы отходов увеличиваются от 3 до 7 млрд. тонн ежегодно [1].

Важной стороной вопроса является негативное влияние промышленных отходов на экологические факторы. Атмосфера катастрофически быстро загрязняется разнообразными выбросами промышленных предприятий. В нее выбрасываются газообразные и твердые продукты, образующиеся при сжигании топлива, протекании тех или иных технологических процессов [2].

В работе [3] рассматривается история применения микрокремнезема (микросилики). На территории постсоветского пространства применение микро- и наносилики не получило широкого распространения, в то время как за рубежом технология утилизации микрокремнезёма успешно применяется уже более 45 лет.

Важной проблемой является тот факт, что при переработке кремния значительное его количество переходит в брак или трудно утилизируемые отходы. Это также требует рассмотрения и научно-технологической проработки. Например, объемы выпуска и переработки высококонцентрированных кремнийсодержащих отходов достаточно высокой степени чистоты, образующихся при производстве солнечных модулей, таковы, что закономерным становится вопрос об их утилизации [4].

Ученые и практики многих стран занимаются вопросами разработки методов утилизации отходов, в том числе и отходов кремниевого производства. Авторы данной статьи в рамках проведенных исследований попытались опробовать отход кремниевого производства – микросилику в качестве модифицирующей добавки для алюминиевых сплавов, взамен дорогостоящих элементов.

Изделия из алюминиевых сплавов на основе систем  $Al_2O_3$  нашли широкое применение в современной авиа- и аэрокосмической технике благодаря хорошему сочетанию механических, коррозионных и конструкционных свойств. В связи с этим, стабильное получение заготовок и изделий из этих сплавов с требуемым нормативной документацией комплексом свойств является одной из актуальных задач. В настоящее время для измельчения зерна в слитках алюминиевых сплавов применяют, в основном, прутковые модифицирующие лигатуры на основе систем  $Al_2O_3$  зарубежного производства. Однако, как показывает практика, не всегда удается получить мелкозернистую и однородную структуру по всему объему заготовки при использовании лигатур. Причины кроются как в качестве самих лигатур, так и в технологии введения их в расплав. Сложившаяся ситуация свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования процесса модифицирования алюминиевых сплавов [5]. Одним из способов упрочнения алюминиевой матрицы является внесение методом механического легирования готовых частиц упрочняющей фазы, что, по сути, является процессом модифицирования.

В настоящее время необходимость применения процедуры модифицирования обусловлено рядом задач, которые оно решает: измельчение макро- и микрзерна (дендритных ячеек), фазовых составляющих эвтектик, перитектик, в том числе хрупких и легкоплавких фаз (с изменением их состава путем введения присадок, образующих с этими фазами химические соединения), первичных кристаллов, выпадающих при кристаллизации в сплавах, формы и изменение размера и распределения неметаллических включений.

Одновременное решение всех этих задач зачастую оказывается невозможным [6]. Так, измельчение макроструктуры часто сопровождается огрублением микрзерен, что приводит к изменению и получению в итоге иного комплекса механических свойств.

Традиционным способом управления механическими свойствами сплавов является регулирование их химического состава. По этой причине в настоящее время большое значение приобрела задача сокращения объемов потребления и рационального использования дорогих и дефицитных легирующих и модифицирующих элементов в черных и цветных сплавах без снижения их уровня технологических и функциональных механических свойств.

При добыче, получении и в процессе обработки отдельных химических элементов, материалов и продуктов, остается огромное множество некондиционных промышленных отходов, которые складываются, образуя горы отвалов, неблагоприятно влияющих на экологическую обстановку страны.

Известно, что производство кремния относится к числу экологоемких отраслей: технологические процессы связаны с выбросами в атмосферу газов, пыли, которая продолжает складываться на шламохранилищах, нанося при этом урон окружающей среде. С целью минимизации экологических рисков, снижения экологической нагрузки близлежащего региона были проведены исследования влияния модифицирующих добавок на свойства алюминиевого сплава [7].

Наиболее эффективным путем решения этой проблемы является апробация применения и исследование влияния подобных «не годных» производственных отходов в качестве легирующих и модифицирующих элементов или добавок на механические и технологические свойства получаемой продукции [8]. В связи с чем, ученые многих стран разрабатывают научно-промышленные решения техногенного характера, новизна которых заключается в передовом использовании промышленных отходов различной природы с помощью современных технологий и оборудования. Путем легирования, микролегирования и модифицирования металлов и сплавов отходами промышленного производства создаются не только металлические сплавы, но и новые материалы специального назначения.

**Описание проводимого исследования.** Авторами работы была сделана попытка выявления влияния отходов кремниевого производства микрокремнезёма (микросиликатной пыли) и мелкодисперсного порошка корунда  $Al_2O_3$  (наждачных отходов отрезных дисков) на структуру и свойства алюминиевого сплава АД-31 при его модифицировании.

Алюминиевые сплавы достаточно широко используются в промышленности [9–13]. Выше указанный алюминиевый сплав был выбран в качестве объекта исследования, так как основной компонент сплава алюминий – характеризуется большой распространенностью и по объемам производства занимает второе место после железа, используемого для производства чугуна и стали, и, соответственно, имеет невысокую стоимость. Также, алюминий и его сплавы характеризуется малым удельным весом, высокой тепло- и электропроводностью, которая составляет до 60% электропроводности меди [14]. Механические свойства чистого алюминия не высоки – он очень пластичен, его легко прокатывать, штамповать и прессовать. Однако, сами алюминиевые сплавы упрочняются путем термического воздействия и деформированием. Также отличительной особенностью алюминиевых сплавов является их высокая коррозионная стойкость. Все перечисленные факторы позволяют широко использовать алюминиевые сплавы в машиностроении (для сплавов подшипников, в качестве полупроводниковых материалов, применяемых в производстве атомной энергии и т.п.) [15-18].

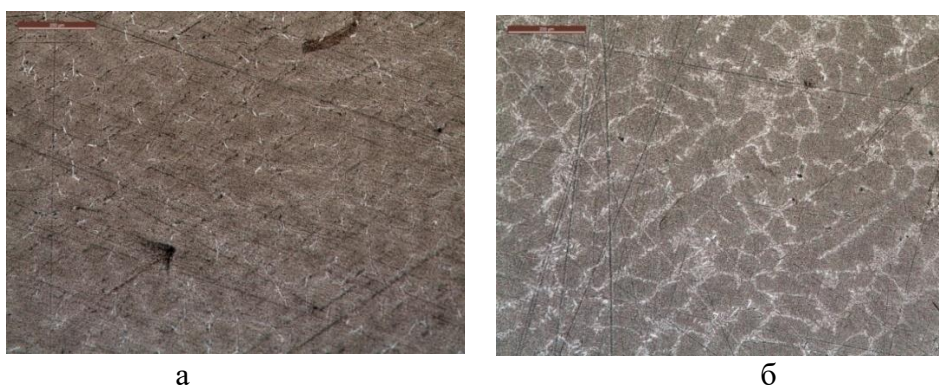
В условиях Карагандинского индустриального университета была проведена плавка алюминиевого сплава АД31 (рисунок 1) в камерной электрической печи сопротивления в корундовых тиглях (при температуре ~900°C) с добавлением 1% порошка:

- 1) корунда ( $Al_2O_3$ );
- 2) отхода кремниевого производства (микрокремнезема).



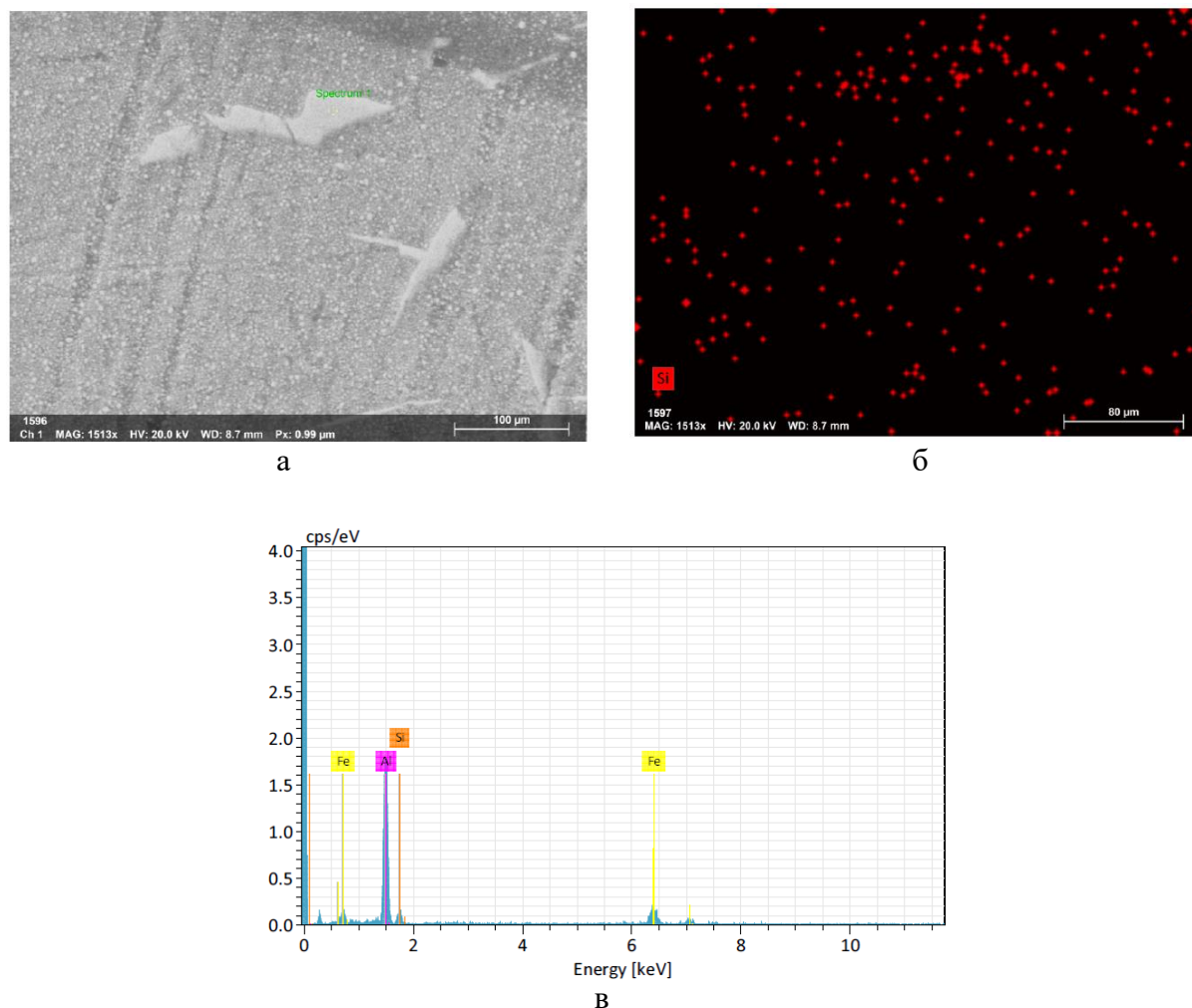
**Рисунок 1.** Микроструктура исходного алюминиевого сплава АД31, x100

**Результаты исследования.** Полученные в результате плавки образцы модифицированных алюминиевого сплава были подвергнуты пробоподготовке: шлифовке, полировке и травлению в реактиве для выявления структуры алюминиевых сплавов. Далее образцы были исследованы на оптическом микроскопе фирмы Leica (рисунок 2) и сканирующем электронном микроскопе (с э.д.с. анализатором) фирмы Zeiss (рисунок 3).



**Рисунок 2.** Изображение микроструктуры алюминиевого сплава АД31, модифицированного 1% (x100): а – микрокремнезёма; б – корунда  $Al_2O_3$

Используемый для модифицирования первого образца алюминиевого сплава АД31 отход кремниевого производства «Силициум Казахстан», как показали результаты энергодисперсионного анализа, состоял из диоксида кремния, который, в свою очередь содержал незначительное количество примесей, и, в целом, представлял собой микрокремнезем марки МК-85. Модифицирующей добавкой второго образца алюминиевого сплава АД31 являлся отход отрезных дисков – корундовый порошок  $Al_2O_3$ .



**Рисунок 3.** Образец алюминиевого сплава АД31, модифицированного микрокремнеземом: а – изображение микроструктуры, x1513; б – распределение Si на исследуемой поверхности, x1513; в – энергодисперсионный анализ сплава

Как видно из фото микроструктур исходного образца алюминиевого сплава АД31 (рисунок 1) и образцов модифицированного алюминиевого сплава (рисунок 2) в результате модифицирования микроструктуры обоих образцов измельчаются (визуально) в 4-6 раз.

В результате модифицирования алюминиевого сплава микрокремнеземом незначительно изменяется состав сплава – появляются примеси Fe и Si (таблица 1).

**Таблица 1. Состав образца алюминиевого сплава в точке (Spectrum) 1**

Элемент	Al	Si	Fe	Всего
Масс. %	62,44±2,14	9,59±0,42	27,97±0,73	100,00
Атом. %	73,31±3,42	10,82±4,37	15,87±2,59	100,00

На рисунке 4 приведено фото основы нового модифицированного сплава, спектр и числовые значения элементов. Как показывает фотография микроструктуры, алюминий имеет мелкодисперсные зерна округлой формы, причем размеры изменяются в небольших пределах значений линейных параметров.

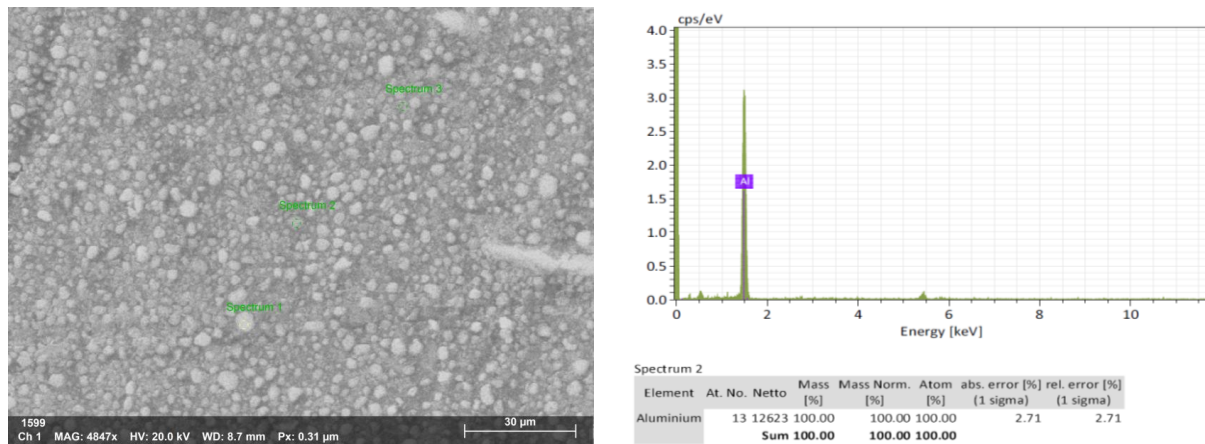
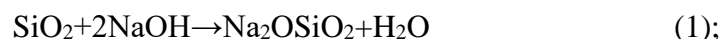


Рисунок 4. Микроструктура основы нового сплава, x4847 (спектры 1-3)

Как показал анализ алюминиевого сплава АД31, модифицированного микрокремнезёмом:

- 1) примеси железа в алюминиевом сплаве образуют соединения  $FeAl_3$  (темно-фиолетовые выделения на фото микроструктур);
- 2) светлые структурные составляющие, имеющие характерный вид ломаных (трапецевидных) кривых линий (рисунок 3, а) – в присутствии кремния и железа образуются тройные фазы  $\alpha$  (Al-Fe-Si) и  $\beta$  (Al-Fe-Si);
- 3) кремний в небольшом количестве образует с алюминием твердый раствор (рисунок 3, б), при этом, как показывают литературные источники, он растворяется в твердом алюминии лишь в ограниченно малом количестве [19];
- 4) при достаточном содержании примесей появляется скелетообразная эвтектика Al+ $\alpha$  (Al-Fe-Si); на поверхности модифицированного сплава образуется защитная пленка, содержащая в своем составе  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$ , и отличающаяся относительно хорошей стойкостью во многих агрессивных средах, особенно в окислительных. Как указывают авторы работы [20], окисную пленку указанного состава в силах разрушить только щелочи (1) и плавиковая кислота (2):



Алюминиевый сплав АД31, модифицированный корундовым порошком  $Al_2O_3$  (рисунок 2, б), также изменил фазовый состав и структуру:

- 1) из-за введенных примесей  $Al_2O_3$  образуется большое количество скелетообразной эвтектики Al+ $\alpha$ ;
- 2) в незначительном количестве (в силу присутствия примесей в составе исходного сплава АД31) образуются фазы  $\alpha$  и  $\beta$  - светлые структурные составляющие, имеющие характерный вид ломаных (трапецевидных) кривых линий.

**Заключение.** Таким образом, в результате модифицирования производственными отходами микрокремнезёма и корунда  $Al_2O_3$  алюминиевые сплавы изменяют свою структуру и фазовый состав. Микроструктура измельчается, следовательно, согласно закону Холла-

Петча, улучшаются механические свойства (повышаются прочностные свойства), которые можно и дальше регулировать, применяя различные режимы термической обработки [21, 22].

При этом использование микрокремнезёма как модифицирующей добавки к металлическим сплавам приводит к созданию новых материалов со специальными свойствами и улучшенными эксплуатационными характеристиками и удовлетворяющих потребности наукоемких отраслей промышленности в современных материалах.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Совершенствование законодательства с целью повышения эффективности переработки и использования отходов производства и потребления [Электронный ресурс]. URL: <http://council.gov.ru/activity/activities/roundtables/29479/>

[2] Проблема промышленных отходов [Электронный ресурс]. URL: <https://msd.com.ua/tehnologiya-teploizolyacii/problema-promyshlennykh-otkhodov/>

[3] Мункхтувшин Д., Балабанов В.Б., Пуденко К.Н. Опыт применения добавок микро- и наносилики из отходов кремниевого производства в бетонных технологиях // Известия вузов. Технические науки. Строительство, Том 7, №3, 2017. – с. 107-114.

[4] Баранов К.В. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук по теме «Технология переработки отходов производств, использующих высокочистый кремний». – М.: ФГУП «ИРЕА», 2008. – 23 с.

[5] Рожин А.В. Совершенствование процессов легирования и модифицирования алюминиевых сплавов на основе систем Al-Cu-Mg и Al-Zn-Mg-Cu // диссертация кандидата технических наук. - Екатеринбург, 2013. - 119 с.

[6] Задиранов А.Н., Кац А.М. Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов. - Учебное пособие – М.: МГИУ, 2008. – 194 с.

[7] Оспан Е.Е., Ульева Г.А., Ахметова Г.Е., Толубаев К.С. Мыстың құрылымы мен қасиеттеріне модификациялаушы қоспалардың әсерін зерттеу // Труды Сатпаевских чтений «Сатпаевские чтения – 2020», Том I / КазНИТУ имени Сатпаева. – Алматы, 2020. - С. 663-667.

[8] Золоторевский В.С., Белов Н.А. Металловедение литейных алюминиевых сплавов. – М.: МИСиС, 2005. – 376 с.

[9] Богданова Т.А., Долженко Н.Н., Гильманшина Т.Р. и др. Перспективный метод быстрого контроля алюминиевых сплавов // *Металлургия машиностроения*. - 2014. - № 2. - С. 12–14.

[10] Bazhin V.Yu., Sizyakov V.M., Vlasov A.A. Surface defects in foil direct chill strip from highly-alloyed aluminum alloys // *Metallurgist*. – 2013. – vol. 6. - No. 11–12. – pp. 863-866.

[11] Uskov I.V., Belyaev S.V., Uskov D.I., et al. Next-generation technologies of manufacturing of waveguides from aluminum alloys // *ARNP J. of Engineering and Applied Sciences*. – 2016. - vol. 11. - No. 21, - pp. 12367–12370.

[12] Nikitin K.V., Nikitin V.I., Krivopalov D.S. et al. Influence of modifiers on the change of mechanical properties of silumins // *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. – 2017. – vol. 58 – No. 4, - pp. 378-382.

[13] Mamina L.I., Gil'manshina T.R., Anikina V.I. et al. Influence of the activation time on parameters of a graphite structure // *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. – 2016. – vol. 57 – No. 1, - pp. 52-56.

[14] Болховитинов Н.Ф. Металловедение и термическая обработка. - М.: Машиностроение, 1965. – 503 с.

[15] Dwivedi D.K., Sharma R., Kumar A. Influence of silicon content and heat treatment parameters on mechanical properties of cast Al-Si-Mg alloys // *International Journal of Cast Metals Research*. – 2006. – No. 19. – pp. 275 —282.

[16] Bandil K., Vashisth H., Kumar S., Verma L., Jamwal A., Kumar D., Singh N., Sadasivuni K.K., Gupta P. Microstructural, mechanical and corrosion behaviour of Al-Si alloy reinforced with SiC metal // *Journal of Composite Materials*. – 2019. - No. 1. - pp. 9.

[17] Sawe B.E. *The Most Abundant Elements In the Earth's Crust* // *World Atlas*, 2018.

[18] Hou J.P., Wang Q., Zhang Z.J., Tian Y.Z., Wu X.M., Yang H.J., Li X.W., Zhang Z.F. Nano-scale precipitates: The key to high strength and high conductivity in Al alloy wire // *Materials & Design*. – 2017. - No. 132. pp. 148-157.

[19] Mondolfo L.F. *Aluminum Alloys: Structure and Properties*. London-Boston: Butter worths, 2018. – pp. 600.

- [20] Малахов А.И., Жуков А.П. Основы металловедения и теории коррозии. - М.: Высшая школа, 1978. – 186 с.
- [21] Гуреева М.А. Особенности модифицирования алюминиевых сплавов системы Al–Mg–Si. // Конструирование, расчеты, материалы. – 2015. - № 5 (313). – с. 46.
- [22] Троцан А.И., Каверинский В.В., Бродецкий И.Л., Воронич В.А. Модифицирование алюминиевого сплава дисперсным порошком  $Al_2O_3$  // Висник приазовского державного техничного университет. – 2013. – с.116.

#### REFERENCES

- [1] Sovershenstvovanie zakonodatel'stva s cel'ju povysheniya jeffektivnosti pererabotki i ispol'zovaniya othodov proizvodstva i potrebleniya [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://council.gov.ru/activity/activities/roundtables/29479/>
- [1] Problema promyshlennyh othodov [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://msd.com.ua/tehnologiya-teploizolyacii/problema-promyshlennyx-otxodov/>
- [3] Munkhtuvshin D., Balabanov V.B., Pucenko K.N. Opyt primeneniya dobavok mikro- i nanosiliki iz othodov kremnievogo proizvodstva v betonnyh tehnologijah // Izvestija vuzov. Tehnicheskie nauki. Stroitel'stvo, Tom 7, №3, 2017. – p. 107-114.
- [4] Baranov K.V. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata himicheskikh nauk po teme «Tehnologija pererabotki othodov proizvodstv, ispol'zujushhih vysokochistyj kremnij». – М.: FGUP «IREA», 2008. – 23 p.
- [5] Rozhin A.V. Sovershenstvovanie processov legirovaniya i modifitsirovaniya aljuminievyh splavov na osnove sistem Al-Cu-Mg i Al-Zn-Mg-Cu // dissertacija kandidata tehniceskikh nauk. - Ekaterinburg, 2013. - 119 p.
- [6] Zadiranov A.N., Kac A.M. Teoreticheskie osnovy kristallizacii metallov i splavov. - Uchebnoe posobie – М.: MGIU, 2008. – 194 p.
- [7] Ospan E.E., Ulyeva G.A., Ahmetova G.E., Tolubaev K.S. Mustyn kurylymy men kasietterine modifikacijalaushy kospalardyn aserin zertteu // Trudy Satpaevskih chtenij «Satpaevskie chteniya – 2020», Tom I / KazNITU imeni Satpaeva. – Almaty, 2020. - P. 663-667.
- [8] Zolotorevskii V.S., Belov N.A. Metallovedenie liteinykh alyuminievykh splavov. – М.: MISiS, 2005. – 376 p.
- [9] Bogdanova T.A., Dolzhenko N.N., Gil'manshina T.R. and etc. Perspektivnyi metod bystrogo kontrolya alyuminievykh splavov // Metallurgiya mashinostroeniya. - 2014. - № 2. - pp. 12–14.
- [10] Bazhin V.Yu., Sizyakov V.M., Vlasov A.A. Surface defects in foil direct chill strip from highly-alloyed aluminum alloys // Metallurgist. – 2013. – vol. 6. - No. 11–12. – pp. 863-866.
- [11] Uskov I.V., Belyaev S.V., Uskov D.I., et al. Next-generation technologies of manufacturing of waveguides from aluminum alloys // ARPN J. of Engineering and Applied Sciences. – 2016. - vol. 11. - No. 21, - pp. 12367–12370.
- [12] Nikitin K.V., Nikitin V.I., Krivopalov D.S. et al. Influence of modifiers on the change of mechanical properties of silumins // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2017. – vol. 58 – No. 4, - pp. 378-382.
- [13] Mamina L.I., Gil'manshina T.R., Anikina V.I. et al. Influence of the activation time on parameters of a graphite structure // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2016. – vol. 57 – No. 1, - pp. 52-56.
- [14] Bolkhovitinov N.F. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka. - М.: Mashinostroenie, 1965. – 503 p.
- [15] Dwivedi D.K., Sharma R., Kumar A. Influence of silicon content and heat treatment parameters on mechanical properties of cast Al–Si–Mg alloys // *International Journal of Cast Metals Research*. – 2006. – No. 19. – pp. 275 —282.
- [16] Bandil K., Vashisth H., Kumar S., Verma L., Jamwal A., Kumar D., Singh N., Sadasivuni K.K., Gupta P. Microstructural, mechanical and corrosion behaviour of Al–Si alloy reinforced with SiC metal // *Journal of Composite Materials*. – 2019. - No. 1. - pp. 9.
- [17] Sawe B.E. *The Most Abundant Elements In the Earth's Crust* // World Atlas, 2018.
- [18] Hou J.P., Wang Q., Zhang Z.J., Tian Y.Z., Wu X.M., Yang H.J., Li X.W., Zhang Z.F. Nano-scale precipitates: The key to high strength and high conductivity in Al alloy wire // *Materials & Design*. – 2017. - No. 132. pp. 148-157.
- [19] Mondolfo L.F. *Aluminum Alloys: Structure and Properties*. London-Boston: Butter worths, 2018. – pp. 600.

[20] Malakhov A.I., Zhukov A.P. Osnovy metallovedeniya i teorii korrozii. - M.: Vysshaya shkola, 1978. – 186 p.

[21] Gureeva M.A. Osobennosti modifitsirovaniya alyuminievykh splavov sistemy Al–Mg–Si. // Konstruirovaniye, raschety, materialy. – 2015. - № 5 (313). – p. 46.

[22] Trotsan A.I., Kaverinskii V.V., Brodetskii I.L., Voronich V.A. Modifitsirovaniye alyuminieвого сплава dispersnym poroshkom  $Al_2O_3$  // Visnik priazovskogo derzhavnogo tekhnichnogo universitet. – 2013. – p.116.

**<sup>1</sup>К. Туысхан\*, <sup>1</sup>Г.Е. Ахметова, <sup>2</sup>Г.А. Ульева, <sup>3</sup>Д.С. Сапаров, <sup>1</sup>К.С. Толубаев**

<sup>1</sup> Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

<sup>2</sup> АрселорМиттал Теміртау АҚ, Теміртау, Қазақстан

<sup>3</sup> Томск политехникалық университеті, Томск, Ресей

\*e-mail: kura\_tuyskhan@mail.ru

## ӨНДІРІСТІК ҚАЛДЫҚТАРДЫ АЛЮМИНИЙ ҚОРЫТПАЛАРЫНЫҢ МОДИФИКАТОРЛАРЫ РЕТІНДЕ ҚОЛДАНУДЫ АПРОБАЦИЯЛАУ

**Андатпа.** Микрокремнезем және корунд ұнтағының ( $Al_2O_3$ ) өндірістік қалдықтарынан модификациялаушы қоспалардың АД31 алюминий қорытпасының құрылымы мен фазалық құрамына әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Қарағанды индустриялық университеті жағдайында «Силициум Қазақстан» (қазіргі «Тәу-Кен Темір») кремний өндірісінің (МК-85 маркалы микрокремнезем) және корунд ұнтағының (кесу дискілерінен абразивтік қалдықтар) 1% қалдықтарын модификаторлар ретінде қосу арқылы АД31 алюминий қорытпасын балқыту жүргізілді. Өндірістік қалдықтардан модификациялаушы қоспалардың қорытпаның құрылымы мен қасиеттеріне оң әсері анықталды – түйіршіктер ұсақталады, фазалық құрамы өзгереді және модификацияланған алюминий қорытпаларының қасиеттері жақсарады. Модификацияланған қорытпалардың үлгілерін зерттеу үшін авторлар электронды микроскопия әдісін микроқұрылым, элемент құрамы және үлгі көлемінде элементтердің таралуы туралы ақпаратты берудің ең қарапайым және жылдам әдісі ретінде қолданды. Жүргізілген зерттеулер металлургия өндірісінің қалдықтарын кәдеге жарату, шикізат базасын кеңейту, сондай-ақ қажетті функционалды қасиеттері бар жаңа материалдар алу тұрғысынан өзекті.

**Негізгі сөздер:** алюминий, қорытпа, модификатор, микрокремнезем, корунд, құрылымы, құрамы.

**<sup>1</sup>K. Tuyskhan\*, <sup>1</sup>G.E. Akhmetova, <sup>2</sup>G.A. Ulyeva, <sup>3</sup>D.S. Saparov, <sup>1</sup>K.S. Tolubaev**

<sup>1</sup> Karaganda industrial university, Temirtau, Kazakhstan

<sup>2</sup> ArcelorMittal Temirtau JSC, Temirtau, Kazakhstan

<sup>3</sup> Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

\*e-mail: kura\_tuyskhan@mail.ru

## APPROVAL OF PRODUCTION WASTE APPLICATION AS MODIFIERS OF ALUMINUM ALLOYS

**Abstract.** The results of a study of the effect of modifying additives from production waste of microsilica and corundum ( $Al_2O_3$ ) powders on the structure and phase composition of the AD31 aluminum alloy are presented. In the conditions of the Karaganda Industrial University, melting of the AD31 aluminum alloy was carried out with the addition of 1% of waste powder of silicon production «Silicium Kazakhstan» (now «Tau-Ken Temir») (microsilica grade МК-85) and corundum powder (abrasive waste from cutting discs) as modifiers. The positive effect of modifying additives from industrial waste on the structure and properties of the alloy is revealed - the grain is refined, the phase composition changes, and the properties of modified aluminum alloys improve. To study the samples of the obtained modified alloys, the authors used the method of electron microscopy, as the simplest and fastest way to transfer information about the microstructure, elemental composition and distribution of elements in the sample volume. The conducted studies are relevant from the point of view of recycling waste from metallurgical industries, expanding the raw material base, as well as obtaining new materials with the required complex of functional properties.

**Keywords:** aluminum, alloy, modifier, microsilica, corundum, structure, composition.