

УДК 669.017

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.230419.44.292

## ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННОГО СПЛАВА АЛЬРЕЗИСТ НА ОСНОВЕ ПЕРВИЧНОГО ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО СИЛУМИНА

РОМАНОВА Н. С.<sup>1\*</sup>, к. т. н., доц.,  
КОКАШИНСКАЯ Г. В.<sup>2</sup>, ст. преп.,  
КИМСТАЧ Т. В.<sup>3</sup>, ст. преп.

<sup>1\*</sup> Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (097) 523-52-58, e-mail: [rnsrns@i.ua](mailto:rnsrns@i.ua), ORCID ID: 0000-0002-3211-8009

<sup>2</sup> Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (067) 298-42-10, e-mail: [kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua](mailto:kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-7822-7657

<sup>3</sup> Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, Днепро, Украина, тел. + 38(097) 567-85-61, e-mail: [1375tatyana@gmail.com](mailto:1375tatyana@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-8993-201X

**Аннотация.** *Цель работы* – исследовать влияние параметров технологии производства нового гранулированного сплава альрезист на технологические показатели процесса гранулирования. Сплав альрезист является высококремнистым легированным силумином, обладает высокими показателями износостойкости и низким коэффициентом линейного расширения. По этим показателям сплав не уступает высоколегированным серым чугунам, обладая при этом высокой удельной прочностью. **Методы исследования:** полупромышленные экспериментальные исследования технологических параметров производства гранул, металлографические, рентгенографические и аналитические исследования. **Результаты работы** – проведена обработка электрическим током расплава плотностью 3,5...4,5 А/м<sup>2</sup>. Получены данные по влиянию тока на микроструктуру гранул, параметры кристаллической решетки алюминия и на фракционный состав гранулированного сплава. **Научная новизна** связана с исследованием нового сплава, получаемого в условиях скоростей кристаллизации 10<sup>3</sup>...10<sup>5</sup> град/с. **Практическое значение** результатов исследований заключается в возможном использовании разработок для производства цельноштампованных поршней тяжелонагруженных дизельных двигателей.

**Ключевые слова:** гранулированный поршневой сплав; износостойкость; обработка расплавов электрическим током; дизельный двигатель

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОТРИМАННЯ ГРАНУЛЬОВАНОГО СПЛАВУ АЛЬРЕЗИСТ НА ОСНОВІ ПЕРВИННОГО ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНОГО СИЛУМІНУ

РОМАНОВА Н. С.<sup>1\*</sup>, к. т. н., доц.,  
КОКАШИНСЬКА Г. В.<sup>2</sup>, ст. виклад.,  
КИМСТАЧ Т. В.<sup>3</sup>, ст. виклад.

<sup>1\*</sup> Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38(097) 523-52-58, e-mail: [rnsrns@i.ua](mailto:rnsrns@i.ua), ORCID ID: 0000-0002-3211-8009

<sup>2</sup> Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38(067) 298-42-10, e-mail: [kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua](mailto:kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-7822-7657

<sup>3</sup> Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38(097) 567-85-61, e-mail: [1375tatyana@gmail.com](mailto:1375tatyana@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-8993-201X

**Анотація.** *Мета роботи* – дослідити вплив параметрів технології виробництва нового гранульованого сплаву альрезист на технологічні показники процесу гранулювання. Сплав альрезист є висококремністим легованим силумін, володіє високими показниками зносостійкості і низьким коефіцієнтом лінійного розширення. За цими показниками сплав не поступається високолегованих сірим чавун, володіючи при цьому високою питомою міцністю. **Методи дослідження:** Напівпромислові експериментальні дослідження технологічних параметрів виробництва гранул, металографічні, рентгенографічні та аналітичні дослідження. **Результати роботи** – проведено обробку електричним струмом розплаву щільністю 3,5...4,5 А/м<sup>2</sup>. Отримано дані за впливом струму на микроструктуру гранул, параметри кристалічної решітки алюмінію і на фракційний склад гранульованого сплаву. **Наукова новизна** пов'язана з дослідженням нового сплаву, одержуваного в умовах швидкостей кристалізації 10<sup>3</sup>...10<sup>5</sup> град/с. **Практичне значення** результатів досліджень полягає в можливому використанні розробок для виробництва цільноштампованих поршнів важконавантажених дизельних двигунів.

*Ключові слова:* гранульований поршневий сплав; зносостійкість; обробка розплавів електричним струмом; дизельний двигун

## RESEARCH AND ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF PREPARING GRANULATED ALLOY ALRESIST ON THE BASIS OF PRIMARY ELECTROTHERMAL SILUMINE

ROMANOVA N.S.<sup>1\*</sup>, *Ph.D., Ass. Prof.*,  
KOKASHINSKAYA G.V.<sup>2</sup>, *Sen. Lecture*,  
KIMSTACH T.V.<sup>3</sup>, *Senior Lecture*

<sup>1\*</sup> National Metallurgical Academy of Ukraine, 4, Gagarina ave., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (097) 523-52-58, e-mail: [rnsrns@i.ua](mailto:rnsrns@i.ua), ORCID ID: 0000-0002-3211-8009

<sup>2</sup> National Metallurgical Academy of Ukraine, 4, Gagarina ave., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (067) 298-42-10, e-mail: [kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua](mailto:kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-7822-7657

<sup>3</sup> National Metallurgical Academy of Ukraine, 4, Gagarina ave., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (097) 567-85-61, e-mail: [1375tatvana@gmail.com](mailto:1375tatvana@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-8993-201X

**Abstract. The work purpose** – to investigate influence of parameters of the production technology of new granulose alloy an alrezist on technological indicators of process of a granulation. Alloy an alrezist is the high-silicon alloyed alloy Al–Si, possesses high rates of wear resistance and a low linear expansion coefficient. On these indexes alloy doesn't concede to the high-alloyed gray cast irons, having at the same time high specific strength. **Research techniques:** semi-industrial pilot studies of process parameters of production of granules, metallographic analysis, radiographic analysis and analytic treatment. **Results of work** – processing is carried out by electric current of a melt with a density of 3.5...4.5 A/m<sup>2</sup>. Data on influence of current on a microstructure of granules, lattice constants of aluminum and on fractional composition of granulose alloy are obtained. **The scientific novelty** is bound to a research of the new alloy received in the conditions of speeds of a crystallization of 10<sup>3</sup>...10<sup>5</sup> grad/s. **The practical value of results** of researches consists in possible use of developments for production the seamless of pistons heavy-duty the diesel engines.

**Keywords:** granular piston alloy; wear resistance; processing of melt by electric current; diesel engine

Новый гранулированный заэвтектический сплав на основе первичного электролитического силумина с содержанием кремния до 40 % (альрезист) предлагается использовать для производства

цельноштампованного поршня дизельных тяжело нагруженных форсированных двигателей. Химический состав поршня представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав первичного электротермического сплава альрезист, масс.% /  
Chemical composition of primary electrothermal Alrezist alloy, mass. %

Si	Fe	Ti	Ni	Cu	Zr	Cr	Al
34...40	1,5...2,0	0,6...0,9	0,3...1,4	0,2...5	0,21...0,25	0,2...0,4	Ост.

Процесс гранулирования позволяет сформировать тонкодисперсную метастабильную структуру, обладающую новым комплексом технологических и эксплуатационных свойств, отличных от аналогичных по составу литейных сплавов. Сплав альрезист обладает низким коэффициентом линейного расширения, высокой износостойкостью (на уровне высоколегированных чугунов) и низким удельным весом.

Процесс гранулирования основан на разбрызгивании расплава через отверстия вращающегося стакана с последующей кристаллизацией капель в водовоздушной завесе, движущейся в направлении их полета. После отливки гранулы в виде пульпы поступают в сгуститель, затем по шнековому транспортеру на сушильную установку. В сушильной камере гранулы поднимаются по вибрирующей спирали, обдуваемой горячим воздухом при температуре

300 °С. В верхней части сушильной установки гранулы через окно выгрузки по трубопроводу поступают в бункер накопитель, где хранятся до следующей операции. Влажность гранул после сушки составляет (2,5–3,5)·10<sup>-3</sup> вес, %. Из бункера накопителя гранулы подаются на установку рассева и магнитной сепарации. Для рассева по фракциям гранулы через нижнее отверстие-дозатор попадают на ряд сит с регламентированными ячейками (от максимального до минимального размера). Отсеянные годные фракции, пройдя магнитный сепаратор, подаются в технологическую капсулу, которая располагается на вибростоле для создания требуемой насыпной плотности гранул в капсуле, а именно 1,5...1,6 г/см<sup>3</sup>.

К основным технологическим параметрам гранулирования относятся температура расплава, скорость вращения стакана распылителя, скорость

охлаждения гранул и плотность тока, которым обрабатывается расплав перед гранулированием.

Нижний предел температуры расплава перед гранулированием лимитируется растворимостью кремния, газонасыщенностью расплава, а также структурно-физическими свойствами расплава, которые определяют его вязкость и параметры после кристаллизации. Структурные параметры и физические свойства расплава альрезист были изучены в работе [1] с помощью методик быстро закристаллизованных микрообъемов и пленок от различных температур и после воздействия на расплав электрического тока. Данные этих исследований послужили исходной информацией для разработки технологических параметров гранулирования. На грануляторе центробежного типа, который позволяет проводить кристаллизацию сплава альрезист со скоростью  $10^3 \dots 10^4$  град/с, были отработаны следующие параметры:

– температура расплава 1 050...1 100 °С;

– скорость вращения стакана гранулятора 2 100...2 900 об/мин;

– обработка расплава трехфазным переменным электрическим током плотностью 3,5...4,7 А/мм<sup>2</sup> непосредственно перед гранулированием.

Ряд технологических свойств и структурных параметров основных фракций гранул приведены в таблице 2. Согласно данным, приведенным в таблице 2, обработка электрическим током при скорости вращения стакана гранулятора 2100 и 2 900 об/мин приводит к повышению параметра кристаллической решетки  $\alpha$ -Al-твердого раствора. Следует отметить, что все легирующие элементы сплава образуют твердые растворы замещения и радиусы их атомов меньше, чем у алюминия, поэтому повышение степени растворимости легирующих элементов в твердом растворе алюминия должно приводить к уменьшению параметра его кристаллической решетки.

Таблица 2

Свойства гранул, полученных при различных режимах гранулирования /  
Properties of the granules received at various modes of a granulation

№ з/п	Параметры литья		Фракция диаметром < 0,4 мм	Содержание Н <sub>2</sub> , см <sup>3</sup> /100г	Параметр кристал. решетки Al, Нм	Относительное изменение параметров кристал. решетки Al, $\Delta d/d \cdot 10^{-2}$
	Скорость вращения гранулятора, об/мин	Плотность тока, А/мм <sup>2</sup>				
1	2 100	–	65	3,7	0,40423	3,8
2	2 900	–	75	4,0	0,40411	4,5
3	2 100	3,5...4,5	70	3,0	0,40441	2,7
4	2 900	3,5...4,5	82	3,8	0,40453	1,7

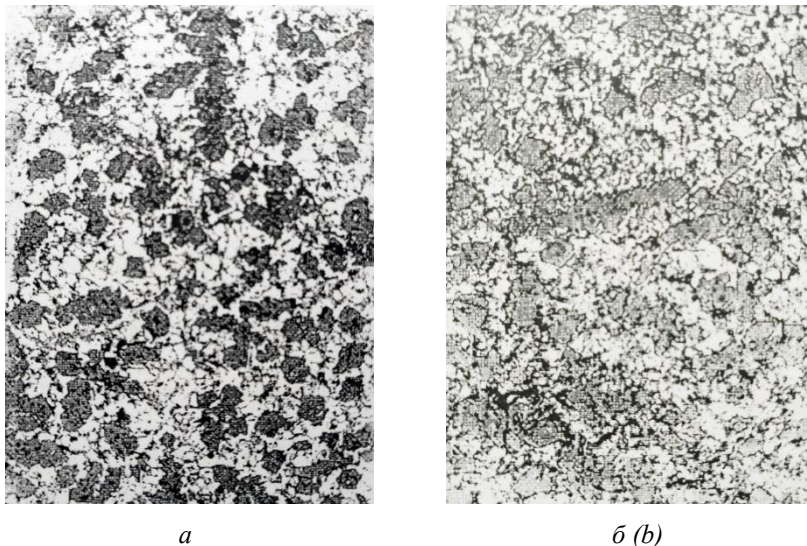
Из приведенных данных следует, что независимо от скорости вращения стакана диспергатора, обработка расплава током перед гранулированием вызывает уменьшение степени растворимости легирующих элементов в кристаллической решетке  $\alpha$ -Al твердого раствора, а также понижение степени ее искаженности. Исследования показали, что на опробованных режимах для сплава альрезист не подтвердились данные приведенные в работах [1; 2]. В этих работах наблюдалось повышение степени растворимости указанных элементов в алюминиевом твердом растворе при обработке электрическим током. Следует отметить, что в этих работах исследования проводились на сплавах АК35Ж2П и АК35Ж2Г, которые были прототипами сплава альрезист. Основное отличие этих сплавов от сплава альрезист заключается в том, что сплав альрезист содержит в своем составе до 5 % меди, в то время, как в прототипах содержание меди не превышает 1,2 %.

Анализ микроструктур показывает, что степень дисперсности фазовых составляющих (эвтектики, и первичного кремния) не изменились после обработки расплава электрическим током (рис. 1). Эти данные

согласуются также с данными для сплава АК35Ж2П [2]. Из таблицы 2 видно, что после обработки расплава электрическим током повысилась доля фракций размером менее 0,4 мм на 10...20 %, а также незначительно понизилось газосодержание. Приведенные данные позволяют предположить, что для сплава альрезист обработка электрическим током приводит к повышению жидкотекучести расплава, что в свою очередь вызывает уменьшение размера гранул основной фракции при центробежном диспергировании расплава. На рисунках 1 и 2 представлен внешний вид гранул основной фракции, а также микроструктура гранул, полученных из расплава, обработанного электрическим током перед гранулированием и без предварительной обработки расплава электрическим током.



*Рис. 1* Общий вид гранул основной фракции,  $\times 16$  /  
*Fig. 1.* General view of granules of the main fraction,  $\times 16$



*Рис. 2.* Микроструктура гранул, полученных *a* – без обработки расплава электрическим током,  $\times 200$   
*b* – с предварительной обработкой расплава электрическим током,  $\times 200$  /  
*Fig. 2.* Microstructure of the granules received *a* – without processing of a melt electric current,  $\times 200$   
*b* – with a pretreatment of a melt electric current,  $\times 200$

Согласно приведенным результатам, наиболее благоприятными технологическими параметрами производства гранул с максимальным выходом годных фракций являются:

– температура расплава перед гранулированием 1 050...1 100 °С;

– скорость вращения стакана-диспергатора 2 900 об/мин

– обработка расплава перед гранулированием электрическим током плотностью 3,5...4,5 А/мм<sup>2</sup>.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Разработка и исследование композиционных материалов на основе алюминия для изготовления износостойких поршневых вставок : отчет о НИР / ДМетИ № ГР 79051326. – 2017. – 76 с.

2. Савельев В. С. Особенности высокоскоростной кристаллизации силуминов, разработка и внедрение нового гранулированного сплава для износостойких деталей двигателей внутреннего сгорания : дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1989. – 27 с.

3. Разработка состава и технологии производства гранулированных сплавов на основе электротермического Al-Si сплава для изготовления армирующих поршневых вставок и износостойких деталей форсированных дизельных двигателей : отчет о НИР / ДМетИ № ГР 790565. – 2017. – 98 с.

## REFERENCES

1. *Razrabotka i issledovanie kompozitsionnykh materialov na osnove alyuminiya dlya izgotovleniya iznosostoykikh porshnevnykh vstavok : otchet o NIR* [Development and research of composite materials based on aluminum for the manufacture of wear-resistant piston inserts : a research report]. DMetI no. GR 79051326, 2017, 76 p. (in Russian).

2. Savel'yev V.S. *Osobennosti vyiskoskorostnoy kristallizatsii siluminov, razrabotka i vnedrenie novogo granulirovannogo splava dlya iznosostoykikh detaley dvigateley vnutrennego sgoraniya* [Features of high-speed crystallization of silumin, development and introduction of a new granular alloy for wear-resistant parts of internal combustion engines]. *Dissert. na soiskanie uchenoy stepeni kand. techn. nauk* [Dissertation on the competition scholarly grade of Cand. Tech. Sciences]. Dnipropetrovsk, 1989, 27 p. (in Russian).

3. *Razrabotka sostava i tehnologii proizvodstva granulirovannykh splavov na osnove elektrotermicheskogo Al-Si splava dlya izgotovleniya armiruyuschiykh porshnevnykh vstavok i iznosostoykikh detaley forsirovannykh dizelnykh dvigateley : otchet NIR* [Development of the composition and production technology of granulated alloys based on the electrothermal Al-Si alloy for the manufacture of reinforcing piston inserts and wear-resistant parts of forced diesel engines : a research report]. DMetI no. GR 790565, 2017, 98 p. (in Russian).

*Статья рекомендована к публикации д-ром техн. наук, проф. Г. Д. Сухомлиным (Украина), д-ром техн. наук, проф. Д. В. Лаухиным (Украина).*

Поступила в редколлегию 14.03.2019

Принята в печать 18.03.2019