

УДК 621.74.043.2

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТИКСОЛИТЬЯ ДЕТАЛИ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

Руслан Сергеевич Лапин

*Студент 5 курса,*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научные руководители: С.Ю. Шевченко,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение», МГТУ им. Н.Э.*

*Баумана,*

*Н.В. Коробова,*

*доктор технических наук, профессор, директор Центра разработки кузнечно-*

*прессового оборудования ГИЦ ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», заведующий кафедрой*

*Металловедения ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН»*

Тиксолитьё – один из способов придания нужной формы твердожидкому металлу. В процессе тиксолитья металлы и сплавы нагреваются до температуры перехода от твердого состояния к жидкому; здесь достигается тиксотропное состояние, при котором уменьшается вязкость материала. В результате металл под незначительным давлением способен принять нужную форму – становятся возможными весьма сложные конфигурации. Метод тиксолитья объединяет в себе преимущества обычного литья (например, малые затраты и большая свобода моделирования) с преимуществами процессаковки (отличные механические характеристики и хорошие возможности для дальнейшей обработки) [1]. Целью данной работы является исследование влияния электромагнитного перемешивания на микроструктуру тиксозаготовок из алюминиевых сплавов АК5М и АК9, а также сравнение тиксолитья с методом литья под давлением.

До сих пор остаются нерешенными многие вопросы, в частности, проблема получения литых заготовок с высокой однородностью глобулярной структуры по сечению. Известны различные методы порционной обработки расплава для обеспечения требуемых параметров структуры тиксозаготовок. В частности, настоящее время наиболее широко применяются различные схемы магнитного перемешивания кристаллизующегося расплава [2].

В первой части работы мы анализировали влияние электромагнитного перемешивания на микроструктуру тиксозаготовок из алюминиевых сплавов. Получение тиксозаготовок проводили на установке экспериментального литья с кристаллизацией под воздействием электромагнитного поля на расплав, созданной в учебно-научной лаборатории полупроводниковой техники и электро-технологий Уральского федерального университета им. Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург). Схема установки приведена на рис. 1.

Экспериментальная установка состоит из индукционной печи 1, кристаллизатора 2, электромагнитного перемешивателя 3. Конструктивно кристаллизатор выполнен в виде цилиндрической водоохлаждаемой изложницы 4, смонтированной через обечайку 5 в корпус 6. Установка работает следующим образом: в тигель 7 индукционной печи 1 загружается силумин в брусках, на греющий индуктор 8 подается ток и происходит расплавление металла. Контроль температуры расплава в

тигле производят с помощью погружной термопары 9, подключенной к аналогово-цифровому преобразователю. После достижения расплавом нужной температуры происходит поворот печи 1 относительно оси  $O$  и заливка через приемочное устройство 10 в изложницу 4 кристаллизатора 2. Охлаждение изложницы осуществляется проточной водой, которая подается через присоединительные штуцеры 12. Отработанная охлаждающая жидкость удаляется через сливной штуцер 13. Во время заливки и кристаллизации расплава на катушки 11 подается ток заданной частоты, создающий электромагнитное поле, вызывающее движение расплава внутри изложницы.

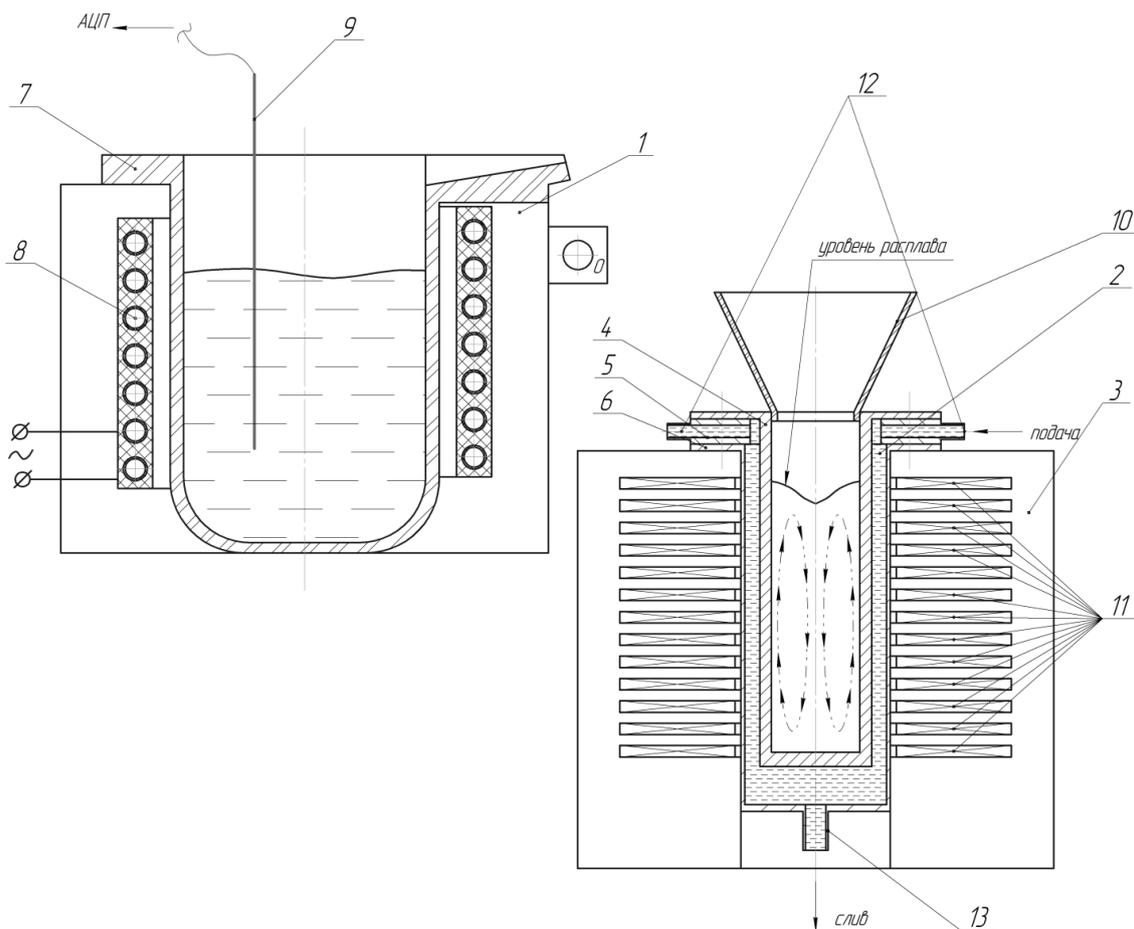


Рис. 1. Схема установки экспериментального литья

В качестве входных параметров (факторов) были выбраны (см. табл. 1):

- разность между температурой заливки в кристаллизатор и температурой ликвидуса ( $\Delta T$ , °C);
- время воздействия электромагнитного поля на кристаллизующийся расплав ( $t$ , с);
- схема включения катушек перемешивателя;
- направление магнитного поля ( $Dir$ );
- частота тока ( $f$ , Гц);
- марка сплава ( $Mat$ ).

Таблица 1. План эксперимента

№	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$t, \text{c}$	Схема	<i>Dir</i>	$f, \text{Гц}$	<i>Mat</i>
2	40	0	однополюсная	вверх	60	AK9
4	30	0	однополюсная	вниз	70	AK5M
5	20	40	однополюсная	вверх	80	AK5M
7	50		однополюсная	вниз	50	AK9
9	20	60	двухполюсная	вниз	70	AK9
11	50	60	двухполюсная	вниз	60	AK5M
14	40	20	двухполюсная	вниз	50	AK5M
16	30	20	двухполюсная	вниз	80	AK9

В процессе исследования микроструктуры заготовок оценивали размер зерна и пор. Фактор формы зерна  $\alpha$ -фазы определяли по формуле  $F = \frac{4\pi S}{P^2}$ , где  $S$  – площадь зерна,  $P$  – периметр. Для оценки фактора формы использовали соотношения:  $F < 0,41$  – дендритная микроструктура;  $0,41 < F < 0,58$  – розеточная микроструктура;  $0,58 < F < 1$  – глобулярная микроструктура.

В таблице 2 приведены микроструктура, размер зерна и фактор формы исследуемых образцов. По сравнению с исходной (чушка, пришедшая с металлургического завода) структурой размер зерна явно уменьшился. Для АК5М зерно уменьшилось примерно в 2,5...3 раза, для АК9 – примерно в 2 раза. Фактор формы увеличился по сравнению с исходным образцом.

Анализ микротвердости образцов показал увеличение твердости, связанное с измельчением зерна. Если твердость сплава АК5М в исходном состоянии составляла  $\sim 79 \text{ HV}_{0,1}$ , то твердость тиксозаготовки  $\sim 95 \text{ HV}_{0,1}$ . Для сплава АК9 соответственно  $\sim 105 \text{ HV}_{0,1}$  до эксперимента и  $\sim 121 \text{ HV}_{0,1}$  после.

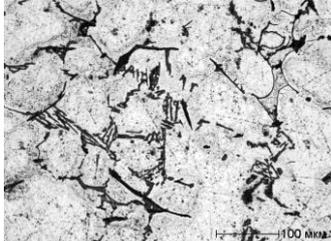
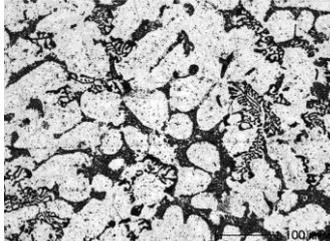
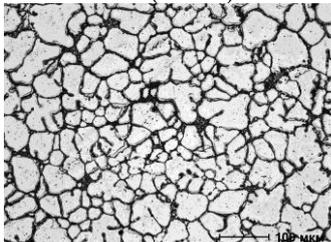
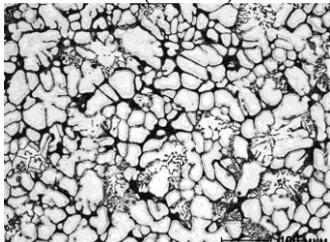
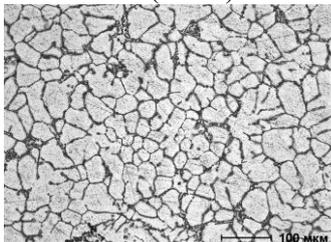
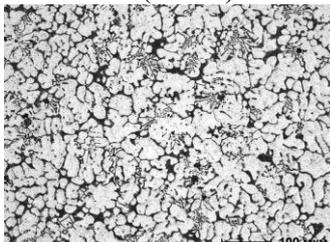
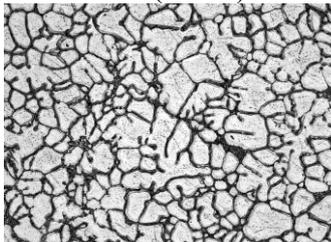
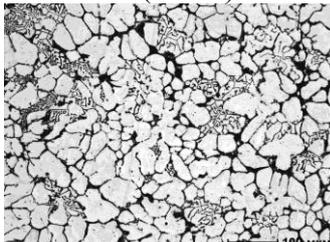
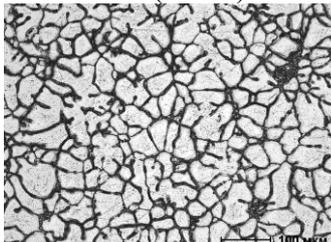
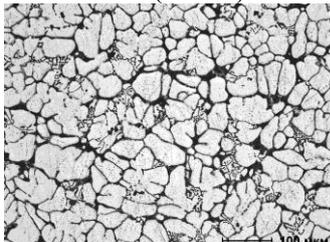
Использование электромагнитного перемешивания при получении тиксозаготовок позволяет существенно измельчить зерно  $\alpha$ -фазы и увеличить степень глобулярности микроструктуры.

Было выявлено, что структура экспериментальных тиксозаготовок более однородна по сечению, сильно уменьшилось количество пор, а также их размеры (рис. 2).

Второй задачей работы являлось сравнение метода тиксолитья с методом литья под давлением. Для решения этой задачи были смоделированы оба процесса литья изделия в программном комплексе ProCAST.

Программный комплекс ProCAST позволяет моделировать процессы любого вида литья в зависимости от различных параметров: температура заливаемого металла, скорость заливки, давление запрессовки, скорость охлаждения, состав заливаемого сплава и другие.

Таблица 2. Сравнение параметров микроструктуры образцов

AK5M	AK9
<p>Исходный (x 200)</p>  <p>Размер зерна: 108,34 мкм Фактор формы: <math>0,31 \pm 0,024</math></p>	<p>Исходный (x 200)</p>  <p>Размер зерна: 80,85 мкм Фактор формы: <math>0,27 \pm 0,033</math></p>
<p>4 Н (x 200)</p>  <p>Размер зерна: 38,69 мкм Фактор формы: <math>0,24 \pm 0,035</math></p>	<p>2Н (x 200)</p>  <p>Размер зерна: 32,19 мкм Фактор формы: <math>0,34 \pm 0,039</math></p>
<p>5 Н (x 200)</p>  <p>Размер зерна: 43,75 мкм Фактор формы: <math>0,27 \pm 0,032</math></p>	<p>7Н (x 200)</p>  <p>Размер зерна: 37,64 мкм Фактор формы: <math>0,26 \pm 0,032</math></p>
<p>11 Н (x 200)</p>  <p>Размер зерна: 31,96 мкм Фактор формы: <math>0,31 \pm 0,032</math></p>	<p>9Н (x 200)</p>  <p>Размер зерна: 44,25 мкм Фактор формы: <math>0,27 \pm 0,037</math></p>
<p>14 Н (x 200)</p>  <p>Размер зерна: 33,55 мкм Фактор формы: <math>0,39 \pm 0,035</math></p>	<p>16 Н (x 200)</p>  <p>Размер зерна: 37,32 мкм Фактор формы: <math>0,28 \pm 0,032</math></p>

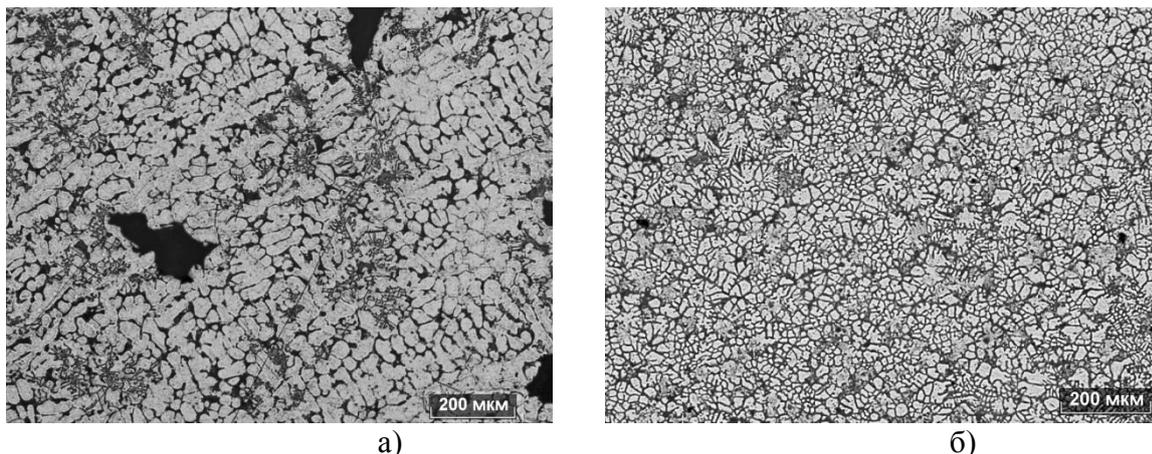


Рис. 2. Пористость в сплаве АК9: а) исходный сплав, б) тиксозаготовка

Модель отливки представлена на рис. 3.

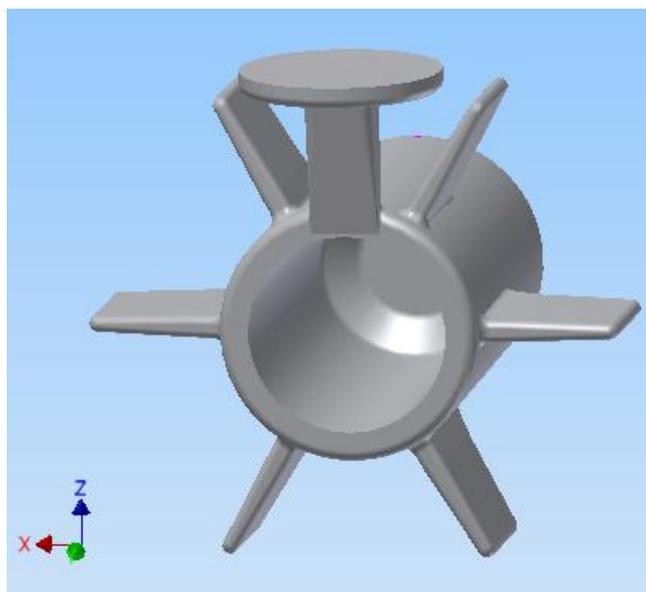


Рис. 3. Модель отливки крыльчатки, созданная в программном комплексе Autodesk Inventor Professional 2013

Процесс моделирования состоит из нескольких этапов: формирование конечно-элементной сетки, назначение начальных и граничных условий, параметров расчета литья.

На рис. 4 показано распределение температур во время охлаждения отливки.

На рис. 5, а показан разрез отливки, полученной методом литья под давлением с характерной пористостью, на рис. 5, б – разрез отливки, полученной методом тиксолитья. Пористость в отливке отсутствует и наблюдается лишь в пресс-остатке (рис. 6).

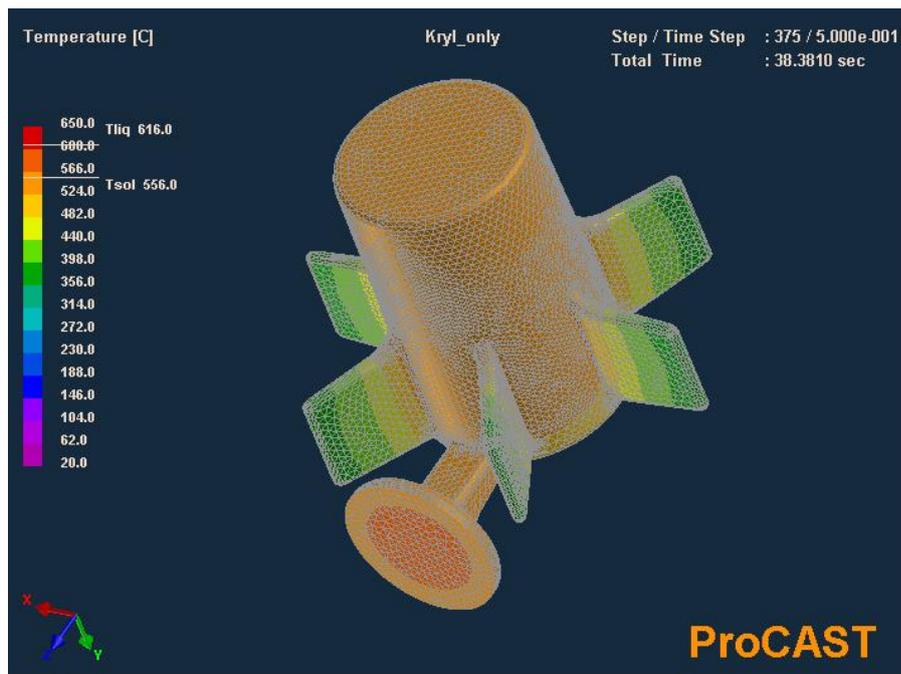


Рис. 4. Распределение температур в отливке на 38-й секунде после начала заливки

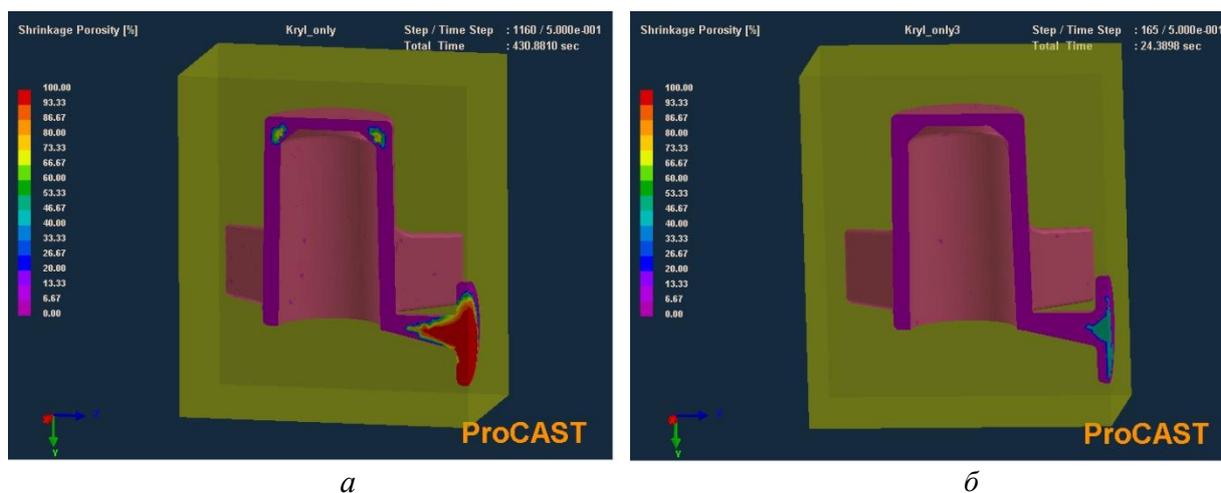


Рис. 5. Разрез отливки, полученной: *а* – методом литья под давлением; *б* – методом тиксолитья

#### Выводы

1. Использование электромагнитного перемешивания при получении тиксозаготовок позволяет существенно измельчить зерно  $\alpha$ -фазы и увеличить степень глобулярности.
2. Повышается однородность структуры и снижается пористость.
3. При тиксолитье значительно снижается усадка материала и улучшается заполняемость формы, что весьма важно при изготовлении тонкостенных ответственных деталей.

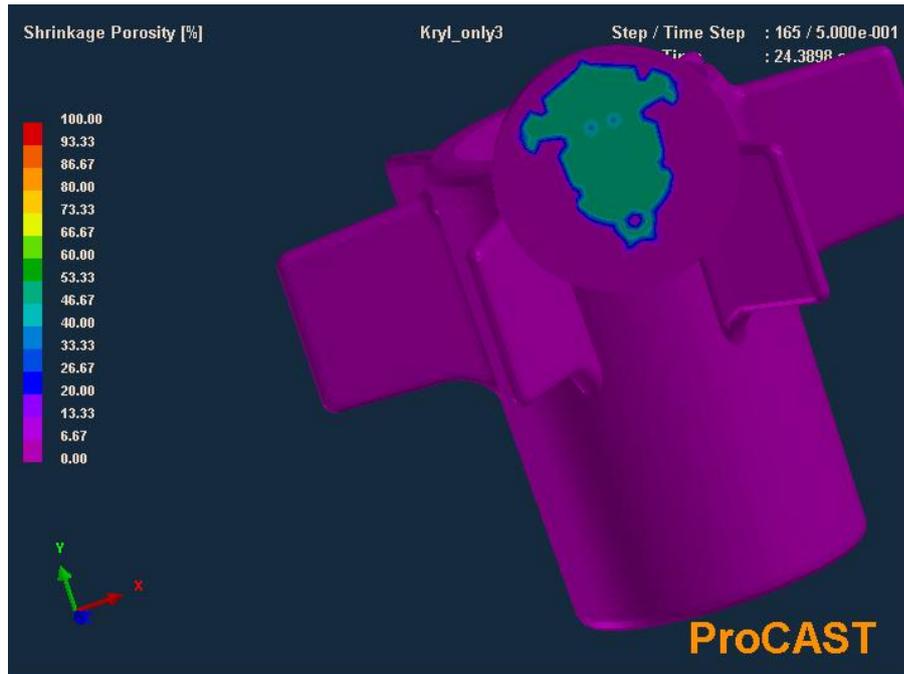


Рис. 6. Отливка, полученная методом тиксолития с единственным дефектом, находящимся в литниковой системе

### Литература

1. Семенов Б.И., Куштаров К.М. Производство изделий из металла в твердожидком состоянии. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 223 с.
2. S.W. Oh, J.W. Bae, C.G. Kang. Effect of Electromagnetic Stirring Conditions on Grain Size Characteristics of Wrought Aluminium for Rheo-forging // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2008. – Vol. 17. – P. 57-63.
3. Бродский В.З. Введение в факторное планирование эксперимента. – М.: Наука. – 1976. – 224 с.
4. Степанов Ю.А., Баландин Г.Ф., Рыбкин В.А. Технология литейного производства. – М.: Машиностроение, 1983. – 287 с.