

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ

## МАТЕРИАЛЫ

Международной научно-практической конференции  
ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ,  
РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ



Алматы 2018 Almaty

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА  
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ**

**Металлургия ғылымы мен өнеркәсібінің мәселелеріне және белгілі  
ғалым металлург, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі,  
Қазақстан Республикасы Мемлекеттік сыйлығының иегері  
Болат Балтақайұлы Бейсембаевті еске алуға арналған  
«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»  
атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның**

**МАТЕРИАЛДАРЫ**

**МАТЕРИАЛЫ**

**Международной научно-практической конференции  
«Эффективные технологии производства цветных, редких и  
благородных металлов», посвященной проблемам металлургической  
науки и промышленности и памяти известного ученого-металлурга,  
члена-корреспондента Академии наук РК,  
лауреата Государственной премии Республики Казахстан  
Булата Балтакаевича Бейсембаева**

**PROCEEDINGS**

**of International scientific and practical conference  
“The Effective Technologies of Non-Ferrous,  
Rare and Precious Metals Manufacturing” devoted to the metallurgy  
science and industry concerns and in memory of well-known scientist  
of metallurgy, Associate Member of the National Academy  
of Sciences of Kazakhstan, the honoree of the State Prize of the  
Republic of Kazakhstan Bulat Baltakayevich Beisembayev**

**Алматы 2018**

**УДК 669**  
**ББК 34.3**  
**Э94**

**Ответственный редактор:** д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К.

**Жауапты редактор:** т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К.

**Редакционный совет:** д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К., д.т.н., проф. Загородняя А.Н., д.т.н. Квятковский С.А., к.т.н. Кульдеев Е.И., к.х.н. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

**Редакциялық алқа:** т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К., т.ғ.д., проф. Загородняя А.Н., т.ғ.д. Квятковский С.А., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., х.ғ.к. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

**«Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов»:** Материалы Межд. научно-практ. конф. / Сост.: к.х.н. Темирова С.С., к.т.н. Кульдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 с.

**«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»:** Халықар. ғыл. практ. конф. материалдары / Құраст.: х.ғ.к. Темирова С.С., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 б.

**ISBN 978-601-323-132-7**

В Материалах конференции «Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов» представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований в области металлургии цветных, редких и благородных металлов, обогащения минерального и техногенного сырья, получения высокочистых металлов и перспективных материалов, а также разработки новых и усовершенствования существующих технологических схем, процессов и аппаратов.

Материалы конференции предназначены для ученых и специалистов, работающих в области переработки минерального сырья и материаловедения.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары» атты конференцияның материалдарында түсті, сирек және асыл металдар металлургиясы, минералдық және техногенді шикізаттарды байыту, тазалығы жоғары металдар мен келешегі зор материалдарды алу, сонымен қатар жаңа технологиялық схемаларды, үрдістерді және аппараттарды жасап шығару және олардың бұрыннан келе жатқан түрлерін жетілдіру салаларындағы іргелі және қолданбалы зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

Конференция материалдары материалтану және минералды шикізаттарды өңдеу саласында жұмыс жасайтын ғалымдар мен мамандарға арналған.

**УДК 669**  
**ББК 34.3**

**ISBN 978-601-323-132-7**

© АО «ИМиО», 2018

# РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ EX-SITU ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ АЛЮМОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

<https://doi.org/10.31643/2018-7.37>

Паничкин А.В.<sup>1</sup>, Калашников И.Е.<sup>2</sup>, Кшибекова Б.Б.<sup>1,3</sup>,

ORCID: 0000-0002-2403-8949

0000-0002-5944-7865

Мамаева А.А.<sup>1</sup>, Алибеков Ж.Ж.<sup>1</sup>

0000-0002-9659-8152

<sup>1</sup>АО «Институт металлургии и обогащения», г. Алматы, Казахстан,  
\*balzh\_79@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБУН «Институт металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова РАН»;

<sup>3</sup>НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева» г. Алматы, Казахстан

**Аннотация:** В работе рассмотрена проблема получения литых алюмоматричных композиционных материалов методом механического замешивания дискретных наполнителей. Ввиду сложности реализации классических схем введения порошков в большие объемы расплава авторами описано и предложено к применению специально разработанное оборудование с различными схемами механического перемешивания наполнителей с алюминиевыми расплавами. Показано, что перспективным оборудованием для получения литых алюмоматричных композиционных материалов в промышленных условиях являются миксеры, в которых происходит постепенное дозированное объединение расплава с наполнителем.

Литые металломатричные композиционные материалы все более широко применяются в промышленности, что обусловлено возможностью варьировать в широком интервале их свойства путем применения различных наполнителей. Благодаря низкой плотности, перспективными матричными сплавами являются магниевые и алюминиевые сплавы [1]. Введение дискретных наполнителей с заранее известными характеристиками армирующих частиц получаемых композиционных материалов (КМ) методом ex-situ является наиболее простым и универсальным. При обеспечении условий сохранения этих характеристик, полного введения наполнителей и равномерного их распределения в объеме расплава, свойства получаемых композитов будут гарантированы при любом их объеме производства, что и обуславливает большую перспективность этого способа при промышленном производстве металломатричных КМ в сравнении с in-situ армированием. Однако, спектр получаемых этим способом КМ весьма ограничен, что связано с плохим смачиванием поверхности наполнителей металлическим расплавом, высокой реакционной способностью расплава по отношению к материалу наполнителей, термическим разложением наполнителя в условиях его совмещения с расплавом. Эти проблемные вопросы усиливаются с увеличением дисперсности наполнителей.

Анализ способов получения алюмоматричных композиционных материалов (АКМ) показывает, что для последующего получения фасонных изделий литейными способами наиболее применимы промышленно освоенные методы замешивания, пропитки под низким и высоким давлением и центробежного литья [2,3-5]. Однако, метод инфильтрации при высоком давлении плохо подходит для серийного производства изделий из таких материалов, поскольку существенно повышает их стоимость. Инфильтрация расплавом наполнителей при низком давлении возможна только при краевых углах смачивания их поверхности более 90°. Центробежное литье вызывает формирование градиентных композитов, что не всегда требуется для дальнейшего производства.

Методы механического замешивания дискретных наполнителей в расплавы можно разделить на две основные группы: перемешивание расплава с наполнителем и вдувание

наполнителя под зеркало расплава. Наиболее перспективной является первая группа, характеризующаяся более широкими возможностями варьирования параметрами процесса замешивания. Методы вдувания наполнителя под зеркало расплава с использованием больших объемов газа имеют ряд недостатков, таких как повышенная пористость получаемых материалов, унос наполнителя с отходящими газами, большой расход инертного газа и т.д., что делает их малоперспективными для практического применения.

В литературных источниках в подавляющем большинстве случаев описаны результаты экспериментов по механическому замешиванию дискретных наполнителей в расплавы путем использования вращающегося импеллера, погруженного под зеркало расплава [6-10]. Наполнитель, при этом, вводится различными способами: загружается на дно тигля или через образующуюся воронку, через специальный канал вдоль вала импеллера, вдувается под зеркало расплава. В некоторых случаях используется защитная атмосфера для предотвращения окисления расплава. Такая схема проста, но достаточно эффективна только в случае, когда поверхность наполнителя хорошо смачивается расплавом. Повышение интенсивности перемешивания приводит к увеличению газовой пористости и требует дегазации образующейся суспензии, что осложнено при больших объемах наполнителя, а вращающиеся лопасти импеллера создают области пониженного давления в расплаве, вызывая выделение растворенных в нем газов, например водорода из алюминия, что в свою очередь еще более осложняет процесс перемешивания. В настоящее время предложены десятки конструкций импеллеров [11], а также способ предотвращения формирования воронки в расплаве. Не смотря на это, можно заключить о малой эффективности такой конструкции перемешивающего устройства для введения в расплавы трудно смачиваемых и высокодисперсных дискретных наполнителей. Легирование расплавов поверхностно активными химическими элементами, повышение температуры замешивания во многих случаях не может быть использовано ввиду формирования не желательных промежуточных фаз на поверхности раздела расплав/дискретный наполнитель. Это ставит задачи по разработке более эффективного оборудования для механического замешивания неметаллических порошков в металлические расплавы. Такое оборудование должно обеспечивать равномерность распределения наполнителя в расплаве минимизируя пористость получаемых материалов и характеризоваться относительной простотой.

Классическим примером сложности получения однородной суспензии перемешиванием при помощи импеллера, является система алюминиевый сплав - графитовый порошок, так как поверхность графита не смачивается алюминиевым расплавом [12], и в процессе их смешивания образуются трудно разрушимые агломераты с развитием сегрегации неоднородно распределенных графитовых частиц, [13], влекущие плохое соединение с металлом расплава и образование пористости на границе графит / матрица. Частично это может быть устранено за счет использования литья под давлением [13-15]. Исследования, проведенные в работе [16] показали, что эффективным является разрушение на начальных стадиях агломератов и последующее литье под давлением, однако, этим усложняется процесс получения изделий из таких материалов и увеличивается стоимость оборудования.

В этой связи в ходе разработки оборудования для получения литых алюмоматричных КМ, его тестирование проводили путем замешивания порошков графита в алюминиевый расплав при температурах 800-850°C. Для этого использовали алюминий 99,5 % и графитовый порошок марки ГЛ-1 дисперсностью менее 80 мкм, навеской 10 мас. % от массы расплава, предварительно прокаленный при температуре 600°C для удаления адсорбированных газов.

Эффективность разрабатываемого оборудования оценивали путем сопоставления с результатами замешивания в лабораторной установке классической схемы состоящей из тигля с расплавом и двулопастного импеллера, находящейся в камере, что позволяло

создавать в ней вакуум, либо защитную атмосферу. Объем расплава составлял 250 г при высоте столба ~60 мм и 1000 г при высоте столба ~90 мм, диаметр импеллера на ~10 мм меньше внутреннего диаметра тигля. Графитовый порошок засыпался на дно тигля, поверх него устанавливался алюминиевый слиток. Импеллер приводился в движение через вал от двигателя. Вал с приводом перемещались вертикально, обеспечивая перемешивание расплава импеллером, как у поверхности, так и у дна тигля. После нагрева тигля до заданной температуры при частоте вращения импеллера ~800-2500 об/мин перемешивание осуществляли в течение 30 минут. После этого тигель извлекался и расплав переливался в графитовую изложницу. Незамешанный в расплав графит взвешивался.

На разработанном оборудовании перемешивание осуществляли при постепенном введении графита. Масса навески расплава составляла 15 кг, навески графитового порошка 1,5 кг. Плавку вели в поворотной тигельной печи с графитовым тиглем. После замешивания всего объема графита, перемешивающее устройство извлекали из расплава и брали пробы получаемых материалов у зеркала расплава и на расстоянии 12-18 см от него. Образцы материалов исследовались при помощи оптической микроскопии на микроскопе Neophot 32.

Разработка оборудования для замешивания дискретных наполнителей в металлические расплавы базировалась на следующих принципах:

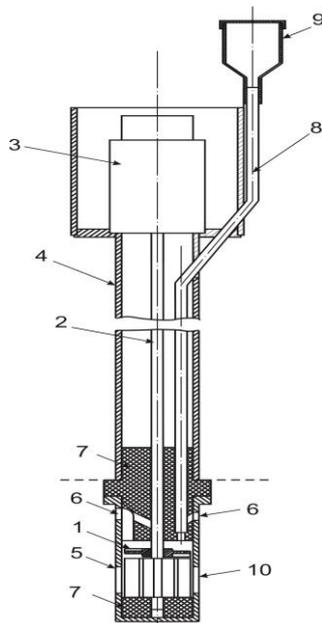
- 1 Обеспечение условий для разрушения коагулятов наполнителей в расплаве;
- 2 Дозируемая подача наполнителя в зону замешивания;
- 3 Предотвращение попадания газов в область смешивания;
- 4 Возможность использования оборудования без защиты области замешивания от окисления путем применения инертных газов или вакуума;
- 5 Возможность использования в качестве приставки к промышленному плавильному оборудованию без существенной его модернизации.

На основе этих принципов последовательно были разработаны три варианта приставок к поворотной тигельной печи, рассчитанной на плавку до 18 кг по алюминию. Основное их различие состоит в способе разрушения коагулятов наполнителей в процессе смешивания с расплавом.

На рисунке 1 представлен вариант перемешивающего устройства первого типа, принцип работы которого основан на том, что после погружения устройства в расплав и включения привода вала с вращающимся импеллером, через отверстия 6 устройства в верхнюю часть камеры поступает расплав. Одновременно в верхнюю часть камеры по каналу 8 из емкости 9 подается сыпучий дискретный наполнитель. Расплав с наполнителем, попадая на вращающиеся лопасти импеллера, рассекается и поступает на лопасти крыльчатки, которые оттесняют смесь к стенам камеры замешивания. За счет возникающего внутри камеры давления, происходит выдавливание смеси через узкие щели 10. Варьируя ширину и количество щелей 10, частоту вращения вала импеллера и диаметр канала 8 можно управлять параметрами перемешивания.

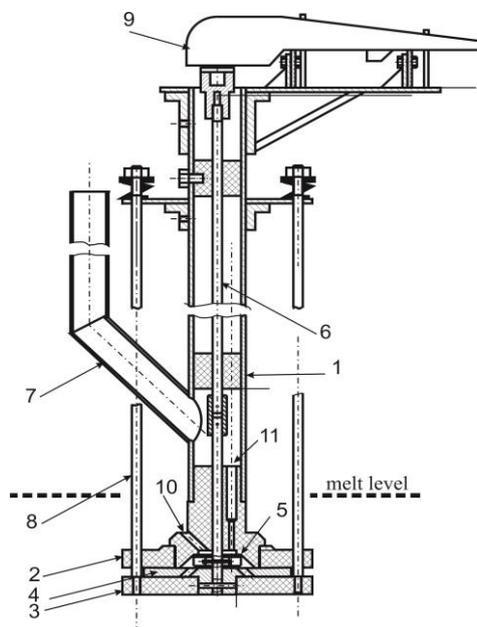
На рисунке 2 приведена схема устройства второго типа, в котором замешивание наполнителей в металлические расплавы происходит в результате их разрушения сдвигом. При погружении его перемешивающей части в расплав и включении привода вала, во вращение приводятся импеллер 5 и рабочий диск 4. В верхнюю часть камеры смешивания поступают расплав через отверстие 10 и порошкообразный наполнитель через канал 11. Попадая на импеллер, они смешиваются и поступают к рабочему диску, где смесь захватывается каналами на его поверхности. По мере удаления от оси вращения диска сечение каналов уменьшается. В результате суспензия попадает в зазор между рабочим диском и верхним и нижним прижимными дисками и на этой стадии происходит сдвиг частиц в расплаве. После чего за счет центробежной силы суспензия вытесняется к внешнему периметру диска, откуда попадает в тигель печи. Для

исключения заклинивания рабочий диск поджимается нижним прижимным диском при помощи пружинного механизма.



1- лопастной импеллер с крыльчаткой; 2 - вал мешалки; 3 - электропривод мешалки; 4 - корпус устройства; 5- камера замешивания; 6 - отверстия для поступления расплава в камеру; 7- подшипники скольжения; 8 - канал для подачи дискретных наполнителей; 9 - емкость для дискретных наполнителей; 10 - щели для выхода суспензии

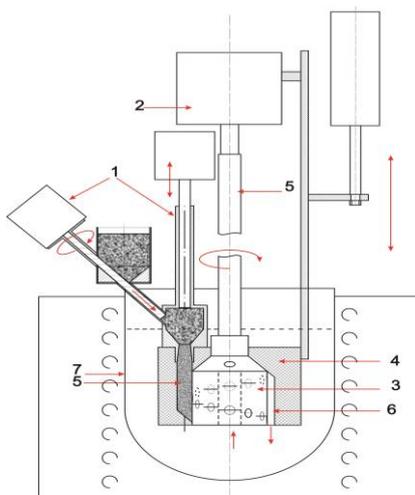
Рисунок 1 - Устройство для замешивания дискретных наполнителей в алюминиевые расплавы первого типа



1 – корпус установки, 2 – верхний упорный диск, 3 – нижний прижимной диск, 4 – рабочий диск, 5 – импеллер, 6 – вал, 7 – система подачи порошков, 8 – прижимная система, 9 – электропривод, 10 – канал подачи расплава, 11 - канал подачи дискретных наполнителей

Рисунок 2 - Устройство для механического замешивания дискретных наполнителей в алюминиевые расплавы второго типа

На рисунке 3 приведена схема перемешивающего устройства третьего типа, в котором обеспечены условия для пропитки наполнителя расплавом и сдвигового разрушения коагулятов. После погружения перемешивающей части в расплав включается система подачи наполнителя 1, и затем привод импеллера 2. Импеллер 3 выполнен в форме цилиндра с осевыми и радиальными отверстиями. Попадающий в осевое отверстие вращающегося импеллера за счет центробежных сил расплав выталкивается через радиальные каналы. При этом возникает давление расплава на внутреннюю стенку камеры 4 и вертикальный канал 5, по которому циклически поступает наполнитель в частично спрессованном состоянии. Струи расплава пропитывают и размывают поверхность наполнителя и переносят его в зазор между камерой и поверхностью цилиндрического импеллера. В зазоре образующая суспензия подвергается активному смешиванию, что способствует разрушению коагулятов, и вытесняется через горизонтальный или вертикальный канал 6 в тигель или накопитель 7.



1 - система подачи наполнителя; 2 - привод импеллера; 3 - импеллер; 4 - камера замешивания; 5 - канал для подачи наполнителя; 6 - канал для отвода суспензии; 7 - тигель печи

Рисунок 3 - Устройство для механического замешивания дискретных наполнителей в алюминиевые расплавы третьего типа

Анализ проводимых экспериментов по замешиванию порошков с лиофобной по отношению к алюминиевому расплаву поверхностью показывает, что эффективность смешивания на прямую зависит от присутствия в области замешивания газовой фазы. Суспензия не образуется в случае попадания газов в область перемешивания, более того газовые пузырьки способствуют флотации частиц на поверхность расплава. Перемешивания этих материалов так же не прослеживалось в лабораторной установке классической конструкции, как в атмосфере аргона, так и в условиях вакуума, ввиду не смачивания поверхности графита алюминиевым расплавом, вследствие меньшей плотности порошков в сравнении с расплавом. Не смачиваемый алюминиевым расплавом графитовый порошок отесняется к стенкам тигля, а механически захватываемые импеллером частицы вытесняются на поверхность воронки.

При перемешивании порошка графита с алюминиевым расплавом на установке первого типа активно формируется алюминиево-графитовая пена, всплывающая на поверхность расплава. Толщина ее слоя может достигать 150 мм. При этом, под действием гравитации алюминиевый расплав до кристаллизации стекает. В результате формируется материал с порами от 0,2 до ~10 мм, разделенными алюминиевой пленкой. Графитовый порошок частично заполняет эти поры. В структуре образцов материалов, взятых из центра тигля обнаруживаются частицы графита в количестве до 0,5 об.%.

При использовании установки второго типа формируется меньшее количество пены. При полном цикле перемешивания толщина ее слоя достигает 30-50 мм. Исследование макроструктуры пены показало, что размеры ее пор более дисперсные и составляют от 0,1 до 2 мм. В структуре образца, взятого из центральной части тигля, обнаружена существенная неоднородность по распределению графита (рисунок 4б). Форма границ коагулятов графита не однородна, что связано с пропиткой их алюминием. Их размер достигает 20 мм. В структуре алюминия также обнаруживаются единичные включения порошков графита. Поскольку в коагулятах выявляются прослойки алюминия, то можно заключить, что формирующаяся суспензия в процессе отстаивания и пропускания пузырьков газа постепенно разделяется. При этом не маловажную роль играют пленки оксида алюминия формирующиеся в результате его взаимодействия с кислородом воздуха. Эти пленки задерживают процесс разделения.

При эксплуатации установки третьего типа выявлено, что формирование пены происходит, только на начальном этапе замешивания. Это указывает на то, что при интенсивном перемешивании расплава происходит выделение растворенных в нем газов. Формирующаяся смесь графита и алюминиевого расплава, преимущественно концентрируется в верхней области ванны расплава. В этой связи при верхнем положении перемешивающего устройства суспензия повторно попадает в импеллер и осложняет смешивание. При его погружении до дна ванны расплава смешивание происходит более однородно. Исследование макро- и микроструктуры образцов суспензии, взятых у зеркала расплава, показало, что они менее однородны и более пористы в сравнении с взятыми из центра ванны. В первом случае пористость составила 15%, а во втором 6%. В верхней части ванны распределение графита аналогично представленному на рисунке 4 а, а в нижней части коагуляты графита практически не выявляются.

Из результатов испытаний разработанного оборудования следует, что в установках первого и второго типов увеличение числа оборотов импеллера приводит к повышению формирования пузырьков и как следствие увеличению слоя пены на поверхности расплава. При этом, доля равномерно распределенного графита в алюминиевой матрице практически не меняется. Это свидетельствует, о том, что увеличение числа оборотов импеллера приводит к повышению разряжения в верхней части камеры смешения. Как следствие, газы поступают в нее по каналу подачи наполнителя, а также в результате выделения из расплава. При использовании установки третьего типа отмечается существенное повышение однородности распределения порошка графита в суспензии. Конструкция этой установки предотвращает попадание газов в область смешивания. Таким образом, определяющим условием для формирования суспензии из материалов с лиофобной поверхностью является отсутствие в зоне смешивания газов. Помимо требований к герметичности камеры смешивания до начала замешивания должна проводиться дегазация алюминиевого расплава.



а



б

а – композит, полученный на установке первого типа, б - композит, полученный на установке второго типа (забор пробы в центральной части тигля)

Рисунок 4 – Макроструктура губчатого композита алюминий/~10 мас.% графита ГЛ-1, полученного на установке первого типа

#### Выводы:

1 Для формирования суспензии «металлический расплав / дискретный наполнитель с лиофобной поверхностью» необходимо полностью исключить попадание газа в область смешивания, и обеспечить условия разрушения формирующихся коагулятов наполнителя на макро- и микроуровне.

2 Оборудование для получения литых металломатричных композиционных материалов методом ex-situ, в котором дискретный наполнитель подается в зону повышенного давления расплава, позволяет предотвратить поступление газов и существенно снизить пористость получаемой суспензии.

3 Разработан принципиально новый перемешивающий узел включающий импеллер, камеру и систему подачи наполнителя, в котором создаются условия для пропитки наполнителя, его размывания струями расплава и дробления коагулятов путем их истирания. Эффективность оборудования показана на примере смешивания алюминиевого расплава с порошком графита.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Florin Ștefănescu, Gigel Neagu, Alexandrina Mihai practical aspects concerning the solidification of cast metallic composites // U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 69, No. 4, 2007, p. 47-58

2 А.Р. Луц, И.А. Галочкина, Алюминиевые композиционные сплавы-сплавы будущего// Самара 2013г, 82 с.

3 Bonollo, F. Cilinder liners in aluminium matrix composite by centrifugal casting [Text]/ Bonollo F., Moret A., Gallo S., Mus C. // La metallurgia Italiana, 2004. -№6. - P. 49-55.

4 Liquid pressure forming of aluminium matrix composites/ Cast Metal & Diecasting Times // September 2006.

5 Varekar N. Processing of aluminum-graphite particulate metal matrix composites by advanced shear technology [Text]/ Varekar, N., Tzamtzis S., Dhindaw B.K., Patel J., Hari Babu N., Fan Z. // Journal of Materials Engineering and Performance. Published on-line: 18 February 2009.

6 Skibo D S and Schuster D M , Process For Preparation o f Composite Materials Containing Non-Metallic Particles in a Metallic Matrix, and Composite Materials Made Thereby, United State Patent Number 4, 786,467, Nov 1988

7 Dunia A. S. Aluminum silicon carbide and aluminum graphite particulate composites// ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences VOL. 6, . №10, 2011, p.41-46;

8 Mukesh Kumar Synthesis and Characteristic of Aluminium-Graphite Composite// IOSR Journal of Applied Physics, Volume 8, Issue 1 Ver. IV, 2016, PP 09-13

9 Shashi Prakash Dwivedi, Satpal Sharma, Raghvendra Kumar Mishra A356 Aluminum Alloy and applications- A Review// Advanced Materials Manufacturing & Characterization, Vol4 Issue 2 (2014), p. 81-86

10 C. Karthikkumar, R. Baranirajan, I. Premnauth, P. Manimaran Investigations on Mechanical properties of AL 8011 reinforced with micro B4C / Red Mud by Stir Casting Method//International Journal of Engineering Research and General Science Volume 4, Issue 2, March-April, 2016, p.406-412

11 Ray, S. 1996. Casting of Composite Components. Proceeding of the 1995 Conference on Inorganic MatrixComposites. Bangalore, India. 69-89.

12 Panichkin A. V., Kalashnikov I.Y., Kshibekova B. B., Alibekov Zh. Zh., Imbarova A.T. Graphite contact phenomena developing in interaction with rare earth elements doped aluminum alloys studying.// 2nd International Symposium on Mechanical Engineering and Material Science (ISMEMS 2017). Advances in Engineering Research, volume 134, p.60-64

13 U.T.S. Pillai, B.C. Pai, K.G. Satyanarayana, and A.D. Damodaran, Fracture Behavior of Pressure Die-cast Aluminum-Graphite Composites, J. Mater. Sci., 1995, 30(6), p 1455–1461

14 U.T.S. Pillai, B.C. Pai, V.S. Kelukutty, and K.G. Satyanarayana, Pressure Die-cast Graphite Dispersed Al-Si-Mg Alloy Matrix Composites, Mater. Sci. Eng. A, 1993, 169, p. 93–98.

15 B.K. Prasad, T.K. Dan, and P.K. Rohatgi, Pressure-induced Improvement in Interfacial Bonding between Graphite and the Aluminum Matrix in Graphitic-Aluminum Particle Composites, J. Mater. Sci. Lett., 1987, 6(9), p 1076–1078

16 N. Barekar, S. Tzamtzis, B.K. Dhindaw, J. Patel, N. Hari Babu, Z. Fan Processing of Aluminum-Graphite Particulate Metal Matrix Composites by Advanced Shear Technology// Journal of Materials Engineering and Performance. 2009, 18(9): P.1230-1240 DOI: 10.1007/s11665-009-9362-5

## DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR EX-SITU PRODUCTION OF CAST ALUMINUM-MATRIX COMPOSITE MATERIALS

**Panichkin A.V.<sup>1</sup>, Kalashnikov I.Y.<sup>2</sup>, Kenzhaliev B.K.<sup>1,3</sup>, \*Kshibekova B.B.<sup>1,3</sup>,**  
ORCID: 0000-0002-2403-8949 0000-0003-1474-8354 0000-0002-5944-7865

**Mamayeva A.A.<sup>1</sup>, Alibekov Zh.Zh.<sup>1</sup>**  
0000-0002-9659-8152

<sup>1</sup>“Institute of Metallurgy and Beneficiation” JSC, Almaty, Kazakhstan,  
\*balzh\_79@mail.ru;

<sup>2</sup>“Institute of Metallurgy and Materials Science named after A.A. Baykov of RAS” FSBIS;

<sup>3</sup>“Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev” NJSC,  
Almaty, Kazakhstan

**Abstract:** *The problem of obtaining cast aluminum-matrix composite materials by the method of mechanical mixing of discrete fillers is considered. In view of the complexity of implementing classical schemes for introducing powders into large volumes of melt, the authors have described and proposed the use of specially developed equipment with various schemes of mechanical mixing of fillers with aluminum melts. It is shown that mixers are the perspective equipment for producing cast aluminum-composite composites in industrial conditions, in which a gradual, dosed combination of a melt with a filler takes place.*