

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБОВ СМЕШИВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ШЛИКЕРА НА ЕГО РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Е.И. Колмыков

kolmykovei@bmstu.ru

М.В. Тверской

tversk@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Проведен гранулометрический анализ металлического порошка из сплава титана ВТ6. Рассмотрен связующий компонент на основе воска для термопластичного шликера (далее шликер) низкого давления. Предложены и приготовлены несколько видов термопластичного шликера с варьирующимися последовательностями смешивания компонентов и температурными значениями. Выявлено влияние температурных параметров и последовательности смешивания компонентов на реологические свойства шликера. Визуально оценена текучесть готового термопластичного шликера методом его продавливания через сопло прессы. Для анализа рассмотрен шликер на основе титана, разработанный в лаборатории кафедры «Литейные технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Ключевые слова

МИМ-технология, шликер, литье под давлением, металлический порошок, текучесть, смешивание, металлическая смесь, титан

Поступила в редакцию 28.03.2023

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023

Введение. В настоящее время для литейного производства требуются новые технологии, применение которых обусловлено следующими факторами:

- снижение трудоемкости производства и увеличение коэффициента выхода годного на получение одной детали;
- топологическая оптимизация конструкций, переход на более качественные материалы;
- повышение качества поверхности деталей, а также обеспечение точности размеров.

Для получения сложной геометрической формы требуется применение технологий обработки, синтезирующих в себе порошковую металлургию, методы обработки давления и литейное производство [1]. К таким методам можно отнести МИМ-технология (metal injection molding) — литье термопластических шликеров под давлением в металлическую форму, в основе которого лежит металлический порошок.

Основные этапы получения конечной детали включают в себя выбор основных компонентов, состоящих из металлического порошка и связующего вещества, дальнейшее предварительное спекание, удаление связующего и окончательное спекание. Деталь после спекания годна к использованию практически без работок [2].

ММ-технология позволяет увеличить коэффициент выхода годного, нарастить производительность и сократить затраты ресурсов по сравнению с литьем по выплавляемым моделям и механической обработкой [3].

Шликер состоит из металлического порошка (основы) и связующего. В качестве металлического порошка для термопластичного шликера был выбран титановый сплав ВТ6.

Сплавы титана вошли в обиход в разных отраслях промышленности. Их широкое использование обусловлено комплексом их свойств: хорошей жаропрочностью, высокой удельной прочностью и коррозионной стойкостью при больших температурах [4].

Производство титановых деталей по ММ-технологии имеет ограничение по габаритным размерам — это связано с проблемами изготовления вследствие влияния усадочных процессов [5, 6].

В соответствии со значением давления прессования шликеры принято делить на две категории — шликер высокого и низкого давления прессования [7]. В группе фидстоков низкого давления прессования используют парафиновый воск в качестве связующей основы.

На первоначальном этапе приготовления шликера главной задачей является получение однородности смешивания компонентов, которая зависит от нескольких факторов. При неправильных режимах перемешивания может наблюдаться расслоение фаз по объему шликера, что приведет к браку при изготовлении детали.

На данный момент нет стандартизированной методики приготовления термопластичного шликера низкого давления с парафиновым воском в качестве связующей основы. В статье [8] рекомендуют сначала перемешивать связующую основу, а затем добавлять металлический порошок, но в ней нет обоснования последовательности процесса и выбранных температурных режимов.

Цель данной работы — исследование влияния способов смешивания компонентов термопластичного шликера низкого давления на основе сплава титана на реологические свойства шликера.

Приготовление термопластичного шликера. Этап приготовления шликера является одним из ответственных, поскольку от его качества зависят реологические свойства и механические характеристики отливки.

Выбор объемного коэффициента усадки шликера — основополагающая составляющая при определении количества компонентов для приготовления.

Компоненты смеси были выбраны с учетом коэффициента усадки $K = 1,20$, поскольку данное значение является стандартным. В настоящей работе был выбран порошок с характерным размером частиц для МІМ-технологии — в пределах 10...40 мкм [9]. Для приготовления было использовано 200 г металлического порошка на основе сплава титана ВТ6, химический состав которого приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав порошка

Параметр	Химический элемент			
	Ti	V	Al	Другие*
Результат измерений, % по массе	92,66	3,90	2,16	1,28
Погрешность измерений 3σ , % по массе	0,23	0,09	0,22	—
* Рассчитывается как 100 % минус сумма содержания перечисленных элементов.				

Химический состав порошка из сплава ВТ6 был определен рентгенофлуоресцентным элементным анализом с помощью портативного анализатора Vanta VCR.

Интегральное распределение частиц порошка по размерам представлено на рис. 1. Анализ проводили с использованием лазерного дифрактометрического анализа с помощью анализатора распределения частиц по размерам HORIBA Partica LA-960.

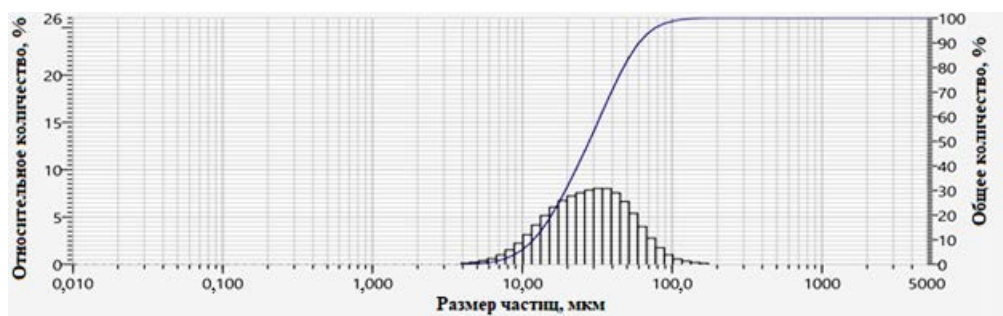


Рис. 1. Распределение частиц порошка по размерам

Результаты гранулометрического анализа порошка из сплава ВТ6 приведены в табл. 2.

Процентное содержание компонентов связующего следующее: воск — 75 % (23,4 г); полиэтилен высокого давления — 20 % (6,24 г); стеарин — 5 % (1,56 г).

Перемешивание компонентов термопластичного шликера осуществлялось при частоте вращения 140 об/мин в лабораторной двухшнековой мешалке, представленной на рис. 2.

Гранулометрический состав порошка

Параметр	Значение, мкм
Медианный размер	27,9
Средний размер	32,9
Стандартное отклонение	21,1
Средний геометрический размер	27,2
Геометрическое стандартное отклонение	1,8
Диаметр частиц по общему количеству	10,00 % – 11,8 мкм 50,00 % – 27,9 мкм 90,00 % – 60,2 мкм



Рис. 2. Лабораторная двухшнековая мешалка

Были рассмотрены следующие режимы приготовления.

Замес I.

1. Смешивание металлического порошка ВТ6 со стеарином в лопастной мешалке в течение 30 мин при температуре 80 °С.

2. Добавление ПВД к смеси и перемешивание в мешалке в течение 30 мин при температуре 140 °С.

3. Добавление воска и перемешивание в мешалке в течение 30 мин при температуре 80 °С.

Результат перемешивания показан на рис. 3.



Рис. 3. Результат первого замеса

По виду первого замеса можно заметить, что по структуре шликер получился рассыпчатым, наблюдаются неоднородность и значительное количество фракции из маленьких комочков, по свойствам напоминающих слипшийся металлический порошок. Это может свидетельствовать о неравномерном перемешивании связующей основы с металлическим порошком.

Замес II.

1. Смешивание металлического порошка ВТ6 со стеарином в лопастной мешалке в течение 30 мин при температуре 80 °С.

2. Добавление ПВД и воска к смеси и перемешивание в мешалке в течение 30 мин при температуре 140 °С.

Результат перемешивания показан на рис. 4.



Рис. 4. Результат второго замеса

Результаты второго замеса показывают наличие более крупных агломератов, по сравнению с первым замесом, но также наблюдается неоднородность смеси.

Замес III.

1. Смешивание воска и ПВД в лопастной мешалке в течение 30 мин при температуре 140 °С.

2. Добавление металлического порошка ВТ6 и стеарина к смеси и перемешивание в мешалке в течение 30 мин при температуре 140 °С.

Результат перемешивания показан на рис. 5.



Рис. 5. Результат третьего замеса

При извлечении получилась однородная тягучая масса. Визуальная оценка показала отсутствие расслоения фаз.

По результатам экспериментов можно заметить, что в третьем варианте замеса получен шликер с максимальной пластичностью и минимальным количеством не связанных между собой агломератов.

Реологические свойства шликера. Одна из главных технологически характеристик шликера — показатель текучести расплава (ПТР). Значение ПТР характеризует вязкость расплава при стандартном значении нагрузки для данного материала [9]. Полимер ведет себя как неньютоновская жидкость в расплавленном состоянии [10].

Для получения количественных данных показателя ПТР используют специализированные приборы — так называемые пластометры. В работе была проведена качественная оценка реологических свойств шликера.

Для качественной оценки реологических свойств шликеров воспользуемся методом продавливания смеси через сопло лабораторного пресса (рис. 6).



Рис. 6. Лабораторный пресс

Результаты эксперимента приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты эксперимента

Номер замеса	Внешний вид струи	Примечание
1		Плохая текучесть, видно разделение фаз

Номер замеса	Внешний вид струи	Примечание
2		Хорошая текучесть; неоднородность не наблюдается, но видно изменение содержания связующего компонента по мере продавливания
3		Хорошая текучесть, неоднородность не наблюдается

Результаты исследования свойств вышеприведенных замесов показывают, что третий вариант показал лучшие реологические свойства шликера по сравнению с первым и вторым вариантом, а также в нем не наблюдается неоднородность структуры шликера.

Заключение. Из результатов визуального анализа текучести шликера можно сделать вывод, что параметры и последовательность смешивания оказывают существенное влияние на однородность шликера и ее реологические свойства. Это может быть связано с неравномерным обволакиванием металлических гранул связующим материалом, что приводит к расслоению и неоднородности структуры шликера, которая влияет на его реологические свойства.

Литература

- [1] Тверской М.В., Хилкова А.А., Хилков Д.Э. Исследование особенностей инъекционного литья металлических порошковых смесей. *Политехнический молодежный журнал*, 2018, № 11 (28). <http://doi.org/10.18698/2541-8009-2018-11-406>

- [2] Базлов В.А., Мамуладзе Т.З., Харитонов К.Н., Ефименко М.В., Голенков О.И., Пронских А.А., Панченко А.А., Павлов В.В. Возможности инъекционного формования металлических порошков (MIM — metal injection molding) в серийном производстве медицинских изделий. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 2020, № 2, с. 64–68.
URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=13011> (дата обращения 29.01.2023).
- [3] Polymer Technologies Inc. looks to the aerospace industry for new PIM applications. *PIM International*, 2013, vol. 7 (1), pp. 45–51.
- [4] Илларионов А.Г., Попов А.А. *Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов*. Екатеринбург, Изд-во Урал. ун-та, 2014, 137 с.
- [5] Яковлев А.Л., Ночовная Н.А., Путырский С.В., Крохина В.А. Титанополимерные слоистые материалы. *Авиационные материалы и технологии*, 2016, № S2, с. 56–62.
<http://doi.org/10.18577/2071-9140-2016-0-S2-56-62>
- [6] Коротченко А.Ю., Ковалевич Е.В., Нуралиев Н.Ф., Куцый О.Я. Прибор для исследования свободной линейной усадки сплавов. *Литейное производство*, 2020, № 11, с. 16–18.
- [7] Коротченко А.Ю., Хилков Д.Э., Тверской М.В. Новые составы термопластичных шликеров и литейные формы для их инъекционного литья. *Литейное производство*, 2022, № 5, с. 15–18.
- [8] Gülsah E., Bülent A., Özkan Gülsoy H. Injection molding of micro-porous titanium alloy with space holder technique. *Rare Metals.*, 2011, no. 30, pp. 565–571.
<http://doi.org/10.1007/s12598-011-0430-2>
- [9] Котомин С.В., Шабеко А.Д., Френкин Э.И., Коротченко А.Ю., Тверской М.В., Хилков Д.Э. Реологические свойства MIM-фидстоков. *Труды Кольского научного центра РАН*, 2018, с. 305–310. <http://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.1.305-310>
- [10] Heaney D.F. *Handbook of metal injection molding*. Woodhead Publishing, 2012, 604 p.

Колмыков Егор Игоревич — студент кафедры «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Тверской Михаил Вадимович — старший преподаватель кафедры «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Коротченко Андрей Юрьевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Колмыков Е.И., Тверской М.В. Исследование влияния способов смешивания компонентов термопластичного шликера на его реологические свойства. *Политехнический молодежный журнал*, 2023, № 04 (81). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-4-883>

STUDY OF THE INFLUENCE OF MIXING METHODS OF THERMOPLASTIC SLICK COMPONENTS ON ITS RHEOLOGICAL PROPERTIES

E.I. Kolmykov
M.V. Tverskoy

kolmykovei@bmstu.ru
tversk@bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

A granulometric analysis of a metal powder from an alloy of titanium VT6 has been carried out. A binder component based on wax for thermoplastic slurry (hereinafter slurry) of low pressure is considered. Several types of thermoplastic slurry with varying mixing sequences of components and temperature values have been proposed and prepared. The influence of temperature parameters and the sequence of mixing components on the rheological properties of the slip has been revealed. The fluidity of the finished thermoplastic slurry was visually assessed by forcing it through a press nozzle. For analysis, a titanium-based slurry developed in the laboratory of the Foundry Technologies Department of Bauman Moscow State Technical University.

Keywords

MIM technology, slip, injection molding, metal powder, fluidity, mixing, metal mixture, titanium

Received 28.03.2023

© Bauman Moscow State Technical University, 2023

References

- [1] Tverskoy M.V., Khilkova A.A., Khilkov D.E. Study of particularities of metal powder mixtures injection molding. *Politekhnicheskiiy molodezhnyy zhurnal*, 2018, no. 11 (28). (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2018-11-406>
- [2] Bazlov V.A., Mamuladze T.Z., Kharitonov K.N., Efimenko M.V., Golenkov O.I., Pronskikh A.A., Panchenko A.A., Pavlov V.V. Possibilities of injection molding of metal powders (MIM — metal injection molding) in mass production of medical products. *Modern Problems of Science and Education. Surgery*, 2020, no. 2, p. 64–68. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=13011> (accessed January 29, 2023).
- [3] Polymer Technologies Inc. looks to the aerospace industry for new PIM applications. *PIM International*, 2013, vol. 7(1), pp. 45–51.
- [4] Illarionov A.G., Popov A.A. *Tekhnologicheskies i ekspluatatsionnye svoystva titanovykh splavov* [Technological and operational properties of titanium alloys]. Yekaterinburg, Publishing House Ural. un-ta, 2014, 137 p. (In Russ.).
- [5] Yakovlev A.L., Nochovnaya N.A., Putyrsky S.V., Krokhina V.A. Titanium polymer layered materials. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii*, 2016, no. S2, pp. 56–62. (In Russ.). <http://doi.org/10.18577/2071-9140-2016-0-S2-56-62>
- [6] Korotchenko A.Yu., Kovalevich E.V., Nuraliev N.F., Kutsy O.Ya. A device for studying of the free linear shrinkage of alloys. *Liteynoe proizvodstvo*, 2020, no. 11, pp. 16–18. (In Russ.).

- [7] Korotchenko A.Yu., Khilkov D.E., Tverskoy M.V. New compositions of thermoplastic slurry and molds for their injection molding. *Liteynoe proizvodstvo*, 2022, no. 5, pp. 15–18. (In Russ.).
- [8] Gülsah E., Bülent A., Özkan Gülsoy H. Injection molding of micro-porous titanium alloy with space holder technique. *Rare Metals.*, 2011, no. 30, pp. 565–571.
<http://doi.org/10.1007/s12598-011-0430-2>
- [9] Kotomin S.V., Shabeko A.D., Frenkin E.I., Korotchenko A.Yu., Tverskoi M.V., Khilkov D.E. Rheology of PIM-feedstocks. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*, 2018, pp. 305–310. (In Russ.). <http://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.1.305-310>
- [10] Heaney D.F. *Handbook of metal injection molding*. Woodhead Publishing, 2012, 604 p.

Kolmykov E.I. — Student of Department Foundry Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Tverskoy M.V. — Senior Lecturer of Department Foundry Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Korotchenko A.Y., Dr. Sc. (Eng.), Head of Foundry Technologies Department, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Kolmykov E.I., Tverskoy M.V. Study of the influence of mixing methods of thermoplastic slick components on its rheological properties. *Politekhicheskiy molodezhnyy zhurnal*, 2023, no. 04 (81). (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-4-883>