

## НОВЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА «ЗЕЛЕННОЙ» ДЕТАЛИ

Н.А. Ромашов  
О.Г. Карапузов

rn-5@mail.ru

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

### Аннотация

*Рассмотрены перспективы развития МИМ-технологии в России. Описаны основные виды дефектов, возникающие при изготовлении «зеленой» детали. Исследована возможность «исправления» фасонной «зеленой» детали методом центробежного литья*

### Ключевые слова

*Дефект, «зеленая» деталь, фидсток, центробежное литье, плотность «зеленой» детали*

Поступила в редакцию 12.07.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

**Введение.** Литье полимеров, наполненных металлическим порошком — распространенная производственная технология (МИМ-технология, Metal Injection Molding), которую используют практически во всех отраслях промышленности.

Применение МИМ-технологии позволяет снизить себестоимость изготовления металлических деталей сложной геометрической формы в объемах серийного производства, однако требует при этом глубоких знаний различных областей науки [1, 2]. Зарубежные производители осуществляют стабильное производство качественной продукции с помощью современных систем контроля качества и оптимизации каждого производственного этапа, что позволяет минимизировать процент брака [1]. В России данная технология изучена недостаточно [3]. Для создания конкурентоспособного производства необходимо не только перенять зарубежный опыт изготовления деталей из металлических порошков, но и глубоко изучить особенности течения используемых в процессах неньютоновских жидкостей.

Дефекты деталей, которые встречаются при изготовлении МИМ-способом, представлены на рис. 1. Даже при выборе качественных исходных



**Рис. 1.** Дефекты деталей, изготовленных МИМ-способом

материалов и подготовке оптимального по характеристикам фидстока (сбалансированной гранулированной металлической смеси мелкодисперсных порошков и полимерного связующего вещества) не исключено появление дефектов. Например, вследствие неправильной конструкции литниковой системы возможно появление спаев, усадочных раковин, блистеров, утяжин и т. д. Чтобы избежать образования поломов в изделии при выталкивании, важно правильно расположить толкатели в пресс-форме. В ходе заполнения полости пресс-формы расплавленным фидстоком необходимо поддерживать заданные режимы (локальные скорости потока, давление, температуру), нарушение которых приводит к образованию неоднородностей («джетов») в распределении частиц и связующего (рис. 2). Другими причинами, вызывающими появление дефектов, могут стать износ пресс-формы, нестабильность температурного поля при литье и др. Известно, что до 85 % дефектов возникает на стадии литья и присутствует в «зеленой» детали [4, 5].



Рис. 2. «Джеты» в «зеленых» образцах изделий

Особенность ММ-технологии заключается в том, что произведенные на определенном этапе заготовки (гранулят, «зеленая» деталь, «коричневая» деталь и т. д.) значительно влияют на качество последующей детали. Таким образом, ошибка на любом этапе, ведет к браку готовой детали. Поэтому, следует контролировать не только процесс, но и качество заготовок на промежуточных этапах. На рис. 3 представлена схема традиционных этапов ММ-технологии и указаны позиции (1–5), на которых рекомендовано проводить контрольные измерения [6].

Сначала в зависимости от размеров и требований к детали выбирают подходящие по характеристикам порошок и связующее вещество. Далее проводят контроль качества порошка, где контролируемыми параметрами являются средний диаметр частиц, распределение размеров частиц, химический состав и т. д. Размер частиц порошка влияет на вязкость смеси компонентов, а оптимальное распределение частиц по размерам влияет на однородность смеси. Затем для связующего вещества определяют уровень влажности, вязкости и теплофизические свойства.

После выбора исходных материалов следует этап изготовления композита (фидстока). Подбирать и распределять компоненты связующего вещества необходимо таким образом, чтобы все поверхности частиц порошка были смочены в целях предотвращения дегомогенизации в объеме суспензии на последующих этапах обработки. Смешивание порошка и связующего вещества проходит несколько стадий. Сначала порошок смешивают с компонентами связующего в спе-

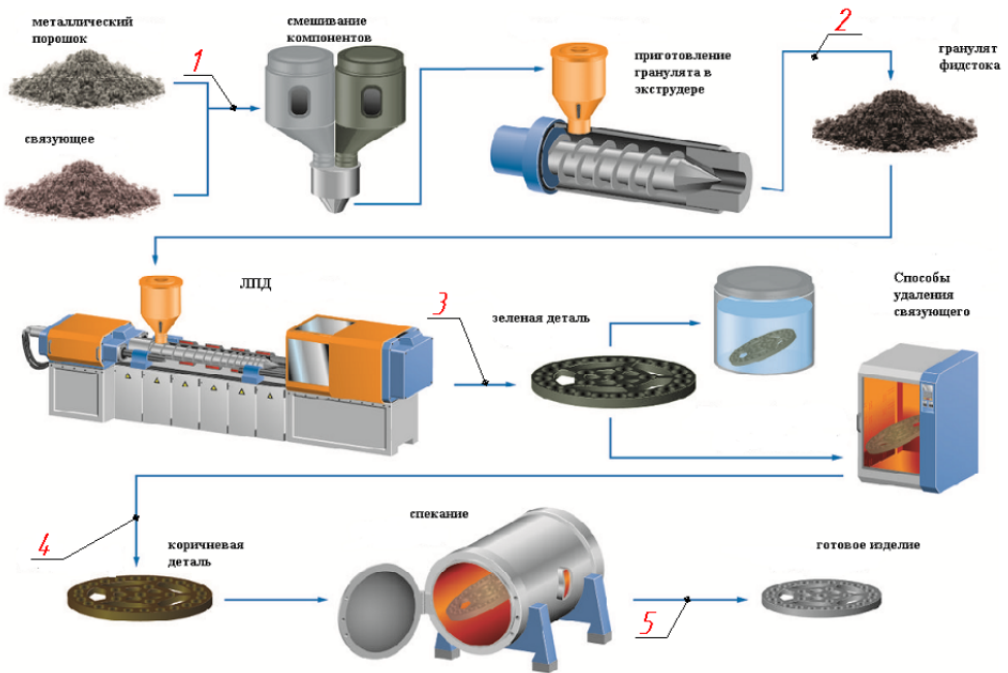


Рис. 3. Схема традиционных этапов МІМ-технологии

циальном устройстве по определенной программе. Полученную смесь дополнительно перемешивают в экструдере, а полученный продукт (полосу из фидстока) на выходе из экструдера рубят на гранулы для повышения однородности литейного материала и облегчения загрузки полученных компонентов в машину для литья под давлением (ЛПД). Основными параметрами, определяющими качество фидстока, являются плотность, стабильность вязкости и необходимая зависимость вязкости от скоростей сдвига. Плотность фидстока определяется соотношением количества порошка и связующего. Стабильность вязкости обеспечивается равномерным распределением частиц порошка по объему. Не соответствие плотности и вязкости фидстока приводят к нестабильному режиму течения при заполнении и не позволяют управлять течением потока суспензии [6].

Изготовление «зеленой» детали происходит в машине ЛПД, схематическое изображение которой представлено на рис. 4 [7]. Прессование осуществляют в несколько этапов. На первом этапе происходит подготовка порции МІМ-суспензии (см. рис. 4 — красным цветом). Смесь, состоящую из расплавленного связующего вещества и порошка, дополнительно перемешивают специальным шнеком. После подготовки порции производится ее впрыск в формообразующую полость. Высокое давление прессования обеспечивает скорости сдвига, позволяющие снизить вязкость суспензии до необходимого значения. В момент запрессовки возможен захват воздуха потоком расплавленного фидстока, что может привести к образованию газовой

пористости. После окончательного заполнения полости формы «зеленое» изделие охлаждают. Связующее вещество переходит из жидкого состояния в твердое, начинается усадка. Поскольку после заполнения формы происходит остановка потока, то система порошок–связующее в течение некоторого времени возвращается к исходным высоким значениям вязкости. Поэтому в момент возвращения (релаксации) необходимо осуществить подпрессовку, при этом усилие прессования повышают почти в 2 раза, чтобы компенсировать усадку [8]. Тепловой режим формы организуют так, чтобы литниковые каналы пресс-формы не «перемерзли». В противном случае воздействие поршня на объем материала отливки прекратится, а в «зеленой» детали образуются усадочные дефекты. Затем деталь охлаждают до температуры окружающей среды и извлекают. На этом получение «зеленой» детали считают завершенным.

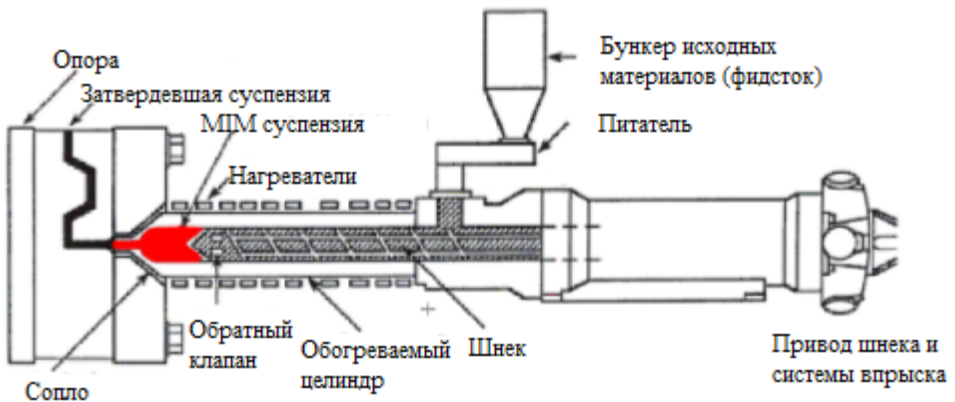


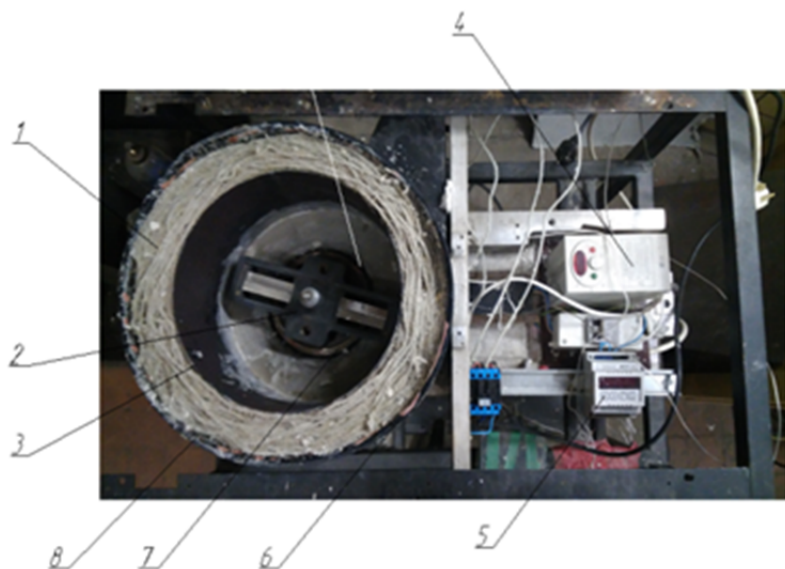
Рис. 4. Схематическое изображение устройства специализированной машины ЛПД

Качество готовой «зеленой» детали определяют по ее внешнему виду, измеряют массу и плотность. Отметим, что даже при наличии качественных исходных материалов, оптимального по характеристикам фидстока и контроле всех технологических параметров не исключено появление дефектов.

Целью настоящей работы является поиск способов для «исправления» «зеленой» детали, для чего необходимо получить более однородную структуру путем изменения, достигнутого на стадии литья распределения частиц порошка. На основе работ [7–9] исправление дефектов производилось с помощью воздействия центробежных сил на «зеленую» деталь. В работе [9] исследована возможность получения градиентной структуры «зеленой» детали на центробежной установке. Используемые центробежные силы воздействуют на каждую частицу по всему объему. Возникают сдвиги частиц порошка, позволяющие добиться необходимого перераспределения. Благодаря высокому содержанию порошка в суспензии, частицы образуют «каркас», который препятствует их движению под действием центробежной силы. Маленькие частицы

легче отделяются от «каркаса» и перемещаются, скапливаясь на противоположной от оси вращения стороне формы. Так происходит получение изделий с градиентными свойствами на центробежной установке, что позволит устранить некоторые дефекты «зеленой» детали.

Устранение дефектов, возникающих на этапе прессования путем перераспределения частиц, осуществлялось на разработанной центробежной установке (рис. 5), которая отличается от представленной в работе [9]. Разработанная авторами установка позволяет нагревать оснастку с «зелеными» деталями выше температуры фазового перехода связующего и подбирать режимы работы с порцией суспензии, имеющей геометрию детали. Основными частями и механизмами установки являются: 1 — теплоизоляционный слой; 2 — оснастка; 3 — защитный металлический кожух; 4 — частотный преобразователь; 5 — терморегулятор; 6 — металлический кожух; 7 — стол для крепления оснастки; 8 — нагревательный элемент. Электродвигатель и ременная передача на рисунке не показаны.



**Рис. 5.** Разработанная центробежная установка:

- 1 — теплоизоляционный слой; 2 — оснастка; 3 — защитный металлический кожух;
- 4 — частотный преобразователь; 5 — терморегулятор; 6 — металлический кожух;
- 7 — стол для крепления оснастки; 8 — нагревательный элемент

Далее получим «исправленную» деталь с помощью разработанной установки. Сначала загрузим в полуформу образец (рис. 6). Конфигурация полостей используемых полуформ аналогична конфигурации полости пресс-формы. Затем оснастку вместе с образцом нагреваем в установке, после чего на сформированный образец воздействуем полем центробежных сил. Выбор оптимального

времени нагрева, оптимальной частоты вращения и подбор режимов осуществим, основываясь на характеристиках образца, полученного из гранулята (рис. 7). Стандартизованным методом гидростатического взвешивания определим плотности двух образцов до и после воздействия центробежных сил. Результаты измерений представим в таблице. Доказано, что образцы необходимого качества могут быть получены описанным способом.

#### Результаты измерений плотности образцов «зеленой» детали

Состояние образца	Масса образца, г	Масса образца, погруженного в воду, г	Плотность воды, кг/м <sup>3</sup>	Плотность образца, кг/м <sup>3</sup>
До воздействия центробежных сил	11,494	2,460	996,9	1267
	11,633	2,468	996,9	1265
После воздействия центробежных сил	11,434	1,753	996,9	1289
	11,037	2,456	997,7	1283

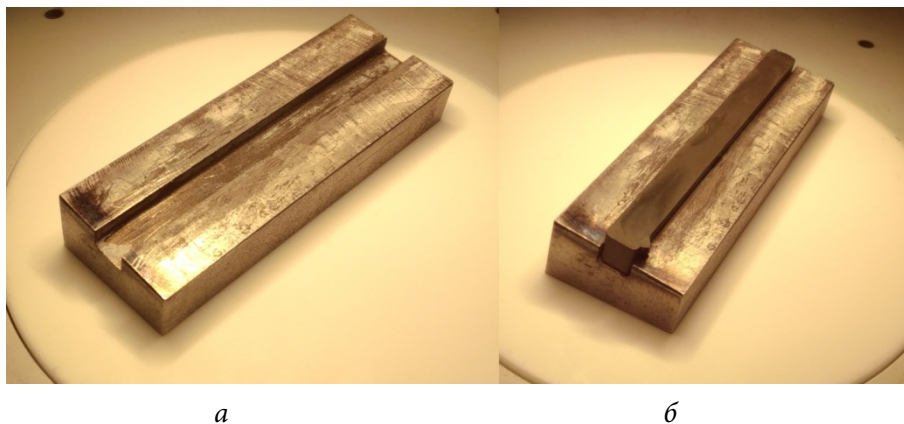


Рис. 6. Полуформы: без обрабатываемого образца (а) и с обрабатываемым образцом «зеленой» детали (б)

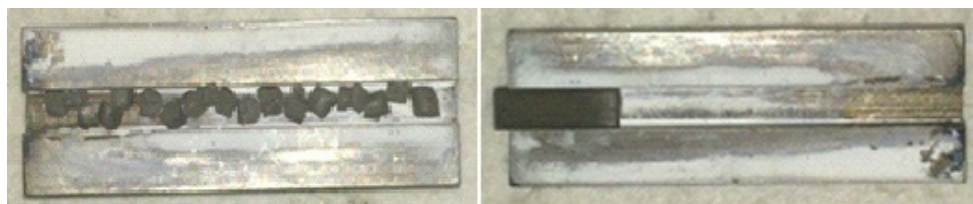


Рис. 7. Гранулят, загруженный в полуформу (а) и «зеленая» деталь (б)

**Выводы.** «Исправление» «зеленых» деталей с помощью разработанной центробежной установки — эффективный способ повышения качества таких деталей. Для дальнейших исследований необходимо изучение влияния центробежных сил на реологические свойства расплавленного фидстока.

## Литература

1. Каблов Е.Н. Аддитивные технологии — доминанта национальной технологической инициативы // Интеллект & Технологии. 2015. № 2. С. 52–55.
2. Погодина Е. Литье порошковых смесей // Пластикс. 2013. № 6. С. 34–36.
3. Семенов А.Б., Гавриленко А.Э., Семенов Б.И. Порошковые технологии синтеза сложных фасонных деталей из суперсплавов: АМ и/или PIM (зарубежный и отечественный опыт) // Вт. Междунар. конф. «Аддитивные технологии: настоящее и будущее». М.: ФГУП ВИАМ, 2016. 784 с.
4. Baril E., Thomas Y., Hetu J.-F., Pelletier S. Powder injection molding (PIM) for low cost manufacturing of intricate parts to net-shape. 2006. URL: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a524692.pdf> (дата доступа: 15.05.2016).
5. Heaney D. Handbook of metal injection molding. Woodhead Publishing Ltd, 2012. 586 p.
6. Injection Moulding MIM parts. URL: [http://www.cnder.com/Upload/PicFiles/2009.1.12\\_16.28.4\\_4954.jpg](http://www.cnder.com/Upload/PicFiles/2009.1.12_16.28.4_4954.jpg) (дата обращения: 10.05.2016).
7. Application for MIM. URL: <http://www.design-chnology.org/injectionmoulding2.htm> (дата обращения 10.05.2016).
8. Ханина М.А., Русланцев А.Н., Первушин А.В., Семенов А.Б. и др. Синергетический подход к анализу и использованию PIM-технологии // Технология металлов. 2015. № 5. С. 36–44.
9. Русланцев А.Н. Конструирование установки и разработка режимов центробежного литья стальных деталей PIM-методом для получения изотропных и градиентных свойств: Дис... магистерская. Москва. 2013. 97 с.

**Ромашов Николай Александрович** — магистрант кафедры «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Карпузов Олег Геннадьевич** — магистрант кафедры «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — А.Б. Семенов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

## A NEW METHOD FOR IMPROVING THE QUALITY OF “GREEN” DETAILS

N.A. Romashov  
O.G. Karapuzov

rn-5@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

**Abstract**

The paper considers the prospects for the development of MIM-technology in Russia. It describes the basic types of defects that arise in the manufacture of “green” details and examines the possibility of “correcting” shaped “green” details by centrifugal casting

**Keywords:**

Defect, “green” detail, feedstock, centrifugal casting, density of the “green” details

© Bauman Moscow State Technical University, 2016

**References**

- [1] Kablov E.N. Additive technologies: keynote of national technologic initiative. *Intellekt & Tekhnologii*, 2015, no. 2, pp. 52–55 (in Russ.).
- [2] Pogodina E. Powder injection molding. *Plastiks* [Plastics], 2013, no. 6, pp. 34–36 (in Russ.).
- [3] Semenov A.B., Gavrilenko A.E., Semenov B.I. [Powder synthesis technology for complicated shaped parts made of superalloys: AM and/or PIM (foreign and local experience)]. Vt. Mezhdunar. konf. “Additivnye tekhnologii: nastoyashchee i budushchee” [2d int. conf. “Additive technologies: present and future”]. Moscow, FGUP VIAM Publ., 2016. 784 p. (in Russ.).
- [4] Baril E., Thomas Y., Hetu J.-F., Pelletier S. Powder injection molding (PIM) for low cost manufacturing of intricate parts to net-shape. 2006. URL: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a524692.pdf> (accessed 15.05.2016).
- [5] Heaney D. Handbook of metal injection molding. Woodhead Publishing Ltd, 2012. 586 p.
- [6] Injection Moulding MIM parts. URL: [http://www.cnder.com/Upload/PicFiles/2009.1.12\\_16.28.4\\_4954.jpg](http://www.cnder.com/Upload/PicFiles/2009.1.12_16.28.4_4954.jpg) (accessed 10.05.2016).
- [7] Application for MIM. URL: <http://www.design-chnology.org/injectionmoulding2.htm> (accessed 10.05.2016).
- [8] Khanina M.A., Ruslantsev A.N., Pervushin A.V., Semenov A.B., Semenov B.I. Synergistic approach to analysis and use of PIM-technology. *Tekhnologiya metallov*, 2015, no. 5, pp. 36–44 (in Russ.).
- [9] Ruslantsev A.N. Konstruirovaniye ustanovki i razrabotka rezhimov tsentrobezhnogo lit'ya stal'nykh detaley PIM-metodom dlya polucheniya izotropnykh i gradientnykh svoystv: Dis... magisterskaya [Setup designing and rotary casting modes development for steel parts using PIM-method for getting isotropic and gradient properties: Magister diss.]. Moscow, 2013. 97 p. (in Russ.).

**Romashov N.A.** — Master's Degree student of the Department of Foundry technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Karapuzov O.G.** — Master's Degree student of the Department of Foundry technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — A.B. Semenov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Professor of the Department of Foundry technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.