

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Муранова Александра Николаевича на тему:
**«Свойства порошково-полимерных смесей для инжекционного формования заготовок
деталей из хромомолибденовой стали»**,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Актуальность работы.

PIM-технология (Powder Injection Molding) – распространённый способ литья металлических (MIM-технология — Metal Injection Moulding) и керамических (CIM-технология — Ceramic Injection Moulding) изделий из мелкодисперсных порошковых композиций с полимерным связующим эффективно объединяет пластическое формование с порошковой металлургией и позволяет сочетать сложную геометрическую форму детали с ее высокими механическими свойствами.

Для изготовления деталей из порошковых материалов по PIM-технологии сначала требуется изготовить сырьё, называемое «фидсток» («Feedstock») – смесь мелкодисперсных металлических или керамических порошков с полимерной матрицей). Для изготовления фидстока порошковые смеси равномерно смешивают с полимерным связующим, нагревают и, таким образом, получают гранулированный материал. Фидсток при нагревании до 170-200°C превращают в единую массу, которую впрыскивают под давлением в пресс-форму, где под давлением происходит охлаждение и затвердевание материала с получением первичной заготовки-детали, которую называют «зеленой». Далее из «зелёной» заготовки удаляют полимерное связующее с помощью растворителя или выжигания в печи «дебиндинга». Деталь, полученная после удаления связующего, называется «коричневой». Заключительным этапом PIM-процесса является спекание «коричневых» заготовок в вакуумной печи. При спекании происходит уплотнение материала за счет слияния частиц и устранения пор и формирование готовой детали. Размеры конечной детали получаются меньше размеров «зеленой» детали за счет усадки.

В России практическое освоение этой перспективной технологии начато относительно недавно. Несмотря на то, что сведения о научно-теоретических основах технологии находятся в открытом доступе, конкретная информация прикладного характера, определяющая составы и характеристики используемых материалов, параметры технологических режимов, весьма ограничена, либо отсутствует вовсе. Подобная ситуация определяет необходимость исследования комплекса характеристик фидстоков – функциональных композиционных материалов, формируемых благодаря своим реологическим свойствам. Востребованным металлическим сплавом, детали из которого массово производятся MIM-методом на территории России, является сплав 38ХМА – отечественный аналог зарубежных сталей 42CrMo4 и 4140. Однако отечественное MIM-производство многих ответственных фасонных деталей из этого сплава остается для производителя проблемным. Таким образом, исследование и разработка порошково-полимерных смесей для инжекционного формования заготовок деталей из хромомолибденовой стали является актуальной задачей современного материаловедения.

Структура и объем работы:

Диссертационная работа Муранова А.Н. состоит из введения, пяти глав, заключения и общих выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и одного приложения. Работа изложена на 153 страницах машинописного текста, содержит 92 рисунка и 21 таблицу, список литературы включает 167 наименований, в приложении представлен акт о внедрении результатов диссертации.

Научная новизна работы.

Общая совокупность предложенных подходов, результатов исследований и разработанных методик, несомненно обладает научной новизной и вносит вклад в развитие теории и практики разработки порошково-полимерных смесей для инъекционного формования заготовок деталей из хромомолибденовой стали.

В диссертации:

- выявлена связь дефектов спеченных стальных МИМ-деталей с технологическими дефектами, обусловленными режимами инъекционного формования порошково-полимерных смесей;

- определены технологические различия порошково-полимерных смесей на основе связующего для каталитического способа удаления и со связующим для растворо-термического удаления;

- установлено, что шликеры на основе связующего растворо-термического типа обладают меньшей вязкостью, что может быть преимуществом при формовании тонкостенных изделий, однако отличающаяся в 1,5 раза чувствительность к градиенту скорости сдвига приводит к их меньшей устойчивости к «джетам» и ликвации компонентов при формовании изделий с элементами существенно различной площади сечения;

- проведено сравнительное исследование $p(T)$ -зависимостей для высоконаполненных полимерно-порошковых смесей со связующим растворо-термического и каталитического способа удаления и впервые установлена такая зависимость изменения давления от температуры $p(T)$, при которой порошково-полимерная смесь не претерпевает изменения своего удельного объема при формовании (нуль-изохора), что является необходимым условием компенсации объемной усадки формируемого материала на стадии подпитки и уплотнения композиционного полуфабриката.

Практическая значимость работы:

1. Показано, что химический состав спеченных деталей из аналогов стали 38ХМА, производимых методом инъекционного формования, отвечает требованиям допусков, установленных стандартами, а полученная МИМ-методом среднеуглеродистая хромомолибденовая сталь, обеспечивает твердость, не уступающую высококачественной конструкционной стали 38ХМА по ГОСТ 4543, что определяет возможность производства МИМ-технологией ответственных деталей из стали 38ХМА, обладающих при оптимальной себестоимости заданным уровнем свойств, сложной геометрической конфигурацией, высоким качеством поверхностей и размерной точностью.

2. Проведена квалификация порошково-полимерных смесей с различным типом связующего, полученные результаты могут служить основой для компьютерного моделирования и совершенствования процессов литья композиционных заготовок различной номенклатуры деталей из аналогов стали 38ХМА.

3. Определены рациональные диапазоны температур для всех стадий процесса инъекционного формования композиционных полуфабрикатов и получена зависимость изменения давления от температуры $p(T)$, при которой порошково-полимерные смеси не претерпевают изменения своего удельного объема при формовании (нуль-изохора).

4. Обосновано использование порошково-полимерных смесей со связующим растворо-термического типа удаления для формования полуфабрикатов с относительно крупногабаритными элементами в которых существует риск образования усадочных дефектов, а фидстоков со связующим каталитического типа удаления для формования композиционных полуфабрикатов с тонкостенными геометрическими элементами.

5. Предложен и опробован вариант состава смеси полимерного связующего для фидстоков на основе отечественной компонентной базы.

Рекомендации по внедрению: результаты работы могут быть использованы для совершенствования технологии и оптимизации параметров технологических режимов инъекционного литьевого формования деталей из порошковых аналогов стали 38ХМА.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность и обоснованность результатов работы обеспечена использованием взаимодополняющих методов исследования; согласием теоретических результатов с экспериментальными данными; апробацией полученных результатов работы.

Отдельные результаты диссертации были представлены на: Всеросс. научно-техн. конф. «Современные жаропрочные деформируемые никелевые и интерметаллидные сплавы, методы их обработки» (Москва, 2015 г.); на XL Академических чтениях по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых (Москва, 2016 г.); на Всеросс. научной конф. «Механика композиционных материалов и конструкций, сложных и гетерогенных сред» (Москва, 2015 и 2018 гг.); на IV-й Международной научно-практической конф. «Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн-2017» (Тамбов, 2017 г.); на V конф. молодых ученых «Реология и физико-химическая механика гетерофазных систем» (Москва, 2017 г.); на V Международной конф. «Аддитивные технологии: настоящее и будущее» (Москва, 2019 г.).

По теме диссертационной работы опубликовано 19 научных работ (7 тезисов докладов и материалов конференций и 12 статей), из них 3 статьи в БД Scopus и 9 статей в журналах из списка ВАК РФ.

Замечания и рекомендации.

К диссертации имеется ряд вопросов и замечаний:

1. В диссертации достаточно подробно рассмотрены вопросы разработки вариантов состава полимерного связующего для порошково-полимерных смесей, исследования свойств порошково-полимерных смесей, однако практически полностью отсутствует информация о технологии получения и технологических критериях качества порошково-полимерных смесей (равномерность распределения металлического порошка, однородность смеси и др.).

2. Существенным отличием рассматриваемой технологии является изменение объёмных параметров «зелёной», «коричневой» и окончательной металлической детали. Вопросы обеспечения размерно-габаритных требований на этапах технологического передела в корреляции с характеристиками полимерно-порошковой смеси недостаточно представлены в работе

3. В работе предоставлена весьма ограниченная информация по технологии спекания изделий. Обсуждается микроструктура, состав и качество спечённых деталей, полученных по одному технологическому режиму: «Образцы для исследования влияния ТО и ХТО на структуру и свойства спечённого аналога стали 38ХМА были изготовлены в условиях промышленного МИМ-производства и имели размеры 55×10×5 мм. Спекание образцов осуществлялось в течение 3 часов при температуре 1350 °С в атмосфере азота при абсолютном давлении 80 кПа». Представленные технологические параметры спекания даны без какого-либо обсуждения, как данность, хотя этот этап сам по себе является столь же важным, как и этапы предварительного инъекционного формования порошково-полимерных смесей и последующей ТО и ХТО.

4. Рассмотрены только примеры формирования в спечённой детали макродефектов, а информация по возможным микродефектам отсутствует. Например, на приведённых микроструктурах явно заметна пористость, но вопрос времени и условий её формирования, а также влияния на конечные механические свойства остаётся открытым.

5. В тексте диссертации имеется ряд ошибок технического, грамматического и логического плана:

- в П. 1 Научной новизны на стр. 5 диссертации в словосочетании «порошково-полимерных смесей» отсутствует слово «смесей»;

- на странице 50 диссертации: «...в объеме материала детали «Фиксатор» образуются макродефекты, которые могут оказаться недопустимыми для данного изделия», корректно – «недопустимые» макродефекты;

- на странице 53 диссертации: «...установленных стандартами на сталь 38ХМА и её аналоги», правильно – «и её аналогов».

- подрисуночная надпись к рисунку 3.21: «Изменение дефектности в различных сечениях спеченной детали «Фиксатор»:...», однако никаких данных по «изменению дефектности» на этом рисунке нет, о чём свидетельствует сам автор, утверждающий в тексте, непосредственно следующем за рисунком: «Выявленные макродефекты, сосредоточенные в центре цилиндрической части спеченной детали «Фиксатор», показаны на рисунке 3.21.»

- рисунки следует располагать в тексте по возможности сразу после их упоминания, однако рисунок 4.6 расположен после упоминания рисунка 4.7, хотя его расположение после упоминания вполне возможно.

Заключение:

Указанные замечания и рекомендации не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Автореферат диссертации отражает её содержание.

Основные положения диссертации в достаточной мере отражены в публикациях автора.

Диссертация Муранова А.Н. «Свойства порошково-полимерных смесей для инъекционного формования заготовок деталей из хромомолибденовой стали» является законченной научно-квалификационной работой, актуальность, научный уровень и практическая значимость которой соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Муранов Александр Николаевич, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Абузин Юрий Алексеевич, к.т.н., доцент

«17» мая 2021 г.

Специальность: 05.02.01 – «Материаловедение (машиностроение)», что в соответствии с Приказом Минобрнауки России от 23.10.2017 г. № 1027 (ред. от 23.03.2018) «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени» соответствует специальности 05.16.09 – «Материаловедение (машиностроение)».

Место работы: ООО «НАНОКОМ»

Должность: директор по науке

Адрес: 143026, г. Москва, тер инновационного центра Сколково, б-р Большой, д. 42, стр. 1, помещение 841;

Тел.: +7 (915) 111-68-88;

E-mail: 23103102@mail.ru.

Подпись Абузина Ю.А. заверяю:

Д.А. Филиппов
Генеральный директор
ООО «НАНОКОМ»

