

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, профессора Столина Александра Моисеевича
на диссертационную работу Муранова Александра Николаевича по теме
«Свойства порошково-полимерных смесей для инъекционного формования
заготовок деталей из хромомолибденовой стали», представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

В настоящее время в металлургии бурно развивается новое направление – технология инъекционного литья полимерно-порошковых смесей, которая позволяет эффективно обеспечить массовое производство точных малогабаритных сложнопрофильных деталей, обладающих оптимальной себестоимостью и заданным комплексом свойств. Совершенствованию этой технологий уделяется большое внимание в ведущих научных центрах и промышленных фирмах Западной Европы, США, Японии и других стран. Основная проблема развития этих технологий у нас в стране состоит в обеспечении требуемой структуры фасонных заготовок ответственных деталей, называемых фидстоками, состоящих из смеси полимерного связующего и порошков металлов (МММ-технология) или керамики (СММ-технология). В мировом производстве сейчас используются тысячи различных марок материалов фидстоков, среди которых практически отсутствуют материалы на сырье из России.

В связи с этим актуальной задачей является разработка рецептур и технологии изготовления МММ-гранулятов из отечественного сырья. При этом разнообразие возможных сочетаний дисперсного наполнителя и полимерной смеси связующего приводит, как количественно, так и качественно, к существенному различию тех свойств фидстоков, которые влияют на выбор технологических режимов переработки и определяют качество конечной продукции – серийно производимых МММ-методом металлических деталей. Следует подчеркнуть, что трудности в определении требуемых технологических режимов возникают, даже при использовании фидстоков, производимых на продажу мировыми лидерами МММ-индустрии, если характеристики фидстоков не известны. Подбор технологических режимов путем опытно-технологической отработки не всегда приводит к возможности выпуска качественных деталей.

Диссертационная работа Муранова А.Н. посвящена исследованию свойств порошково-полимерных смесей для выбора рациональных технологических режимов формования композиционных заготовок деталей из металлов и сплавов (МММ-технология), а также разработки смеси связующего на основе полимеров отечественной номенклатуры, пригодных для растворо-термического способа удаления из композиционных порошково-полимерных заготовок. Разработка фидстоков на отечественном сырье является стратегической задачей в развитии высокотехнологичных способов литья. Всё это определяет актуальность темы диссертационной работы Муранова А.Н.

Диссертационная работа Муранова А.Н. состоит из введения, пяти глав, заключения и общих выводов по работе, в приложении представлен акт практического внедрения отдельных результатов диссертационной работы. Работа изложена на 153 страницах машинописного текста, содержит 92 рисунка и 21 таблицу, список литературы включает

167 наименований. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации и совместно с опубликованными работами в полной мере отражает её содержание. Основные результаты диссертации опубликованы в 19 научных работах (7 тезисах докладов и материалах конференций и 12 статьях), из них 3 статьи в БД Scopus и 9 статей в журналах из списка ВАК РФ. Достоверность и обоснованность результатов работы обеспечена использованием взаимодополняющих методов исследования; согласием теоретических результатов с экспериментальными данными; апробацией полученных результатов работы.

Для достижения цели работы диссертантом были решены следующие задачи:

1. Разработаны варианты состава полимерного связующего для порошково-полимерных смесей на основе российской компонентной базы.

2. Исследованы характеристики порошково-полимерных смесей (фидстоков), определяющих их технологичность и качество полученных инъекционным формованием композиционных заготовок деталей из стали 38ХМА.

3. Проведен сравнительный анализ технологичности порошково-полимерных смесей на основе полимерного связующего, предназначенного для различных способов удаления.

4. Исследованы химический состав, микроструктура и качество деталей из стали 38ХМА, полученных МИМ-методом.

К числу новых научно обоснованных технологических решений и разработок, имеющих существенное практическое значение, относятся следующие результаты диссертационной работы:

Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертации

К числу наиболее значимых результатов, определяющих **научную новизну диссертационной работы**, относятся следующие результаты:

- Впервые показано, что использование порошково-полимерных смесей со связующим растворно-термического типа удаления более предпочтительно для формования полуфабрикатов с относительно крупногабаритными элементами, в которых существует риск образования усадочных дефектов. Использование порошково-полимерных смесей со связующим каталитического типа удаления, целесообразно рекомендовать для формования композиционных полуфабрикатов с тонкостенными геометрическими элементами.

- В результате математической обработки экспериментальных изобар порошково-полимерных смесей в диссертации были впервые получены их изохоры и изотермы, что позволило определить такую 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 формуемого материала на стадии подпитки и уплотнения композиционного полуфабриката детали.

Значимость диссертации для практики определяется тем, что в процессе работы над диссертацией предложен вариант состава полимерной смеси связующего для порошково-полимерных смесей на основе российской компонентной базы. Опытнотехнологическая апробация разработанного состава полимерной смеси связующего в полном производственном цикле МИМ-технологии (от изготовления фидстока до получения готовой спечённой детали), показала пригодность разработанного связующего для использования с порошковыми наполнителями различной морфологии и химической природы частиц: стали, никелевые жаропрочные сплавы, керамика.

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), что является необходимым условием для компенсации объемной усадки материала на стадии подпитки и уплотнения композиционного полуфабриката. Полученные результаты исследования теплофизических, механических, реологических и pVT -характеристик являются основой для компьютерного моделирования и оптимизации процессов литья композиционных заготовок различной номенклатуры отечественных деталей из аналогов стали 38ХМА.

Замечания по содержанию диссертации

При общей положительной оценке диссертации и ее несомненных достоинствах считаю необходимым сделать следующие замечания:

1. К сожалению, в литературном обзоре автор не упоминает многие пионерские работы, посвященные изучению и математическому моделированию свойств высоконаполненных многофракционных зернистых композитов, выполненные в середине прошлого века. В связи с этим можно было сослаться на ряд работ выдающегося ученого Валерия Варфоломеевича Мошева, в частности на три его монографии: "Реологическое поведение концентрированных неньютоновских суспензий", "Структурная механика зернистых композитов на эластомерной основе", "Структурные механизмы формирования механических свойств зернистых полимерных композитов", получившие заслуженное признание в научном мире. Исследования особенностей взаимодействия и разрушения в больших ансамблях твердых включений вызвали в свое время значительный интерес среди специалистов в области механики структурно-неоднородных сред и являются актуальными и сегодня. Разработанные концепции, подходы и методы исследования позволили получить фундаментальные научные результаты и объяснить ряд закономерностей в поведении композиционных материалов. Таким образом были заложены научные основы для разработки порохов, ракетных топлив и зарядов из них для широкого класса изделий вооружения.

2. При конструировании пресс-форм, используемых при литье под давлением, необходимо учитывать изменение плотности расплава при воздействии давления и температуры перерабатываемого материала. Однако автор не затрагивает конкретные проблемы прессуемости фидстоков. В диссертации нет сведений о распределении плотности по объему заготовки, какое прессовое оборудование, оснастка, экспериментальная схема и режим прессования используется. Большое влияние на эффективность прессования оказывают силы внешнего трения: от их величины, направленности и характера распределения по контактным поверхностям инструмента зависят напряженно-деформированное состояние материала, характер его деформирования и усилие, необходимое для реализации процесса уплотнения. С наличием внешнего трения связаны потери усилия прессования по высоте заготовки, что обуславливает неравномерное распределение плотности. Это оказывает негативное влияние на качество получаемых изделий, т.к. их форма может иметь сильные отклонения от требуемой геометрии. Между тем, свойства и структура синтезированного материала зависят от разноплотности, причем эти связи могут оказаться весьма своеобразными и приводить к неожиданным последствиям. Игнорирование этой проблемы вносит некоторую неопределенность в

трактовку экспериментальных результатов на стадии подпитки и уплотнения композиционного полуфабриката.

3. Диссертация оформлена достаточно аккуратно, но имеется ряд замечаний:

- на последней странице автореферата в списке опубликованных по теме диссертации статей при их нумерации вместо номера 8 ошибочно указано 7;
- в последнем абзаце текста на странице 15 автореферата вместо ссылки на Рис.10б ошибочно дана ссылка на Рис.11б;
- на рисунке 14б в автореферате (стр. 19) и на рисунке 4.39а в диссертации (стр. 110) не обозначены две линии уровня.

Отмеченные недостатки не снижают научной и практической значимости выполненных **А.Н. Мурановым** исследований. Диссертационная работа содержит достаточное количество исходных данных, имеет пояснения, рисунки, графики, примеры, описания технологических процессов. Диссертация написана хорошим языком, технически квалифицированно и аккуратно оформлена. Автореферат полностью соответствует выводам, содержащимся в диссертационной работе. Что самое главное, автор диссертации успешно внедряет научные и технологические результаты получения изделий в реальные сектора экономики России.

Мнение о научной работе целом.

В целом **А.Н. Мурановым** выполнено законченное научное исследование большого объема. Диссертационная работа содержит достаточное количество исходных данных, имеет пояснения, рисунки, графики, примеры, описания технологических процессов. Диссертация написана хорошим языком, технически квалифицированно и аккуратно оформлена. Автореферат полностью соответствует выводам, содержащимся в диссертационной работе.

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что диссертационная работа **А.Н. Муранова** отвечает требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Заключение по отзыву.

Анализ диссертации «Свойства порошково-полимерных смесей для инъекционного формования заготовок деталей из хромомолибденовой стали» позволяет заключить, что её автор – Муранов Александр Николаевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы», так как по уровню и актуальности решаемых задач, научной новизне и практической значимости его диссертация является законченной научно-квалификационной работой, полностью соответствующей п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденному Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 «О порядке присуждения ученых степеней».

Официальный оппонент - Столин Александр Моисеевич.

Доктор физико-математических наук, профессор, специальность 01.04.17 – «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества», заведующий лабораторией пластического деформирования неорганических материалов ФГБУН «Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной

макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук» (ИСМАН).

Адрес: 142432, Россия, Московская область, Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, 8.
Тел.: 8(916) 708-14-50. E-mail: amstolin@ism.ac.ru

д.ф.-м.н., профессор

Столин А.М.

Подпись Столина А.М. удостоверяю
Заместитель директора ИСМАН, д-р техн. наук



П.М.Бажин