

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Геращенко Дмитрия Анатольевича на тему «Разработка технологического процесса нанесения покрытий методом «холодного» газодинамического напыления на основе армированных порошков системы $\text{Al-Sn+Al}_2\text{O}_3$ », представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

Обеспечение длительной эксплуатации рабочих элементов и узлов в машиностроении является априори актуальной задачей. Разработка эффективных функциональных покрытий посвящается большое число исследований, в том числе и рецензируемая. Среди различных методов создания антифрикционных покрытий диссертант останавливается на методе «холодного» газодинамического напыления (ХГДН), применение которого снижает вероятность возникновения негативных термических напряжений, вызывающих возникновение в покрытии трещин и других дефектов. Актуальной системой для выбранного метода автор считает систему Al-Sn в качестве матричной основы и высокотвердый наполнитель $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ – корунд.

В главе 1 Геращенко Д.А. осуществляет анализ разнородных технологий и процессов создания целевых покрытий, отмечает положительные и негативные стороны каждого из них. Можно констатировать достаточную обоснованность выбора ХГДН и систему $\text{Al-Sn+Al}_2\text{O}_3$ для разработки мобильной технологии с широким спектром эксплуатационных параметров, изменяемым за счет создания в различных механоактиваторах гетерофазных гранул регулируемой дисперсности и концентрации наполнителя.

В этой связи следует отметить большой перечень применяемых матричных сплавов и отличие их подготовки. Особое внимание автор уделяет описанию эжекторного распыления сплавов выбранных металлических компонентов, обеспечивающего при закалке частиц при скорости охлаждения $\sim 10^3$ К/с высокодисперсное (включая наноразмерное) состояние.

Вх. № <u>3972</u>	Исполнено
<u>26</u> <u>11</u> <u>20</u> <u>15</u> г.	В ДЕЛО
Основн. <u>6</u> г.	№ _____
Прил. _____ л.	подп. _____

Для создания композиционных порошковых гранул матричный сплав - $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ в работе диссертант использует различные механоактиваторы – планетарную мельницу, чашечный истиратель, дезинтегратор. Различные принципы механического воздействия на смесь приводят к консолидации компонентов за счет сцепления поверхностей пластичной матрицы и наполнителя осколочной формы. Рецензенту кажется, что такая консолидация не может быть отнесена к явлению «механохимии» как это делает диссертант.

Ориентация на использование композиции Al–12%Sn не позволила при нанесении методом ХГДН получить покрытие толщиной > 10 мкм. Это вынудило диссертанта провести поиск дополнительных ингредиентов, введение которых обеспечивает искомые свойства пластичной матрицы с использованием частиц «легирующих» компонентов, различных методов механического смешивания, при этом особое внимание уделяется системе Al–Sn–Zn, было установлено, что применённые механические воздействия не приводят к изменению фазового состава «сплава», т.е. ожидаемый «механохимический» эффект не реализуется.

Дальнейшее изучение технологии связано с использованием порошков сплавов с переменным содержанием олова и цинка при постоянной концентрации алюминия, полученных распылением расплава в газовой среде с резким охлаждением частиц. Применяя современные методы анализа, установлены фазовый состав (твёрдый раствор алюминия и цинка и самостоятельная фаза $\beta\text{-Sn}$), дисперсность частиц в пределах 20-60 мкм, что на порядок выше дисперсности частиц вводимого армирующего корунда ($d \approx 3\div 5$ мкм). Определены микротвёрдость матричного сплава в зависимости от концентрации Zn и Sn. Следует заметить, что микротвёрдость сплавов понижается с ростом концентрации олова, т.е. пластичность сплава при этом возрастает. Остается непонятным утверждение диссертанта о пластифицирующей роли Zn, растворенного в алюминии.

Убедившись в перспективности использования порошков изучаемой системы, получаемых эжекторным распылением, автору разработки удастся по-

лучить в промышленных условиях (Волгоградский алюминиевый завод) порошки указанных выше составов. Эти порошки охарактеризованы по дисперсности, структуре, фазовому составу.

Важной частью диссертационного исследования является отработка получения композиций, в которых матричные частицы ($d \approx 20 \div 60$ мкм) «упрочнены» частицами наполнителя, концентрация которых изменяется в широких пределах.

Применение различных условий дезинтеграторной обработки в широком диапазоне параметров вращения роторов – не приводит к удовлетворительному армированию пластичной компоненты. Обработка в планетарной мельнице не реализует высокоэнергетических ударных нагрузок и также не обеспечила получение армированных гранул нужной дисперсности и содержания наполнителя. Наиболее благоприятные параметры композиционных порошков получены при использовании чашечного истирателя, хотя полного объединения частиц пластичной матрицы и наполнителя также не наблюдается, т.к. имеются свободные частицы корунда.

Большую оригинальную информацию содержит четвертая глава диссертации, посвященная описанию конструкции установки для напыления покрытий методом ХГДН, применяемых метрологических приемов оценки температуры, высокоскоростного потока частиц. Обработка потребовала использование различных физических явлений и закономерностей, необходимых для оценки скорости частиц, оценки температуры, при которой частицы достигают поверхности подложки.

Уникальный стенд, созданный рабочей группой специалистов СПбГУ, в которой принимал непосредственное участие диссертант, позволяет контролировать температурно-скоростные параметры процесса и тем самым управлять напылением функциональных покрытий по заданной программе.

На описанной установке диссертант осуществил оригинальную разработку технологии нанесения износостойких покрытий, последовательно изучив

структуру и свойства покрытий, получаемых при различных параметрах напыления – температура, скорость газового потока, расстояние от сопла. Установленные параметры покрытий с однородной структурой для матричных сплавов были применены для разработки покрытий, содержащих наполнитель $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Равномерность структуры, неизменность фазового и химического состава подтверждены данными рентгеноструктурного анализа.

Экспресс показателем свойств покрытий автор выбрал микротвердость покрытий. Для рассматриваемых в диссертации композитных покрытий установлена ожидаемая закономерность – увеличение твердости с ростом концентрации $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ -наполнителя. Однако способ их изготовления для напыления играет важную роль – так, только обработка порошков в чашечном истирателе обеспечивает максимальную твердость – 240 HV.

Учитывая особенности метода получения покрытий, диссертант обращает внимание на такую характеристику структуры как пористость покрытий – собственно матричных сплавов и композитных. Если для всех матричных сплавов пористость колеблется в пределах 0,5÷3,0%, то для механической смеси с корундом в зависимости от концентрации пористость (и размер пор) существенно возрастает. Композитные покрытия, напылённые из гранул, полученных в различных механоактиваторах, демонстрируют значения пористости, близкие к таковым у покрытий из матричного материала, причем рост концентрации $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ практически не сказывается. Более подробно на этом интересном эффекте диссертант не останавливается.

При изучении адгезионной прочности установлено, что сплав, полученный эжекторным распылением, обладает максимальной адгезией. Он и был рекомендован в качестве матричного материала для получения композитных гранул. По принятой методике были изучены свойства покрытий из гранул, подготовленных в различных механоактиваторах. Хотя адгезионная прочность оказалась на одном уровне, но с учетом большой твердости, для создания функционально-градиентного покрытия был выбран материал С9И70.

На установке «Димет», обеспечивающей автоматическую работу дозаторов по заданной программе, и установленных температурно-скоростных режимов напыления частиц были получены многослойные покрытия, в которых по мере удаления от основы растёт содержание $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и микротвёрдость покрытия. Изучение трибологических характеристик – коэффициента трения от состава и нагрузки, износостойкости – позволило констатировать перспективность применения этого покрытия на практике защиты деталей от износа. Оценены предельные нагрузки, не вызывающие разогрев контртела, отмечено отсутствие признаков нагрева испытуемого образца с покрытием.

Завершается диссертация анализом осуществлённых методов оптимизации некоторых параметров технологии (расход напыляемого порошка, угла наклона сопла, скорости сканирования и др.), а также приведены примеры применения разработанного покрытия и технологии его нанесения в различных технических решениях, ремонтных работах.

По работе можно сделать, помимо вышесказанных в тексте отзыва, основное замечание относительно не всегда удачно применение термина «механосинтез».

Таким образом, проведены комплексные исследования в соответствии с целью и поставленными задачами, работы выполнены полностью, а достигнутые результаты носят характер существенной научной новизны в части состава и способа получения композиционных порошков, установления температурно-скоростных параметров процесса напыления и изучения функциональных зависимостей свойств полученных покрытий со структурой и параметрами напыления.

Практическая значимость работы базируется на разработке нормативной документации и реализации технологических рекомендаций при выполнении конкретных заказов отечественных и зарубежных предприятий.

Завершая анализ диссертации Геращенко Д.А., констатирую, что им выполнено безусловно имеющее большое значение для практики исследование. Результаты и выводы базируются на большом экспериментальном материале,

объективность данных гарантируется использованием современных методов исследования, современного аналитического оборудования. Новизна разработок автора подтверждена 8 патентами, отражена в 17 статьях. Статьи и автореферат отражают содержание диссертации.

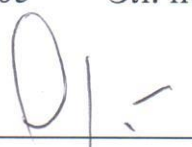
Таким образом, диссертационная работа Геращенко Дмитрия Анатольевича является законченной научно-квалификационной работой, соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)»,

Адрес: 190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 26

Тел. (812) 316-67-65 Эл. почта: ceramic-departmet@yandex.ru


_____ Орданьян Сукас Семенович
25.11.2015

Подпись Орданьян С.С.
начальник отдела кадров удостоверяю


А.А. Яковлев