

REVIEW

of a foreign scientific consultant for a dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (Ph.D.) in the specialty 8D05301-Technical Physics

Dissertation candidate: **Khozhanov Alexandr Rafaelevich**

Thesis title: **“Robotic microplasma spraying of functional coatings with specified structure and properties”**

Currently, the problems of obtaining coatings with a tailored structure and properties as well as the tasks of improving the technologies for obtaining functional coatings are in the focus of attention of researchers, both materials scientists and production specialists. The dissertation was completed on a relevant and practically significant topic in the framework of projects with state budget (grant) funding of the Republic of Kazakhstan for 2022-2024 AP I3068317 “Development of new robot-manipulator control algorithms for 3D scanning technologies and additive microplasma spraying of coatings” (the project leader - Dr. Kadyroldina A.) and AP14869862 “Reliability Enhancement of Medical Implants Through Using Innovative Manufacturing and Coating Techniques” (the project leader - Dr. Safarova Y.)

In this dissertation, a new robotic method of microplasma spraying (MPS) of coatings with the movement of a microplasmatron along a given 3D model of the substrate was developed and tested. It was proved that this approach exhibit many advantages over previously known solutions. Moreover, proposed technology makes it possible precise observation and control of the MSP key parameters as the linear speed of movement of the microplasmatron and the spraying distance, with the choice of optimal MPS parameters based on factor planning and regression analysis, which provided coatings with controlled thickness, porosity and good adhesion to the substrate.

The correctness of the new approaches proposed in the dissertation has been tested in practice. All developed technical solutions have a high scientific level, which is confirmed by solid publications on the research topic, obtaining a patent for a utility model of the Republic of Kazakhstan and an act of production tests.

The main new scientific results proven in the dissertation and in publications on the research topic are the following:

1. New regularities of the influence of the MPS parameters on the efficiency of spraying and the characteristics of the porosity of a number of functional coatings have been established, it has been proved that the spraying distance, the current strength and the flow rate of the plasma-forming gas have the greatest influence on the coating porosity and the material utilization factor. It has been confirmed that, through variation and control of the MPS parameters, it is possible to obtain coatings with desired porosity characteristics and satisfactory adhesion to the substrate. The optimal MPS parameters for the production of certain types of coatings by the robotic MPS method are recommended.

2. A new method has been developed for robotic MPS of zirconium coating on a titanium medical implant, which makes it possible to spray a coating with a uniform thickness of up to 400 μm with a given porosity of 20% and a pore size of up to 300 μm by moving a microplasmatron mounted on a robot manipulator along a given 3D model of an implant with exact observance of MPS parameters selected according to the factorial design of the experiment.
3. A set of new test results of the MPS robotic system has been obtained, showing the advantages in the accuracy of the execution of technological processes in comparison with existing solutions (semi-automatic, manual MPS). The robot-manipulator moves the microplasmatron along the 3D model of the workpiece being treated with plasma, accurately maintaining the distance of spraying, the speed of movement and the perpendicularity of the plasma jet falling on the surface of the workpiece, providing a given range of porosity and uniformity of the thickness of the sprayed coating.

The content of the dissertation is fully consistent with the specialty "Technical physics". The dissertation and the results obtained in it are characterized by internal unity: the goals and objectives of the study are clearly formulated, and it is shown that each result is obtained when performing a specific task and serves to achieve the set goal of the study. All results are logically interconnected, that is, they are achieved consistently and are necessary. The dissertation is consistent and coherent, the theoretical approaches of the dissertation serve to provide the desired practical results.

The results of the research presented in the dissertation were obtained by the author personally. Personal participation of the dissertation candidate Khozhanov A.R. in obtaining the results was comprehensive - from participation in the planning of the experiment and its implementation, to the formulation and discussion of the results of the study and the provisions submitted for defense.

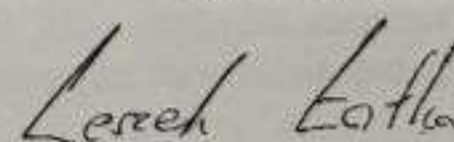
The results of the dissertation, confirming its main scientific provisions and conclusions, have been fully published in peer-reviewed scientific journals. Khozhanov A.R. has a Hirsch index of 1 according to the Scopus database.

Thus, the dissertation of Khozhanov A.R. in terms of scientific novelty, completeness and significance of the results meets the requirements of the "Rules for awarding academic degrees" of the Committee for Quality Assurance in the Field of Science and Higher Education of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, for papers submitted for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) and is recommended for public defense.

Dissertation candidate Khozhanov Alexandr Rafaelevich is worthy of awarding him with the scientific degree of Doctor of Philosophy (Ph.D.) in the specialty 8D05301-Technical Physics.

Ph.D., DSc. Eng. Professor
Faculty of Mechanical Engineering,
Wrocław University of Science and Technology,
5 Łukasiewicza St., 50-371 Wrocław, Poland
Email: leszek.latka@pwr.edu.pl

Leszek Łatka



ОТЗЫВ

зарубежного научного консультанта на диссертационную работу
Хожанова Александра Рафаэлевича

на тему: «Формирование функциональных покрытий с заданной структурой и свойствами методом роботизированного микроплазменного напыления»,
представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности
8D05301-«Техническая физика»

В настоящее время вопросы получения покрытий с заданной структурой и свойствами и задачи совершенствования технологий производства функциональных покрытий находятся в центре внимания ученых – материаловедов и специалистов производств. Диссертация выполнена на актуальную и практически значимую тему в рамках проектов с госбюджетным (грантовым) финансированием Республики Казахстан на 2022 – 2024 годы № AP13068317 «Разработка новых алгоритмов управления роботоманипулятором для технологий 3D сканирования и аддитивного микроплазменного напыления покрытий» (руководитель проекта д-р Кадыролдина А.) и № AP14869862 «Инновационные технологии изготовления покрытий для совершенствования медицинских имплантатов» ((руководитель проекта д-р Сафарова Й.).

В работе Хожанова А.Р. разработан и апробирован новый, имеющий преимущества по сравнению с ранее известными решениями, роботизированный метод микроплазменного напыления (МПН) покрытий с перемещением микроплазматрона вдоль заданной 3D-модели подложки с прецизионным соблюдением таких ключевых параметров МПН как линейная скорость перемещения микроплазматрона и дистанция напыления, с выбором оптимальных параметров МПН на основе факторного планирования и регрессионного анализа, что обеспечило получение покрытий с контролируемой толщиной, пористостью и хорошей адгезией к подложке.

Корректность предложенных в диссертации новых подходов проверена на практике. Все предложенные технические решения выполнены на высоком научном уровне, что подтверждается высоким уровнем публикаций по теме исследования, наличием патента на полезную модель Республики Казахстан и акта производственных испытаний.

Основными новыми научными результатами, доказанными в диссертации и в публикациях по теме исследования, являются следующие:

1) Установлены новые закономерности влияния параметров МПН на эффективность напыления и характеристики пористости функциональных покрытий из биосовместимых и терморезистивных материалов, показано, что наибольшее влияние на характеристики пористости и коэффициента использования материала покрытия оказывают дистанция напыления, сила тока и расход плазмообразующего газа, подтверждено, что управляя параметрами МПН можно получать покрытия с желаемыми характеристиками пористости и удовлетворительной адгезией к подложке, рекомендованы конкретные параметры МПН, оптимальные для получения определенного типа покрытий.

2) Разработан новый способ роботизированного МПН циркониевого покрытия на металлическую титановую основу медицинского имплантата, позволяющий получить покрытие с равномерной толщиной 400 мкм и с заданными характеристиками пористости порядка 20% и размерами пор до 300 мкм посредством перемещения роботоманипулятором микроплазменного источника по заданной 3D - модели имплантата с постоянной заданной скоростью и точным соблюдением выбранных на основе факторного планирования параметров МПН.

3) Получена совокупность новых результатов апробации роботизированной системы МПН, показывающая преимущества в точности выполнения технологических

процессов по сравнению с существующими решениями (полуавтоматическое, ручное МПН). Робот-манипулятор перемещает микроплазмотрон вдоль 3Д-модели обрабатываемого плазмой изделия с точным соблюдением дистанции напыления, скорости перемещения и перпендикулярности падения плазменной струи на поверхность изделия, обеспечивая заданный диапазон пористости и равномерность толщины напыляемого покрытия.

Название диссертации соответствует паспорту специальности и ее содержанию. Диссертация и полученные в ней результаты характеризуются внутренним единством: четко сформулированы цели и задачи исследования, и показано, что каждый результат получен при выполнении конкретной задачи и служит достижению поставленной цели исследования. Все результаты логически взаимосвязаны между собой, то есть достигаются последовательно и являются необходимыми. Четко прослеживается логика, отражающая единство теоретических построений диссертации и практических результатов работы.

Результаты научного исследования, изложенные в диссертации, были получены автором самостоятельно. Личное участие Хожанова А.Р. в получении результатов, изложенных в диссертации, было всесторонним - от участия в планировании эксперимента и его выполнения, до формулировки и обсуждения результатов исследования и положений, выносимых на защиту.

Результаты диссертации, подтверждающие ее основные научные положения, выводы и заключение были полно опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Хожанов А.Р. имеет индекс Хирша 1 по базе Scopus по научным направлениям диссертации.

Таким образом, диссертационная работа Хожанова А.Р. по научной новизне, полноте, значимости полученных результатов соответствует требованиям «Правил присуждения ученых степеней» Комитета по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, предъявляемым к работам, представленным на соискание степени доктора философии (PhD), и рекомендуется к публичной защите.

Диссертант Хожанов Александр Рафаэлевич достоин присвоения ему ученой степени доктора философских наук (Ph.D.) по специальности 8D05301-Техническая физика.

Доктор философии, доктор технических наук, профессор (подпись) Лешек Латка
Машиностроительный факультет,
Вроцлавский университет науки и технологии,
ул. Лукасевича 5, 50-371 Вроцлав, Польша
Электронная почта: leszek.latka@pwr.edu.pl

Перевод с английского языка на русский язык выполнен переводчиком Адылкановой Гульнарой Секеновной

Артурсавольевич Иришев



Республика Казахстан, город Семей, область Абай.

Двадцать восьмое октября две тысячи двадцать третьего года.

Я, Лепесова Гульназ Максатовна, нотариус нотариального округа области Абай, лицензия №17017983 от 19 октября 2017 года, выданная Министерством Юстиции Республики Казахстан, свидетельствую подлинность подписи переводчика Адылкановой Гульнары Секеновны. Личность переводчика установлена, дееспособность и полномочия проверены.



Зарегистрировано в реестре за №6566
Взыскано: 103,5+1725 тенге

Нотариус



ET090591500029223737587490343

Нотариаттық іс-әрекеттің бірегей нөмірі / Уникальный номер нотариального действия