

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"**

Nowadays, the development of new technologies for obtaining functional coatings with a given structure and properties is in the focus of attention of researchers and the scientific community. The dissertation was written on a relevant and practically significant topic within 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" and AP I3068317 "Development of new robot-manipulator control algorithms for 3D scanning technologies and additive microplasma spraying of coatings". The title and content of the dissertation are fully consistent with the specialty 8D05301-"Technical Physics".

Khozhanov A.R. has developed and tested a new, robotic method of microplasma spraying (MPS) of coatings, which has advantages over previously known solutions. The new approach consists, firstly, in selecting the optimal MPS parameters based on factor planning and regression analysis, and secondly, in providing coatings with controlled porosity, uniform thickness and good adhesion to the substrate due to the robotic movement of the microplasmatron along a given 3D substrate models with precise observance of the spray distance and the linear velocity of the plasma jet movement over the surface of the product.

All technical solutions proposed in the dissertation are made at a high scientific level. This is confirmed by a patent for a utility model of the Republic of Kazakhstan and an act of production testing of a crushing plate with a coating sprayed using a new method, as well as a high level of Khozhanov's publications on the research topic.

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

- 1) New patterns of influence of MPS parameters on the efficiency of spraying and characteristics of porosity of functional coatings made of biocompatible and thermoresistive ceramic materials have been established, it has been shown that the spraying distance, current strength and plasma-forming gas flow rate have the greatest influence on the characteristics of porosity and coefficient of utilization of the coating material. It has been confirmed that by controlling the MPS parameters it is possible to obtain coatings with the desired porosity characteristics and satisfactory adhesion to the substrate. Specific MPS parameters are recommended, which are optimal for obtaining a certain type of coatings.
- 2) A new method of robotic MPS of zirconium coating on a titanium base of a medical implant has been developed, which makes it possible to obtain a coating

with a uniform thickness of 400 μm and with specified characteristics of 20% porosity and pore sizes up to 300 μm by moving a microplasmatron by a robotic manipulator along a given 3D model of an implant with constant predetermined speed and exact observance of the MPS parameters selected on the basis of factor planning.

3) A set of new results of testing the robotic MPS 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 robotic arm moves the microplasmatron along the 3D model of the workpiece being treated with plasma, accurately maintaining the spraying distance, movement speed and perpendicularity of the plasma jet falling on the workpiece surface, providing a given range of porosity and uniformity of the thickness of the sprayed coating.

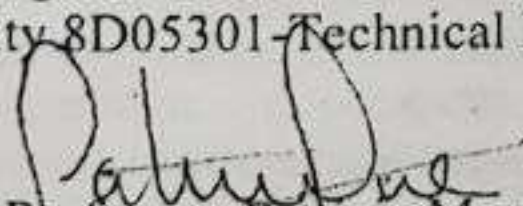
The dissertation is characterized by consistency and coherence, it clearly formulates the goals and objectives of the study, and shows that each result is obtained when performing a specific task and serves to achieve the goal of the study. It is shown that all results are achieved consistently and are necessary. The theoretical approaches of the dissertation successfully serve the achievement of practical goals.

The results of the scientific research presented in the dissertation were obtained by Khozhanov A.R. on one's own.

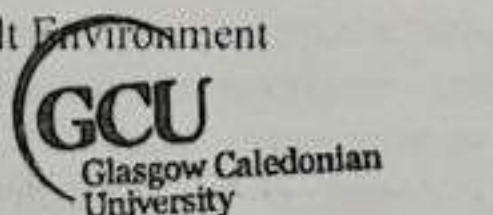
The results of the dissertation, confirming its main scientific provisions and conclusions, were fully published in peer-reviewed scientific journals, in particular, 5 articles were published in journals indexed in the Web of Science and / or Scopus data base with a percentile of at least 36% (Scopus) in the scientific areas of the dissertation.

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., Professor Patricia Munoz-De Escalona

Glasgow Caledonian University
School of Computing, Engineering and Built Environment
Cowcaddens Road, G4 0BA, Glasgow UK
Email: patricia.munoz@geu.ac.uk



University for the Common Good

School of Computing Engineering and Built Environment
Glasgow Caledonian University, Cowcaddens Road, Glasgow G4 0BA

ОТЗЫВ

зарубежного научного консультанта на диссертационную работу
Хожанова Александра Рафаэльевича

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 разработка новых технологий получения функциональных покрытий с заданной структурой и свойствами находится в центре внимания исследователей и научной общественности. 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 роботом-манипулятором для технологий 3D сканирования и аддитивного микроплазменного напыления покрытий» и № AP14869862 «Инновационные технологии изготовления покрытий для совершенствования медицинских имплантатов». Название диссертации соответствует содержанию специальности 8D05301-«Техническая физика».

Хожанов А.Р. разработал и апробировал новый, роботизированный метод микроплазменного напыления (МПН) покрытий, имеющий преимущества по сравнению с ранее известными решениями. Новый подход заключается, во-первых, в выборе оптимальных параметров МПН на основе факторного планирования и регрессионного анализа, во-вторых, в обеспечении получения покрытий с контролируемой пористостью, равномерной толщиной и хорошей адгезией к подложке за счет с роботизированного перемещения микроплазматрона вдоль заданной 3D-модели подложки с прецизионным соблюдением дистанции напыления и линейной скорости перемещения плазменной струи по поверхности изделия.

Все технические решения, предложенные в диссертации, выполнены на высоком научном уровне. Это подтверждается наличием патента на полезную модель Республики Казахстан и акта производственных испытаний плиты с покрытием, напыленным по новому методу, а также высоким уровнем публикаций по теме исследования.

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 роботом-манипулятором 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.

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 Хожановым А.Р. самостоятельно.

Результаты диссертации, подтверждающие ее основные научные положения, выводы и заключение были в полном объеме опубликованы в рецензируемых научных изданиях, в частности 5 статей опубликованы в журналах, индексируемых в Web of Science and/or Scopus data base с процентилем не ниже 36% (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, профессор
Каледонский университет Глазго,

(подпись)

Патрисия Муньос Де Эскалона

Школа вычислительной техники, инженерии и искусственной среды

Улица Каукэдденс, G4 0B A, Глазго, Великобритания

Электронная почта: patricia.munoz@gcu.ac.uk

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

Адылканова Гульнара Секеновна



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 №6565
Взыскано: 103,5+1725 тенге

Нотариус



ET080591593008213021287490343

Нотариаттық іс-әрекеттің бірегей нөмірі / Уникальный номер нотариального действия