

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ 212.224.14
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № _____
Решение диссертационного совета от 23.12.2020 г. №17

О присуждении **Ильинскому Александру Вячеславовичу**, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Совершенствование метода динамического индентирования и средств контроля твердости материалов изделий, выполненных по аддитивным технологиям» по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий принята к защите 12.10.2020 г., протокол заседания №09, диссертационным советом ГУ 212.224.14 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России; 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2; приказ № 1232 адм. от 23.09.2019.

Соискатель, Ильинский Александр Вячеславович, 1992 года рождения, в 2016 году окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» Минобрнауки России по направлению подготовки 12.04.01 Приборостроение. В 2020 году окончил очную аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» Минобрнауки России. Диплом об окончании аспирантуры получен 08.07.2020 г.

Диссертация выполнена на факультете систем управления и робототехники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук **Федоров Алексей Владимирович**, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный

исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», факультет систем управления и робототехники, доцент.

Официальные оппоненты:

Лебедев Евгений Леонидович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации, кафедра контроля качества испытаний вооружения, военной и специальной техники и фотограмметрии, начальник кафедры;

Сташков Алексей Николаевич, кандидат технических наук, институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, лаборатория магнитного структурного анализа, старший научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **акционерное общество «Композит»**, г. Королев, Московская область, в своем положительном отзыве, подготовленным и подписанным **Разумовским Игорем Михайловичем**, ученым секретарем НТС, главным научным сотрудником, д.ф.-м.н. и **Логачевой Аллой Игоревной**, д.т.н. начальником отделения «Металлические материалы и металлургические технологии», утвержденным **Бересневым Александром Германовичем**, д.т.н. генеральным директором, указала, что диссертация Ильинского Александра Вячеславовича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение научной задачи по разработке алгоритмического обеспечения приборов динамического индентирования, которая имеет существенное значение для обеспечения оперативного и достоверного контроля твердости металлических материалов изделий, получаемых с использованием аддитивных технологий, и направлена на повышение качества продукции.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ по теме диссертационного исследования, в том числе в 4 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), из них в 1 статье - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science. Общий объем 3,1 печатных листа, в том числе 3,0 печатных листов соискателя.

Основные научные работы по теме диссертации:

Публикации в журналах из перечня рецензируемых научных изданий:

1. Егоров, Р.А. Аппаратно-алгоритмическое обеспечение процесса динамического индентирования / Р.А. Егоров, А.В. Ильинский, М.В. Кузьмичев, А.В. Федоров // Дефектоскопия – 2020. - №6. – С. 61-69.

Личный вклад соискателя заключается в разработке нового «объемного» подхода к оценке динамической твердости, который, в числе прочего, учитывает топографию исследуемого материала, а также в разработке алгоритма перехода от характеристик индентирования к значениям динамической твердости с использованием «объемного» подхода.

2. Ильинский, А.В. Исследование динамической твердости конструкционных металлических материалов / А.В. Ильинский, А.В. Федоров, К.А. Степанова, И.Ю. Кинжагулов, И.О. Краснов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2020. – Т. 86. – № 1. – С. 57-61.

Личный вклад соискателя заключается в исследовании особенностей параметров контактного взаимодействия при динамическом индентировании конструкционных материалов и влияния достоверности их оценки на итоговый результат измерения твердости.

3. Иванова, Е.И. Оценка возможности применения оптического метода в задаче регистрации кинематических характеристик процесса динамического индентирования / Е.И. Иванова, А.В. Федоров, Н.В. Астрединова, А.В. Ильинский, Д.С. Ашихин // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики – 2017. – Т. 17. – № 4(110). – С. 620-627.

Личный вклад соискателя заключается в исследовании точности определения изменения скорости движения индентора прибора динамического индентирования с помощью оптических методов. Предложен стереоскопический метод технического зрения для регистрации кинематических характеристик процесса динамического индентирования.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

4. Popovich, A.A. A laser ultrasonic technique for studying the properties of products manufactured by additive technologies / A.A. Popovich, D.V. Masaylo, V.S. Sufiiarov, E.V. Borisov, I.A. Polozov, V.A. Bychenok, I.Y. Kinzhagulov, I.V. Berkutov, D.S. Ashikhin, A.A. Il'Inskii // Russian Journal of Nondestructive Testing – 2016. – Vol. 52, No. 6. – Pp. 303-309 (Попович, А.А. Применение лазерно-ультразвукового метода для исследования характеристик изделия, полученных аддитивными технологиями / А.А.Попович, Д.В.Масайло,

В.Ш.Суфияров, Е.В.Борисов, И.А.Полозов, В.А.Быченко, И.Ю.Кинжагулов, И.В. Беркутов, Д.С.Ашихин, А.В.Ильинский // Дефектоскопия – 2016. – Вып. 52, №. 6. – С. 303-309).

Личный вклад соискателя заключается в исследовании структуры и механических свойств изделий, выполненных по технологии селективного лазерного спекания методами неразрушающего контроля.

Публикации в других изданиях:

5. Степанова, К.А. Применение метода динамического индентирования для оценки механических характеристик композиционных материалов / К.А. Степанова, А.В. Ильинский, И.А. Кашапова, Т.А. Протасеня // В мире неразрушающего контроля. – 2016. Т. 19. -№4. – С. 24-27.

Личный вклад соискателя заключается в анализе применимости метода динамического индентирования для контроля механических характеристик композиционных материалов.

6. Кашапова, И.А. Решение задач контроля механических характеристик функциональных покрытий методом динамического индентирования / И.А. Кашапова, А.В. Ильинский, М.В. Кузьмичев, Р.А. Егоров, А.В. Федоров // Сборник тезисов докладов работы V Международной конференции по инновациям в неразрушающем контроле SibTest – 2019. – С.15.

Личный вклад соискателя заключается в оценки возможности обеспечения контроля качества покрытий изделий РКТ с использованием метода динамического индентирования.

7. Кашапова, И.А. Классификация защитных и функциональных покрытий и анализ задач измерения их механических свойств / И.А. Кашапова, А.В. Ильинский, А.В. Федоров // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание [Электронный ресурс]. С. 25.

Личный вклад соискателя заключается в анализе механических свойств, которые можно определять с помощью метода динамического индентирования.

8. Ильинский, А.В. Энергетический подход к оценке физико-механических характеристик УУКМ / А.В. Ильинский, Р.А. Егоров, М.В. Кузьмичев, В.А. Галкина, Е.В. Гнутенко // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание [Электронный ресурс]. – 2018. С. 63-64.

Личный вклад соискателя заключается в предложенном энергетическом подходе к оценке композиционных материалов на примере образцов из УУКМ.

9. Ильинский, А.В. Разработка измерительного комплекса неразрушающего контроля качества изделий, выполненных методом селективного лазерного спекания / А.В. Ильинский, К.А. Степанова, И.Ю. Кинжагулов, А.В. Федоров // Форум сварка и диагностика на транспорте: сборник материалов докладов форума -2017. – С. 15.

Личный вклад соискателя заключается в разработке блока динамического индентирования для комплекса неразрушающего контроля качества изделий, выполненных методом селективного лазерного спекания.

10. Кашапова, И.А. Возможность применения метода динамического индентирования для контроля механических характеристик углерод-углеродных композиционных материалов / И.А. Кашапова, А.В. Ильинский // Инновационные факторы развития транспорта. Теория и практика – 2017. Т-1. – Вып. 15.10.2017. -С. 182-183.

Личный вклад соискателя заключается в оценки возможности применения метода динамического индентирования для контроля механических свойств УУКМ.

11. Галкина, В.А. Контроль механических характеристик изделий, выполненных селективным лазерным спеканием / В.А. Галкина, Ю.В. Левкова, А.В. Ильинский // КМУ. - 2017. С. 43.

Личный вклад соискателя заключается в предложенной конструкции датчика для прибора динамического индентирования.

12. Степанова, К.А. Исследование влияния масштабного фактора на результаты оценки механических характеристик 4D-Л армированных углерод-углеродных композиционных материалов методом динамического индентирования / К.А. Степанова, А.В. Ильинский, И.О. Котовщиков, Т.С. Могутов // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. -2017. С. 1-2.

Личный вклад соискателя заключается в проведении экспериментальных исследований УУКМ с использованием метода динамического индентирования.

13. Коцур, Д.И. Разработка алгоритма определения физико-механических свойств материалов изделий / Д.И. Коцур, А.С. Борбенчук, Н. Айдарханов, А.В. Ильинский // КМУ 2016. С. 2.

Личный вклад соискателя заключается в проведении анализа существующего алгоритма прибора динамического индентирования.

14. Айдарханов, Н. Компьютерное моделирование процессов при динамическом индентировании / Н. Айдарханов, А.С. Борбенчук, А.В. Ильинский, Д.И. Коцур, П.А. Сергеева // Сборник трудов III

Международной научно-практической конференции «Sensorica-2015». -Спб: Университет ИТМО – 2015. С. 127-128.

Личный вклад соискателя заключается в сравнительном анализе результатов моделирования и результатов динамического индентирования

15. Кинжагулов, И.Ю. результаты исследования кинетики разрушения материалов, выполненных по технологиям селективного лазерного спекания, с применением метода акустической эмиссии / И.Ю. Кинжагулов, К.А. Степанова, А.С. Ковалевич, А.В. Ильинский, И.О. Краснов // Политранспортные системы: X Международная научно-техническая конференция (Новосибирск, 15-16 ноября 2018 г.): тезисы докладов – 2018. С. 264-266.

Личный вклад соискателя заключается в исследовании механических характеристик материалов, выполненных по технологиям селективного лазерного спекания.

В диссертации Ильинского А.В. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на следующих семинарах и конференциях:

IV Международная конференция по инновациям в неразрушающем контроле SibTest, г. Новосибирск, 2017 г. Тема доклада: «Оценка возможности применения метода динамического индентирования для контроля мартенситного превращения под действием ударных нагрузок в сварных швах со структурой метастабильного аустенита»;

V Международная конференция по инновациям в неразрушающем контроле SibTest, г. Екатеринбург, 2019 г. Тема доклада: «Разработка оптимальных характеристик датчика ударного взаимодействия при определении механических характеристик материалов»;

XXX Уральская конференция «Физические методы неразрушающего контроля (Янусовские чтения)», г. Екатеринбург, 2017 г. Тема доклада: «Применение метода динамического индентирования для контроля механических характеристик композиционных материалов»;

11-я Международная конференция «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации» (ARMIMP-2018), г. Суздаль, 2018 г. Тема доклада: «Разработка алгоритма оценки механических характеристик конструкционных материалов с использованием метода динамического индентирования»;

I Международная молодежная конференция «Информационные технологии и технологии коммуникации: современные достижения»,

г. Санкт-Петербург, 2018 г. Тема доклада: «Энергетический подход в оценке механических свойств материалов по результатам динамических испытаний»;

II Международная молодежная конференция «Информационные технологии и технологии коммуникации: современные достижения» г. Санкт-Петербург, 2019 г. Тема доклада: «О результатах контроля механических характеристик соединений, выполняемых сваркой трением с перемешиванием»;

III Международная молодежная конференция «Информационные технологии и технологии коммуникации: современные достижения», г. Санкт-Петербург, 2020 г. Тема доклада: «Экспериментальные исследования физико-механических характеристик конструкционных металлических материалов»;

VII Конгресс молодых ученых (КМУ), г. Санкт-Петербург, 2019 г. Тема доклада: «Разработка оптимальных характеристик датчика ударного взаимодействия»;

VIII Конгресс молодых ученых (КМУ), г. Санкт-Петербург 2020 г. Тема доклада: «Разработка алгоритма оценки механических характеристик материалов, выполненных методом СЛС».

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: начальника отдела перспективных методов контроля и диагностики ЖРД АО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко», к.т.н. **В.А. Калошина**; заместителя генерального конструктора – начальника ЭО-2 АО «Конструкторское бюро химического машиностроения им. А.М. Исаева», к.т.н. **М.В. Турапина**; заведующего лабораторией контактно-динамических методов контроля ИПФ НАН Беларуси, д.т.н., доцента **А.П. Креня**; директора Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», к.т.н. **Д.А. Седнева**; заведующего кафедрой «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», д.т.н., профессора **В.В. Муравьева**; заведующего кафедрой «Материаловедение. Технологии материалов и термическая обработка металлов» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», д.т.н., профессора **А.А. Хлыбова**; руководителя научно-исследовательского отдела государственных эталонов в области измерений давления ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», к.т.н. **Р.А. Тетерука**.

В отзывах дана положительная оценка проведенных исследований, отмечена актуальность выбранной темы, высокая степень проработки

вопроса и профессиональный подход к решению поставленных задач, однако имеется ряд замечаний:

1. В автореферате следовало бы привести результаты экспериментальных исследований для более широкого спектра материалов, применяемых в аддитивном производстве на предприятиях (к.т.н. В.А. Калошин).

2. В автореферате отсутствует необходимая метрологическая оценка полученных результатов экспериментальных исследований (к.т.н. В.А. Калошин).

3. Непонятно, учет каких специфических особенностей материалов изделий, выполненных по аддитивным технологиям, необходим при создании специализированного датчика и первичного преобразователя прибора динамического индентирования (к.т.н. М.В. Турапин).

4. Автором не рассмотрен физический смысл констант c_1 и c_2 , которые используются в формулах (4-7) (к.т.н. М.В. Турапин).

5. Не в полной мере рассмотрены факторы, влияющие на определение выражения для k (д.т.н. А.П. Крень).

6. Присутствует опечатка в подрисуночной подписи рисунка 6 (д.т.н. А.П. Крень).

7. Не обоснован выбор значений c_1 и c_2 на странице 12 автореферата (д.т.н. А.П. Крень).

8. В автореферате отсутствует достаточная информация относительно разработанного программного обеспечения (к.т.н. Д.А. Седнев).

9. Не обосновано использование выражения (22) на странице 16 (к.т.н. Д.А. Седнев).

10. В формуле (26) введен коэффициент K , являющийся функцией свойств контролируемого материала, а также его кристаллической структуры. Неясно, какие именно свойства он учитывает (д.т.н. В.В. Муравьев).

11. Описание глав в автореферате не последовательно, при этом оказались упущены многие выкладки. Краткость описания глав в автореферате не способствует пониманию выполненной работы, в частности, неясно, что хотел сказать автор, приводя на рис. 1 « типовые графики»; о чем говорит рис.5; в чем отличие разных операций в технологии СЛС (д.т.н. В.В. Муравьев).

12. Большое количество использованных аббревиатур затрудняет изучение автореферата (д.т.н. В.В. Муравьев).

13. В автореферате отсутствуют данные о патентах и регистрации программных продуктов (д.т.н. А.А. Хлыбов).

14. Нет данных на каких объектах (масса, размеры, форма и т.д.) может быть использована данная методика (д.т.н. А.А. Хлыбов).

15. На странице 9 автореферата констатируется факт наличия корреляционных зависимостей результатов экспериментальных исследований и результатов моделирования процесса динамического индентирования в программной среде ANSYS, однако оценки данных зависимостей в автореферате не приводятся (к.т.н. Р.А. Тетерук).

16. Из текста автореферата неясно, каким образом автор предлагает определять значения коэффициента динамичности η , коэффициента K , а также скоростей деформации при статическом и динамическом внедрении индентора в исследуемый материал (к.т.н. Р.А. Тетерук).

17. Из текста автореферата неясно, каким образом с использованием микроскопа определялась глубина остаточного отпечатка индентирования (к.т.н. Р.А. Тетерук).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработано алгоритмическое и программное обеспечение обработки магнитоиндукционного преобразователя, позволяющее производить оценку параметров контактного ударного взаимодействия;

предложен метод оценки объемной динамической твердости, учитывающий взаимосвязь между параметрами контактного ударного взаимодействия и твердостью, а также топографию деформированной поверхности испытываемого материала;

доказана перспективность использования разработанных алгоритмов и методов при контроле твердости материалов изделий, в том числе получаемых с использованием технологий селективного лазерного спекания;

введен новый алгоритм обработки исходного сигнала ЭДС, получаемого с магнитоиндукционного преобразователя, отличающийся тем, что переход к параметрам контактного ударного взаимодействия происходит путем использования «строгих» аналитических зависимостей.

Теоретическая значимость исследования:

доказано, что разработанный алгоритм обработки исходного сигнала ЭДС, базирующийся на расчетно-экспериментальной модели, позволяет с учетом обоснованных допущений определять значения основных параметров контактного ударного взаимодействия с использованием строгих

аналитических зависимостей; **доказано**, что предложенный метод оценки динамической твердости может быть использован для достоверного контроля твердости материалов изделий, в том числе изготовленных методом селективного лазерного спекания;

применительно к проблематике диссертации эффективно, с получением обладающих новизной результатов, использован комплекс существующих физико-математических методов, которые позволяют получить новую расчетно-экспериментальную и математическую модель;

изложено доказательство, что для оценки твердости материалов изделий, выполненных по технологии селективного лазерного спекания, можно применять объемный метод оценки;

раскрыта проблема установления взаимосвязи динамической твердости со стандартизованными шкалами твердости;

изучен подход к оценке контактного ударного взаимодействия, который основывается на учете работы, затрачиваемой на внедрение, и объема полученного отпечатка внедрения;

проведена модернизация прибора динамического индентирования, позволяющая автоматизировать процесс оценки параметров контактного ударного взаимодействия, в части оценки остаточной глубины внедрения индентора.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработан и внедрен блок неразрушающего контроля качества сложнопрофильных заготовок и изделий, полученных селективным лазерным спеканием, в рамках опытно-конструкторской работы «СЛС-НК/Эталон»; получено заключение о внедрении результатов диссертационной работы в деятельность компании ООО «НТЦ «Эталон» при разработке технологий аддитивного производства;

определена алгоритмическая составляющая прибора динамического индентирования, позволяющая проводить достоверную обработку исходного сигнала ЭДС, получаемого с магнитоиндукционного преобразователя;

создана система практических рекомендаций по обеспечению контроля твердости материалов изделий, выполненных по технологии селективного лазерного спекания;

представлены предложения по дальнейшему развитию, как метода динамического индентирования, так и средств контроля твердости в целом.

Оценка достоверности результатов выявила:

для экспериментальных работ: результаты исследований получены с использованием современного оборудования, достоверность результатов подтверждается результатами экспериментальных исследований и их сходимостью с результатами теоретического анализа и компьютерного моделирования; признанием основных положений диссертации широким кругом специалистов при апробировании материалов исследований на различных конференциях;

теория построена на обоснованных физико-математических моделях, используемых при расчетах;

идея базируется на том, что наличие устойчивых связей между параметрами контактного ударного взаимодействия и механическими характеристиками материала позволяет усовершенствовать метод динамического индентирования и разработать новое алгоритмическое и программное обеспечение приборов для измерения твердости материалов изделий аддитивного производства;

использованы современные методики поиска, сбора и обработки исходной информации при решении задач диссертационной работы.

Личный вклад соискателя заключается в постановке цели и задач теоретических и экспериментальных исследований, формулировке научных положений, планировании и проведении экспериментов, обработке полученных результатов экспериментов, разработке алгоритмов и доказательстве их достоверности. Совместно с другими авторами разработано программное обеспечение «ПО ДИ1», реализующее алгоритм обработки исходного сигнала ЭДС магнитоиндукционного преобразователя, подана заявка на государственную регистрацию программы для ЭВМ.

На заседании 23 декабря 2020 года диссертационный совет принял решение присудить Ильинскому А.В. ученую степень кандидата технических наук за решение важной научно-практической задачи развития метода и совершенствования алгоритмического и программного обеспечения приборов динамического индентирования для обеспечения оперативного контроля твердости металлических материалов изделий, получаемых с использованием технологий селективного лазерного спекания без использования образцов-свидетелей.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании из 18 человек,

