

ОТЗЫВ

официального оппонента,
кандидата технических наук Сташкова Алексея Николаевича на
диссертационную работу Ильинского Александра Вячеславовича на тему:
«Совершенствование метода динамического индентирования и средств
контроля твердости материалов изделий, выполненных по аддитивным
технологиям», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля
природной среды, веществ, материалов и изделий»

1. Актуальность темы диссертации

В последние пару десятилетий в мире активно разрабатываются и внедряются в производство аддитивные технологии получения деталей из различных материалов. Преимущество данных технологий - получение готовых изделий сложной формы без применения последующей механической обработки и сварки. Наиболее привлекательными материалами для получения готовых изделий с помощью аддитивных технологий являются металлы и сплавы с высокими прочностными и пластическими свойствами. Изделия из таких сплавов могут применяться в ответственных узлах и агрегатах самолетов, ракет, автомобилей, различных машин и механизмов, работающих в условиях высоких механических и температурных нагрузок. Для изготовления деталей с помощью аддитивных технологий используются автоматизированные 3D принтеры, что позволяет исключить человеческий фактор и сократить длительность процесса производства сложных изделий. Внутренние дефекты, остаточные механические напряжения, неоднородность структуры и фазового состава оказывают влияние на механические свойства готовых изделий, что необходимо учитывать при эксплуатации деталей, изготовленных с помощью аддитивных технологий. После изготовления деталей на 3D принтере перед вводом в эксплуатацию требуется проведение контроля их качества. Разработка методов и методик неразрушающего контроля качества особенно актуальна для единично изготавливаемых с помощью аддитивных технологий изделий, так как подвергать их разрушающим воздействиям не представляется возможным.

Метод динамического индентирования нашел применение для неразрушающего контроля физико-механических свойств материалов и покрытий космической техники, что отражено в ГОСТ Р 56474-2015. Развитие и совершенствование метода для контроля качества изделий, выполненных по аддитивным технологиям, является нужной и своевременной задачей. Тему диссертации Ильинского Александра Вячеславовича «Совершенствование метода динамического индентирования и средств контроля твердости материалов изделий, выполненных по аддитивным технологиям» считаю актуальной.

*№ 538-9
от 11.12.2010*

2. Оценка научной новизны полученных результатов

Научная новизна работы заключается в предложенной и обоснованной новой расчетно-экспериментальной модели движения индентора, позволяющей перейти с учетом обоснованных допущений от исходного сигнала ЭДС магнитоиндукционного преобразователя к аналитическим зависимостям с целью расчета параметров контактного ударного взаимодействия (временных зависимостей скорости, контактного усилия и глубины внедрения). Предложена и обоснована новая математическая модель расчета значений твердости исследуемого материала на основе параметров контактного ударного взаимодействия, базирующаяся на оценке объемной динамической твердости и позволяющая учитывать топографию деформируемой поверхности, т.е. эффекты «прогиба» («sink-in») и «навала» («pile-up»).

В первой главе диссертационной работы приводится подробный литературный обзор по тематикам аддитивного производства, методам и средствам для контроля твердости металлических материалов. Приводятся основы и современное состояние метода динамического индентирования. Отмечается актуальность применения метода динамического индентирования для контроля твердости металлических материалов аддитивного производства.

Во второй главе предложена расчетно-экспериментальная модель и алгоритм оценки параметров контактного ударного взаимодействия (КУВ) жесткого сферического индентора с упругопластическим полупространством. В рамках модели выводятся аналитические уравнения для расчета скорости и глубины внедрения индентора, а также контактного усилия на этапах нагружения и разгрузки. Описывается разработанный алгоритм и программное обеспечение «ПО ДИ1» обработки исходного сигнала магнитоиндукционного преобразователя при контактном ударном взаимодействии. Приведено сравнение результатов эксперимента и компьютерного моделирования методом конечных элементов в среде ANSYS. Результаты моделирования и расчетов с помощью «ПО ДИ1» сравниваются с результатами существующего ПО «ИСПГ-1» и с результатами стандартизованных статических испытаний по методу Бринелля.

В третьей главе предложен новый подход к оценке динамической твердости, основанный на учете вклада не площади поверхности восстановленного отпечатка индентора, а объема восстановленного отпечатка. Динамическую твердость в данном подходе предложено называть «объемной динамической твердостью». При этом учитывается показатель деформационного упрочнения материала. Установлены основные соотношения, связывающие параметры КУВ с объемной динамической твердостью материала. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение для прибора динамического индентирования. Приведены результаты апробации разработанного подхода и программного обеспечения. Представлена модель количественной взаимосвязи объемной динамической твердости и твердости по Бринеллю.

В четвертой главе приведены результаты учета источников неопределенности измерений динамической твердости и результаты экспериментальной апробации разработанных моделей и алгоритмов при контроле твердости изделий из титановых и никелевых сплавов, изготовленных с помощью селективного лазерного спекания. Приведен сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований с результатами измерения значений твердости по Бринеллю.

Таким образом, научная новизна исследования согласуется с поставленными в диссертационной работе задачами и обусловлена необходимостью совершенствования метода динамического индентирования и средств контроля твердости изделий, изготовленных с помощью аддитивных технологий.

Соискателем вынесены на защиту следующие результаты, имеющие научную и практическую значимость:

1. Алгоритм обработки исходного сигнала ЭДС магнитоиндукционного преобразователя, разработанный на основе предложенной расчетно-экспериментальной модели движения индентора, позволяет с учетом обоснованных допущений строить диаграмму зависимости $F(h)$ и определять значения основных параметров контактного ударного взаимодействия сферического индентора с упругопластическим полупространством: скорости движения индентора в момент начала и завершения контактного ударного; продолжительности процессов активного контактного ударного взаимодействия (нагружения) и пассивного контактного ударного взаимодействия (разгрузки); максимальной глубины
2. Предложенный метод оценки динамической твердости материала позволяет учесть эффекты «sink-in» («прогиб») и «pile-up» («навал»), возникающие при контактом ударном взаимодействии сферического индентора с упругопластическим полупространством, а также позволяет установить взаимосвязь динамической твердости со стандартизованными шкалами твердости и может быть использован для достоверного контроля твердости материалов изделий, в том числе изготовленных методом селективного лазерного спекания.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений

Достоверность научных результатов обеспечивается корректностью постановки задач исследований; обоснованностью принятых допущений и ограничений; применением теоретически и экспериментально обоснованных физико-математических моделей, используемых при расчетах; 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 конференциях.

4. Практическая ценность и реализация результатов работы

Практическая значимость диссертационной работы заключается в использовании полученных результатов при создании в ООО «НТЦ «Эталон» блока неразрушающего контроля качества сложнопрофильных заготовок и изделий, полученных селективным лазерным спеканием в рамках опытно-конструкторской работы «СЛС-НК/Эталон», который нашел применение при разработке технологий аддитивного производства в АО «Композит», о чем свидетельствует акт о внедрении результатов диссертационной работы (Приложение А).

5. Апробация диссертации и публикации

Основное содержание и результаты работы докладывались и обсуждались на:

- IV Международной конференции по инновациям в неразрушающем контроле SibTest, г. Новосибирск, 2017 г.;
- V Международной конференции по инновациям в неразрушающем контроле SibTest, г. Екатеринбург, 2019 г.;
- XXX Уральской конференции «Физические методы неразрушающего контроля (Янусовские чтения)», г. Екатеринбург, 2017 г.;
- 11-й Международной конференции «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации» (ARMIMP-2018), г. Суздаль, 2018 г.;
- I, II и III Международных молодежных конференциях «Информационные технологии и технологии коммуникации: современные достижения», г. Санкт-Петербург, 2018-2020 гг.);
- VII и VIII Конгрессах молодых учёных (КМУ), г. Санкт-Петербург, 2018-2020 гг.

По результатам проведенных исследований опубликовано 15 печатных работ, в том числе 4 статьи - в изданиях из перечня ВАК, из них 1 статья - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science.

6. Оценка структуры, содержания и оформления диссертации

Диссертация написана в форме, позволяющей получить полное и достаточно подробное представление о материалах исследований, проведенных автором. Оформление работы аккуратное, соответствует установленным требованиям.

При использовании сторонних источников в диссертации даются необходимые ссылки.

Основные положения и результаты проведенных исследований обсуждались на международных и всероссийских конференциях. Научные положения, выводы и заключения соискателя по итогам диссертационной работы достаточно полно отражены в своих опубликованных научных статьях.

Полученные в диссертации результаты соответствуют поставленным целям.

Тема диссертации соответствует паспорту заявленной научной специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Корректность изложения научного материала, наглядная иллюстрация полученных результатов в виде таблиц, графиков и структурных схем позволяют объективно оценить содержание, выводы и значимость проведенных научных исследований.

Автореферат кандидатской диссертации Ильинского А.В. полностью соответствует основному содержанию диссертационной работы.

7. Замечания по диссертации

Следует отметить имеющиеся в диссертационной работе недостатки:

1. Из названия диссертационной работы следует, что усовершенствованный метод контроля твердости путем динамического индентирования регламентируется только для изделий, выполненных по аддитивным технологиям. Считаю, что полученные в ходе работы результаты могут применяться для контроля твердости не только изделий, изготовленных с помощью аддитивных технологий, но и для контроля твердости алюминиевых, никелевых, титановых сплавов, а также сталей, изготовленных традиционными способами.
2. Обозначения физических величин, таких как контактная сила при испытательном ударе, динамическая твердость, остаточная глубина вдавливания индентора, в диссертационной работе отличаются от обозначений тех же величин, приведенных в ГОСТ Р 56474-2015 «Системы космические. Контроль неразрушающий физико-механических свойств материалов и покрытий космической техники методом динамического индентирования. Общие требования.»
3. В блок-схеме на рисунке 3.5 (страница 88 диссертации) формулы для расчета объемной динамической твердости контролируемого материала с учетом его топографии отличаются от выведенных ранее аналогичных формул (3.29) и (3.33). Формула (4.3) на странице 100 диссертации для расчета объемной динамической твердости с учетом эффекта «навал» отличается от аналогичной формулы (3.33). Требуется пояснить различие формул и указать, какая из них правильная.
4. На рисунке 3.5 (страница 87) блок-схема имеет ошибочные связи, так как нет условия выхода из цикла « $h_i > h_{max}$ ».
5. Не указаны единицы измерения физических величин в таблице 3.2 на странице 90 диссертации.

В диссертационной работе имеется ряд грамматических ошибок и неудачных стилистических формулировок.

В целом, указанные недостатки не снижают положительной оценки диссертационной работы.

8. Общая оценка диссертационной работы

Диссертация Ильинского Александра Вячеславовича на тему: «Совершенствование метода динамического индентирования и средств контроля твердости материалов изделий, выполненных по аддитивным технологиям» является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором на высоком научном уровне.

Задача актуальна, решение обладает научной новизной. Диссертационная работа является законченным трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Диссертационная работа базируется на достаточном числе исходных данных, расчетов, результатов моделирования. Работа написана хорошим научным языком и аккуратно оформлена. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертация «Совершенствование метода динамического индентирования и средств контроля твердости материалов изделий, выполненных по аддитивным технологиям», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 26.06.2019 № 839адм., а ее автор – Ильинский Александр Вячеславович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Официальный оппонент
старший научный сотрудник
Института физики металлов
имени М.Н. Михеева УрО РАН
кандидат технических наук

Алексей Николаевич Сташков

Подпись Сташкова А.Н. заверяю:

И.о. ученого секретаря
Института физики металлов
имени М.Н. Михеева УрО РАН
кандидат физико-математических наук



С.В. Гудина
4.12.2020 г.