

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА ФОРУМА «ТЕРРИТОРИЯ NDT 2024» ОТЧЕТЫ ПО КРУГЛЫМ СТОЛАМ



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ВНЕДРЕНИЯ МЕТОДОВ НК С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

ГОГОЛИНСКИЙ Кирилл Валерьевич

Д-р техн. наук, НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ,
Гатчина

Заседание круглого стола было организовано Комитетом в области прикладного материаловедения и промышленного применения нейтронного излучения «Прикладное материаловедение», организованного на базе НИЦ «Курчатовский институт» – Петербургский институт ядерной физики (ПИЯФ). В качестве основных направлений работы комитета определены следующие методы нейтронных исследований:

- 1) нейтронная радиография и томография – визуализация распределения неоднородностей состава или структуры в исследуемых объектах;
- 2) нейтронная стресс-дифрактометрия – изучение параметров напряженно-деформированного состояния – пространственного распределения главных компонент тензора внутренних напряжений;
- 3) текстурная дифрактометрия – получение информации о распределении ориентаций кристаллитов в исследуемом образце.

В докладе Андрея Федоровича Губкина, канд. физ.-мат. наук, президента Российского нейтронного общества, Института физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, «Использование методов нейтронографии в области неразрушаю-

щего контроля и за ее пределами» был представлен обзор использования различных методов нейтронографии для решения задач неразрушающего контроля в области реакторного материаловедения. Успехи в развитии самых передовых направлений современной техники, особенно техники, функционирующей в экстремальных условиях, в значительной степени определяются или лимитируются наличием материалов с требуемыми характеристиками. Достижение последних обеспечивается подбором элементного состава материалов и созданием в них необходимой кристаллической структуры, микроструктуры и напряженно-деформированного состояния. Для этого нужны технологии высокого уровня, само возникновение и реализация которых невозможны без создания методик и технических средств глубокого исследования структурного состояния вещества и напряженно-деформированного состояния. Важное место в полном пакете требующихся при этом исследовательских методик занимают методы, основанные на рассеянии тепловых нейтронов, объединенные общим названием «нейтронография».

Евгений Владимирович Алтынбаев, канд. физ.-мат. наук, НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ, в своем докладе «Источники нейтронов для решения научных и прикладных задач» представил краткий обзор способов получения нейтронов и типов источников нейтронов, на базе кото-



рых возможна реализация методов неразрушающего контроля материалов с использованием нейтронного излучения. При рассмотрении способов организации выведенных пучков нейтронов показана предварительная стоимость создания и текущей эксплуатации исследовательских комплексов, реализующих методы нейтронной радиографии и томографии, стресс- и текстурной дифрактометрии. Сделан вывод о возможности использования компактных нейтронных источников для текущей отработки технологических процессов в непосредственной близости от предприятий и исследовательских установок на базе исследовательских комплексов мегакласса в качестве эталонных средств измерения.

Вячеслав Терентьевич Эм, д-р физ.-мат. наук, НИЦ «Курчатовский институт», в докладе «Применение нейтронного излучения для диагностики материалов и изделий» сообщил, что в настоящее время нейтронный метод стал рутинным методом измерения остаточных напряжений в массивных материалах и интенсивно используется в материаловедении. Метод регламентирован международным стандартом ISO 21432:2019 и позволяет измерить напряжения в материалах толщиной до 50 мм (в сталях). В тонких пластинах и вблизи поверхности измерения могут проводиться с высоким пространственным разрешением 0,1–0,2 мм. В докладе приведен краткий обзор стресс-дифрактометров, имеющихся в мире. Рассмотрены преимущества и недостатки стресс-дифрактометров на стационарных реакторах и импульсных источниках нейтронов. Рассмотрены основные характеристики имеющихся в России стресс-дифрактометров «СТРЕСС» на реакторе ИР-8 (НИЦ КИ) и Фурье-стресс-дифрактометра ФСД на импульсном реакторе ИБР-2 (ОИЯИ). Приведены примеры исследований.

Продолжая тему предыдущего доклада, Иван Дмитриевич Карпов, канд. физ.-мат. наук, НИЦ «Курчатовский институт», в докладе «Нейтронные исследования напряженно-деформированного состояния материалов и изделий на реакторе ИР-8»

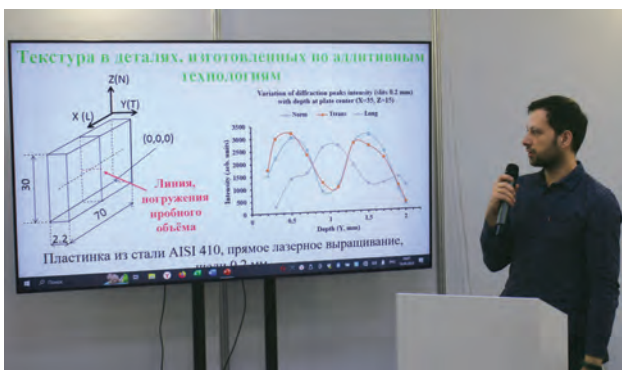


А.Ф. Губкин

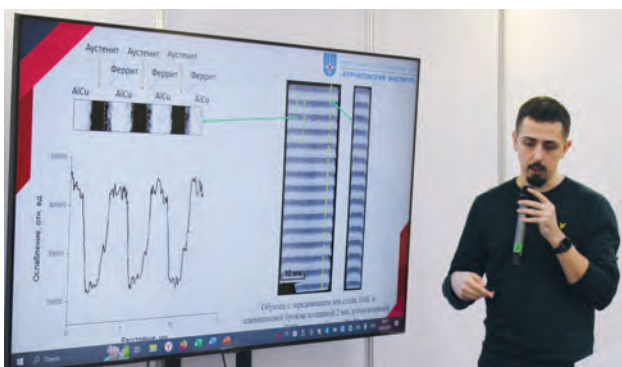


Е.В. Алтынбаев

рассказал о том, что нейтронный метод является мощным инструментом для исследования внутренних механических напряжений в объемных металлических изделиях. Сочетание высокой проникающей способности нейтронов и чувствительности метода к деформациям кристаллической структуры материала позволяет определить три главные компоненты тензора напряжений непосредственно в толще образца. Дифрактометр «СТРЕСС» на исследовательском реакторе ИР-8 (НИЦ «Курчатовский институт») – специализированная установка, предназначенная для неразрушающих исследований напряженно-деформированного состояния в поликристаллических образцах. Применяемая нейтронно-дифракционная методика измерений



И.Д. Карнов



М.М. Мурашев

позволяет получать информацию о трехмерном распределении остаточных напряжений в исследуемом объекте. В зависимости от материала образца, его размеров и целей эксперимента остаточные напряжения могут быть определены с точностью до $\pm(30-50)$ МПа и с пространственным разрешением от 0,2 до 4,0 мм. Максимальная толщина образца может достигать 50 мм для сталей и 150 мм для алюминиевых сплавов.

В докладе Михаила Михайловича Мурашева, канд. физ.-мат. наук, НИЦ «Курчатовский институт», «Нейтронная визуализация материалов и изделий на реакторе ИР-8» обсуждались современное состояние и перспективы нейтронной радиографии. С начала XXI в. методы нейтронной визуализации

нашли широкое применение в области материаловедения и неразрушающего контроля готовых изделий. Успехи в этих областях в большой степени связаны с развитием вычислительной техники и появлением высокоэффективных детекторных систем, а широта применения метода – со свойствами нейтронов. Высокая проникающая способность тепловых нейтронов для большинства используемых в промышленности металлов (до 70 мм – Fe, Ni; до 80 мм – Ti, Cu; до 300 мм – Al) позволяет исследовать внутреннюю структуру изделий традиционных и аддитивных производств неразрушающими методами. Использование монохроматического нейтронного излучения с длиной волны λ от 2 до 5 Å позволяет визуализировать распределение фаз и наличие текстуры в кристаллических образцах, основываясь на дифракционных эффектах. Начиная с 2016 г. на базе исследовательского реактора ИР-8 были созданы две современные экспериментальные установки нейтронной визуализации как на монохроматическом нейтронном пучке с изменяемой длиной волны, так и на полихроматическом. В докладе продемонстрированы возможности экспериментальных установок на реакторе ИР-8 НИЦ «Курчатовский институт» для исследований методами нейтронной визуализации внутренних дефектов размерами от 200 мкм в металлических изделиях, полученных с помощью традиционных и аддитивных технологий. Показано, что использование монохроматических (станция «ДРАКОН») и полихроматических (томограф «ПОНИ») нейтронных пучков позволяет получить взаимодополняющую информацию о внутренней структуре изделий.

В докладе «Нейтронные текстурные измерения» Дмитрия Игоревича Николаева, канд. физ.-мат. наук, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, были рассмотрены основные аспекты анализа кристаллографических текстур (преимущественных ориентировок зерен), измерения текстур с помощью дифракции тепловых нейтронов по времени пролета и практической реализации такого эксперимента на дифрактометре «СКАТ» в ЛНФ ОИЯИ, Дубна.

Следующая группа докладов была посвящена традиционным методам неразрушающего контроля, возможности которых могут быть существенно расширены за счет информации, предоставляемой нейтронными методами.

Виталий Васильевич Муравьев, д-р техн. наук, ФГБОУ ВО ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, в докладе «Анализ анизотропии свойств в прокате ультразвуковыми и рентгеновскими методами НК» привел примеры исследований параметров напряженно-деформированного состояния в изделиях промышленного производства. В частности, исследовано влияние технологических операций на формирование остаточных напряжений при изготовлении цилиндров глубинно-штанговых насосов, изготовленных из марки стали 38Х2МЮА. Рассмотрены операции: состояние поставки, отпуск, механическая обработка, ионное азотирование. Измеряли продольные и поперечные скорости ультразвуковых волн, рассчитывали модули упругости и остаточные напряжения. Отмечена неоднородность остаточных напряжений по длине и периметру трубы относительно среднего значения после всех технологических операций обработки изделия. Также экспериментально исследован тонколистовой прокат из низкоуглеродистой марганцовистой стали 09Г2С толщиной 0,8 мм, имеющей сильную анизотропию свойств вследствие текстуры и остаточных напряжений, с помощью анализа скоростей распространения упругих волн. Проведены измерения скоростей SH-волны горизонтальной поляризации и нулевой симметричной моды волны Лэмба. Возбуждение и прием нормальных волн в листе осуществляли с помощью пьезопреобразователей с сухим точечным контактом. Получены результаты анизотропии акустических свойств и рентгеноструктурного анализа остаточных напряжений и обратных полюсных фигур.

Владимир Анатольевич Быченко, канд. техн. наук, учреждение науки «ИКЦ СЭКТ», в докладе «Оценка механических напряжений на основе ультразвуковых измерений и проблемы их метрологического обеспечения» сообщил, что анализ механических напряжений (МН) необходим для решения множества инженерных задач и является одной из основных задач для специалистов, участвующих в проектировании, изготовлении и эксплуатации изделий и конструкций (мосты и плотины, трубопроводы, корпуса самолетов и ракет и пр.). Необходимость развития методов и средств контроля МН, включая их метрологическое обеспечение, обусловлена ограниченностью существующего парка средств и методик оценки МН; отсутствием единых подходов при их метрологической аттестации; слабым внедрением современных

высокоточных методов контроля МН в передовые отрасли промышленности; отсутствием общей нормативной базы, что препятствует использованию современных методов контроля МН на предприятиях ОПК, Роскосмоса, Росатома, в авиационной, судостроительной и других критически важных отраслях промышленности. В докладе раскрыт опыт учреждения науки «ИКЦ СЭКТ» по разработке и внедрению средств и методик ультразвукового контроля МН, основанного на явлении акустоупругости, с использованием: 1) ультразвукового дефектоскопа и пьезоэлектрического преобразователя с генерацией двух взаимно поляризованных поперечных волн и продольной волны; 2) лазерно-ультразвукового дефектоскопа и оптико-акустического преобразователя с генерацией головной волны. Приведены основные методические подходы, обеспечивающие оценку величины и знака МН на изделиях, а также раскрыты проблемы метрологического обеспечения проведения оценки МН.

Ольга Николаевна Василенко, канд. техн. наук, Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, в докладе «Магнитные методы контроля напряженно-деформированного состояния» сообщила, что в настоящее время достоверная оценка напряженно-деформированного состояния ферромагнитных объектов различного назначения магнитными методами неразрушающего контроля является весьма актуальной задачей. Основными информативными параметрами магнитного контроля сейчас считаются статические магнитные характеристики (параметры петли магнитного гистерезиса, параметры кривой намагничивания) и характеристики скачков Баркгаузена (энергетические и эмиссионные параметры). К средствам измерений, позволяющим измерять перечисленные параметры, относятся такие приборы, как АПС DIUS 1-21М (ИФМ УрО РАН) и «Интроскан» (ИПФ НАН Беларуси). На данный момент применяют следующие способы верификации напряженно-деформированного состояния:

- расчет НДС на основании геодезических данных (мера НДС – коэффициент нагруженности, интегральная оценка, при этом фактическое состояние объекта не известно);
- измерения на пластически деформированных образцах (мера НДС – степень деформации, расчет остаточных напряжений);
- измерения при приложенных нагрузках: одноосное нагружение, двухосное нагружение, сложные виды нагружения (кручение, изгиб, внутреннее давление). При этом, как правило, измерения проводятся в замкнутой магнитной цепи (мера НДС – величина приложенной нагрузки, величина деформации, расчет приложенных напряжений).



К.В. Гоголинский

Тенденция дальнейшего развития магнитных методов неразрушающего контроля заключается в разработке методик и средств измерений оценки напряженно-деформированного состояния объектов с соответствующим метрологическим сопровождением, ключевым этапом которого является создание мер НДС с аттестованными магнитными характеристиками.

Татьяна Игоревна Бобкова, канд. техн. наук, НИЦ «Курчатовский институт» — ЦНИИ КМ «Прометей», в своем сообщении описала проблемы и задачи, стоящие перед исследователями при создании новых конструкционных материалов для различных отраслей промышленности, а также продемонстрировала эффективность применения нейтронных методов исследований для решения этих задач.

В завершающем докладе Кирилла Валерьевича Гоголинского, д-р техн. наук, НИЦ «Курчатовский

институт» — ПИЯФ, «Создание системы метрологического обеспечения измерений параметров напряженно-деформированного состояния на базе нейтронной стресс-дифрактометрии» было отмечено, что использование нейтронных методов в неразрушающем контроле имеет значительные перспективы не только как самостоятельное направление, но и в комплексе с традиционными методами НК. В частности, большой интерес представляет развитие методов контроля параметров напряженно-деформированного состояния (НДС). В настоящее время в качестве рабочих средств измерений параметров НДС используются ультразвуковые приборы, основанные на методе акустоупругости, а также различные типы магнитных приборов, основанные на коэрцитиметрии и шумах Баркгаузена. Эти методы дают возможность получать только косвенную информацию. Создание и внедрение первичной референтной методики на базе нейтронной стресс-дифрактометрии, позволяющей напрямую измерять деформацию кристаллической решетки в объеме материала, дает возможность решить проблему метрологического обеспечения измерений параметров НДС. Соответствующий проект союзного государства подан совместно НИЦ Курчатовский институт ПИЯФ и ИПФ НАН Беларуси.

Работа круглого стола вызвала значительный интерес не только среди специалистов в области неразрушающего контроля, но и среди представителей передовых отраслей промышленности. В процессе обсуждения были предложены пути внедрения нейтронных методов НК для решения актуальных прикладных задач.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ТАМОЖЕННОЙ И ТОВАРНОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ

ПЛАТОВА Раиса Абдулгафаровна

Канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова», Москва

Круглый стол «Неразрушающий контроль при таможенной и товарной экспертизе» провела кафедра товарной экспертизы и таможенного дела Высшей инженерной школы «Новые материалы и технологии» Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. В мероприятии приняли участие: сотрудники и студенты: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»; ЭКЦ МВД РФ; ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»; Сколковский институт науки и технологий; Центральное экспертно-криминалистическое таможенное управление; Научно-исследовательский

институт проблем хранения Росрезерва (НИИПХ Росрезерва); ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»; ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»; ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»; ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»; ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»; ООО «ТЕХКОН»; ЗАО «НИИН МНПО «Спектр»; Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН; ООО «Алмазный НТК»; ООО «Тэсто Рус».

С приветственным словом к участникам круглого стола обратился президент РОНКТД профессор В.А. Сясько, который отметил актуальность и