Е. З. Коварская[1], д. т. н. **И. Б. Московенко**[1] (✉), д. т. н. **А. И. Потапов**[2]

[1] *ООО «ЗВУК», Санкт-Петербург, Россия*
[2] *ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия*

УДК 666.76.017:620.179.1

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОСВОЕНИЮ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предложен проект целевой научно-технической программы использования неразрушающих методов контроля качества и физико-механических характеристик изделий из углеродных материалов. Приведено обоснование возможности и целесообразности проведения таких работ на основании анализа ранее выполненных работ в области неразрушающего контроля качества углеродных изделий, используемых при производстве алюминия, и аналогичных по технологии изготовления абразивных изделий.

Ключевые слова: *углеродные материалы, неразрушающий контроль, физико-механические свойства, акустические методы контроля, частоты собственных колебаний.*

Современный уровень технологии изготовления изделий из углеродных материалов, используемых в первую очередь в металлургии, предусматривает необходимость контроля их физико-механических свойств, осуществляемого, как правило, разрушающими методами на образцах, которые вырезают из изделий, отобранных из технологических партий, подлежащих контролю. Выборка в таком случае должна проводиться в соответствии с современными требованиями, предъявляемыми к статистической обработке результатов измерений. В условиях действующего производства углеродных изделий осуществление подобной репрезентативной выборки практически не представляется возможным. Повышение надежности контроля в таких условиях производства может быть достигнуто при использовании методов неразрушающего контроля (НК), позволяющих, с одной стороны, обеспечить возможность определения физико-механических свойств реальных изделий без их разрушения и, с другой стороны, существенно повысить надежность и производительность контроля.

В результате совместной работы Всесоюзного научно-исследовательского и проектного института алюминиевой, магниевой и электродной промышленности (ВАМИ) и Всесоюзного научно-исследовательского института абразивов и шлифования (ВНИИАШ), выполненной в 1985–1988 гг., была показана возможность и целесообразность использования акустических методов контроля, основанных на измерении частот собственных колебаний (ЧСК) изделий, для оценки физико-механических свойств подовых блоков и обожженных анодов электролизеров, используемых при производстве алюминия [1–3]. В соответствии с рекомендациями ВАМИ на Новосибирском электродном заводе был освоен выпуск подовых блоков с нормированными показателями физико-механических свойств в соответствии со специально разработанными ТУ 48-4804-27–91, предусматривающими маркировку на блоках результатов акустического контроля в виде так называемых звуковых индексов (ЗИ). Такие блоки по запросу заводов, производящих алюминий, поставлялись по несколько повышенной цене, и результаты акустического контроля, замаркированные на блоках, учитывались при подборе комплектов, используемых для монтажа электролизеров. В дальнейшем по причинам в основном организационного характера эти работы применительно к контролю подобных углеродных изделий были практически прекращены. Однако применительно к другим видам изделий, в первую очередь различного рода абразивным инструментам, эти работы продолжались, и в 2007 г. был разработан и введен в действие ГОСТ Р 52710–2007 «Инструмент абразивный. Акустический метод определения твердости и звуковых индексов по скорости распространения акустических волн», в соответствии с которым в настоящее время

✉
И. Б. Московенко
E-mail: info@ndtest.ru

производится подобный контроль на ряде фирм — производителей и потребителей абразивной продукции. Этот стандарт может быть положен в основу нормативно-технической документации или стандарта, обеспечивающих возможность аналогичного акустического контроля углеродной продукции. За прошедшее время сменилось по крайней мере два поколения приборов типа «Звук». Выпускаемые ООО «ЗВУК» приборы «Звук-203М» и «Звук-130» прошли государственные испытания, сертифицированы, включены в Государственный реестр средств измерений, достаточно широко используются в нашей стране и поставляются на экспорт в развитые зарубежные страны.

В настоящее время в алюминиевой промышленности вместо маркировки на блоках результатов акустического контроля реализованы несколько иные принципы комплектации. В частности, с 2014–2015 гг. на алюминиевых заводах начаты работы по комплектации подин подовыми блоками с близкими характеристиками. В качестве базовых параметров катодных блоков используют величину удельного электросопротивления (УЭС) и механическую прочность при сжатии. Оценку показателей производят на основании результатов измерений на отобранных от обожженных заготовок образцах, а также по результатам измерения УЭС товарных катодных блоков. С учетом градаций величин УЭС и механической прочности сформулированы требования к комплектам подовых блоков. На основании сформулированных требований изготовителем формируются комплекты с близкими электрическими и прочностными свойствами, которые затем отгружают на алюминиевые заводы для проведения капитального ремонта. Данные требования юридически закреплены, т. е. вносятся в контракты на поставку продукции. При этом (по крайней мере, взамен определения механической прочности на образцах) более экономично и эффективно, по нашему мнению, может быть использован метод, основанный на измерении ЧСК.

Кроме того, принимая во внимание, что работоспособность углеродных изделий в значительной степени определяется их пористостью [2], которая, в свою очередь, существенно определяет результаты интегрального акустического контроля, основанного на измерении ЧСК, результаты акустического контроля, выраженные в звуковых индексах ЗИ, могут быть достаточно эффективно использованы при прогнозировании работоспособности углеродных изделий различных производителей.

Также было показано [4], что акустический метод контроля с использованием приборов «Звук» может быть успешно применен для получения оперативной информации о физико-механических свойствах как обожженных анодов, так и необожженных («зеленых») углеродных изделий, что может быть использовано для контроля за соблюдением и стабильностью технологического процесса их производства.

Результаты, накопленные в ходе испытаний и многолетнего использования НК для определения физико-механических свойств и качества, в первую очередь абразивных и огнеупорных, а также других видов изделий в условиях их производства и эксплуатации [3–10], по нашему мнению, позволяют приступить к более широкому освоению НК углеродных изделий различных типоразмеров и назначения.

Расширение областей применения НК углеродных изделий целесообразно проводить в рамках целевой научно-технической программы, разработанной и согласованной с изготовителями и потребителями соответствующей углеродной продукции. Специалистами кафедры приборостроения Национального минерально-сырьевого университета «Горный» и ООО «ЗВУК» подготовлен с использованием ранее разработанных рекомендаций по освоению неразрушающих методов контроля физико-механических свойств и качества огнеупоров [11] проект программы «Неразрушающий контроль качества и диагностика изделий из углеродных материалов», в котором приведены обоснование целесообразности постановки подобной работы и основные этапы ее выполнения. Паспорт указанной программы приведен в таблице.

Обоснованием необходимости реализации программы «Неразрушающий контроль качества и диагностика изделий из углеродных материалов» является широкое применение в различных отраслях промышленности, особенно в металлургии, авиакосмической технике и на транспорте, таких углеродных материалов, как углеграфитовые материалы и их компоненты, пиролитические, углеволокнистые, полимерные композиционные, углерод-углеродные, тонкопленочные алмазоподобные, наноструктурные и другие разновидности этих материалов

Проблема контроля качества изделий из углеродных материалов весьма актуальна, так как техническое состояние данных изделий (тиглей, катодных блоков, анодов электролизеров, деталей авиакосмической техники, тормозных колодок на транспорте и др.) определяет их производительность, срок службы, качество выпускаемой продукции и т. д. Наиболее эффективны для решения этой проблемы неразрушающие физические методы контроля, которые широко применяются для контроля качества изделий из металлов. Применение данных методов для углеродных материалов и изделий представляет определенные трудности, так как углеродные материалы по физическим свойствам существенно отличаются от металлов, а также вследствие

Паспорт целевой научно-технической программы «Неразрушающий контроль качества и диагностика изделий из углеродных материалов»

Наименование Программы	Целевая научно-техническая программа «Неразрушающий контроль качества и диагностика изделий из углеродных материалов»
Дата принятия решения о разработке Программы, дата ее утверждения (наименование и номер соответствующего нормативного акта)	–
Заказчик Программы	Министерство образования и науки, Министерство промышленности и торговли
Основные разработчики Программы	Научно-исследовательские, научно-производственные организации и высшие учебные заведения РФ
Цели и задачи Программы, важнейшие целевые показатели	Обеспечение металлургической, авиакосмической и других отраслей промышленности современными научно-техническими разработками, выполненными в НИИ, КБ и вузах для реализации стратегии повышения качества и конкурентоспособности; привлечения инвестиций в научно-техническую сферу; создания научно обоснованных систем, приборов и методов контроля качества и диагностики углеродных материалов и изделий, паспортизации эксплуатируемых изделий из углеродных материалов, снижения уровня аварий, обеспечения информацией о текущих и прогнозируемых изменениях технического состояния изделий из углеродных материалов, создания научно-технической и нормативно-правовой базы по эффективному использованию потенциала науки в интересах металлургической и других отраслей промышленности
Сроки реализации Программы	2016--2018 гг.
Перечень подпрограмм и основных мероприятий	Создание методов и средств неразрушающего контроля качества и диагностики изделий из углеродных материалов; разработка методов и средств неразрушающего контроля сырья, полуфабрикатов и технологических процессов изготовления изделий из углеродных материалов; разработка методов и средств технического обследования и паспортизации изделий из углеродных материалов с применением неразрушающего контроля; организация подготовки, повышения квалификации и переподготовки специалистов в области неразрушающего контроля качества углеродных материалов и изделий на их основе
Объемы и источники финансирования	Для реализации Программы в 2016–2018 гг. потребуется 98 млн руб., в том числе из: - федерального бюджета 50 млн руб.; - внебюджетных источников 48 млн руб.
Ожидаемые конечные результаты реализации Программы	Научно обоснованные методики и сертифицированные приборы неразрушающего контроля физико-механических, структурных и геометрических параметров углеродных материалов и изделий. Нормативные документы по неразрушающему контролю углеродных материалов и изделий. Учебно-методические комплексы и пособия по неразрушающему контролю качества изделий из углеродных материалов для курсов повышения квалификации и переподготовки специалистов. Увеличение срока эксплуатации изделий из углеродных материалов, сокращение затрат на обследование, ремонт, улучшение и совершенствование эксплуатации изделий из углеродных материалов; создание новых рабочих мест. В результате реализации Программы должно быть обеспечено создание на базе отечественных разработок принципиально новых техники, технологий, материалов, решены крупные научно-технические проблемы, а также проведены исследования по новым перспективным направлениям развития науки и техники, что позволит создать научный и технический задел
Система контроля за исполнением Программы	Контроль за исполнением Программы осуществляет научный совет по подпрограммам. Промежуточные и окончательные итоги работ по Программе систематически рассматриваются на заседаниях научных советов по подпрограммам с привлечением научной общественности и экспертов

большого разнообразия видов углеродных материалов, которые, как правило, являются неоднородными и анизотропными, особенно армированные. Поэтому для реализации неразрушающих методов контроля качества изделий из углеродных материалов необходимо разработать комплекс методов, включающий акустические методы (метод собственных колебаний, акустико-эмиссионный, низкочастотный эхоимпульсный и др.), радиоволновые (резонаторный, фазовый, свободного пространства и др.), для электропроводящих углеродных материалов — вихретоковый, электрический (емкостной, кондуктометрический, термоЭДС) и др.

Реализация программы «Неразрушающий контроль качества и диагностика изделий из

углеродных материалов» позволит в металлургической и других отраслях промышленности создать научно обоснованную систему неразрушающего контроля качества и технической диагностики изделий из углеродных материалов, оценки и учета их, управления состоянием и эксплуатацией изделий из углеродных материалов, более объективно оценивать степень их износа и более правильно назначать сроки ремонтно-восстановительных работ, получать уникальные результаты, не имеющие аналогов в отечественной и мировой науке. Метрологическое обеспечение средств неразрушающего контроля, разработка эталонов и поверочных средств позволит существенно повысить достоверность и точность неразрушающего контроля физико-механических и электрофизических характеристик углеродных материалов непосредственно в изделии. Учитывая уникальность применяемых неразрушающих методов и средств контроля и диагностики, все работы по обследованию изделий из углеродных материалов проводят без прекращения их эксплуатации.

Основные результаты Программы нацелены на создание научно обоснованных принципов ремонтно-восстановительных работ, увеличение срока эксплуатации изделий из углеродных материалов, сокращение затрат на обследование, ремонт и восстановление, улучшение и совершенствование эксплуатации изделий из углеродных материалов, снижение уровня аварийной опасности, создание новых рабочих мест. В результате реализации Программы должно быть обеспечено создание принципиально новой техники, технологий, материалов, решены крупные научно-технические проблемы, а также проведены исследования по новым перспективным направлениям развития науки и техники, что позволит создать научный и технический задел для реализации полученных результатов в других направлениях металлургической и других отраслях народного хозяйства. Результаты реализации Программы могут служить моделью для других отраслей народного хозяйства.

Осуществление Программы приведет к увеличению срока эксплуатации изделий из углеродных материалов; сокращению затрат на обследование, ремонт, улучшение и совершенствование эксплуатации изделий из углеродных материалов; созданию новых рабочих мест.

Целями Программы являются обеспечение металлургических, авиакосмических и других предприятий современными научно-техническими разработками, выполненными в НИИ, КБ и вузах для реализации стратегии развития, повышения качества и конкурентоспособности металлургических предприятий, привлечение инвестиций в научно-техническую сферу; создание научно обоснованной системы паспортизации изделий из углеродных материалов; сохранение и создание новых рабочих мест; сокращение технических и экологических аварий и катастроф; обеспечение информацией о текущих и прогнозируемых изменениях технического состояния изделий из углеродных материалов, создание баз данных о техническом состоянии изделий из углеродных материалов; создание научно-технической и нормативно-правовой базы по эффективному использованию потенциала науки в интересах металлургических и других предприятий, увеличение вклада науки и техники в развитие экономики и реализацию важнейших производственных и социальных задач металлургических и других предприятий, получение новых знаний в области фундаментальной и прикладной науки, решение актуальных научно-технических проблем, создание образцов конкурентоспособной техники, технологий, материалов, обеспечивающих общий подъем уровня знаний и практическую реализацию качественно новых научных идей, сохранение ведущих школ и коллективов, развитие научно-технического и экспортного потенциала России, формирование рынка научно-технической продукции.

При определении целей и задач подпрограмм должны учитываться перспективные потребности отдельных металлургических предприятий и других отраслей экономики в принципиально новых технических решениях для качественного изменения параметров производства и выпускаемой продукции.

Предлагаемый проект программы разработан с целью продвижения инноваций, которые обеспечили бы достижение экономического прогресса металлургических и других предприятий.

В Программу должны войти разработки, которые имеют высокую степень завершенности и финансирование которых в настоящее время продолжает осуществляться государственными или другими заинтересованными организациями. Из бюджета Программы предполагается лишь частичное дополнительное финансирование, необходимое для практической реализации или адаптации разработок в интересах металлургических и других предприятий.

Кроме прямого эффекта в сфере приложения результатов разработок на предприятиях металлургической и других отраслей, их участие в работе обеспечивает им право на соответствующую долю прибыли в случае коммерческой реализации проектов в других регионах или за рубежом.

В результате реализации Программы должно быть обеспечено создание принципиально новой техники, технологий, материалов, решены крупные научно-технические проблемы, а также проведены исследования по новым пер-

спективным направлениям развития науки и техники, что позволит создать научный и технический задел для их реализации в других направлениях отраслей экономики.

Библиографический список

1. ***Геращенко, Н. П.*** Результаты освоения в условиях производства неразрушающего акустического метода контроля углеродных изделий для алюминиевых электролизеров / *Н. П. Геращенко, А. Ф. Гребенкин, В. И. Заливной* [и др.] // Пути ускорения научно-технического прогресса производства углеродной продукции в свете решений XXVII съезда КПСС : тезисы докл. и сообщ. VI Всесоюз. науч.-техн. конф., г. Челябинск, октябрь 1988. — С. 58–60.

2. ***Гребенкин, А. Ф.*** Исследование физико-механических свойств углеродных блоков различных изготовителей с помощью акустического метода / *А. Ф. Гребенкин, В. А. Крюковский, И. Б. Московенко* // Решение экологических проблем в производстве алюминия : сб. науч. тр. — Л. : ВАМИ, 1990. — С. 62–72.

3. ***Гребенкин, А. Ф.*** Акустический метод неразрушающего контроля качества углеродных изделий / *А. Ф. Гребенкин, И. Б. Московенко* // Заводская лаборатория. — 1992. — Т. 58, № 2. — С. 23–25.

4. ***Grebjonkin, A. F.*** Zerstörungsfreie akustische Materialprüfung an Kohlenstoffanoden / *A. F. Grebjonkin, W. A. Krjukowskij, B. A. Glagowskij* [et al.] // Aluminium-66, Jahrgang. — 1990. — № 9. — S. 854–857.

5. ***Чернявец, А. Н.*** Акустический неразрушающий метод контроля качества углеродных тиглей для плавки металла / *А. Н. Чернявец, И. Б. Московенко, Е. З. Коварская* // Цветные металлы. — 1997. — № 3. — С. 77–79.

6. ***Московенко, И. Б.*** Акустический метод контроля углеграфитовых изделий в процессе их производства и эксплуатации / *И. Б. Московенко, Е. З. Коварская, А. Н. Чернявец* // В мире неразрушающего контроля. — 2005. — №2 (28). — С. 12–14.

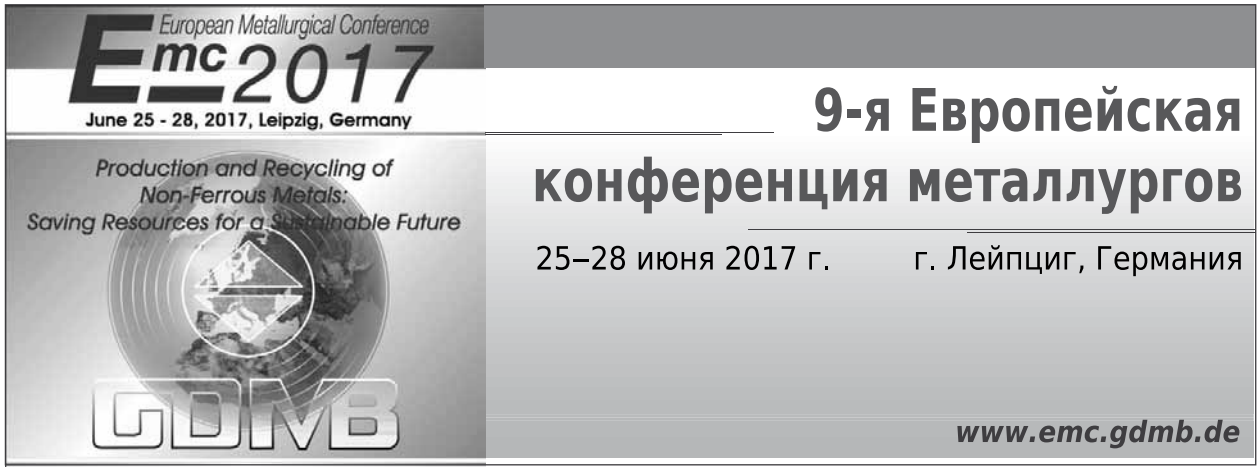
7. ***Московенко, И. Б.*** Использование частот собственных колебаний при неразрушающем контроле физико-механических свойств материалов и изделий / *И. Б. Московенко, Е. З. Коварская* // В мире неразрушающего контроля. — 2012. — № 4 (58). — С. 5–8.

8. ***Носов, В. В.*** Оценка прочности и ресурса технических объектов с помощью метода акустической эмиссии / *В. В. Носов, А. И. Потапов, И. Н. Бураков* // Дефектоскопия. — 2009. — № 2. — С. 47–57.

9. ***Потапов, А. И.*** Выявление расслоений и глубины их залегания в углепластиковых конструкциях с использованием вихретокового вида НК / *А. И. Потапов, В. А. Сясько, Д. Н. Чертов* // Изв. вузов. Машиностроение. — 2012. — № 8. — С. 66–69.

10. ***Потапов, А. И.*** Измерение толщины изделий из углеродных композиционных материалов с использованием вихретокового двухчастотного амплитудно-фазового метода / *А. И. Потапов, В. А. Сясько, Д. Н. Чертов* // Контроль. Диагностика. — 2013. — № 4 (178). — С. 12–18.

11. ***Московенко, И. Б.*** Разработка рекомендаций по освоению неразрушающих методов контроля физико-механических свойств и качества огнеупоров / *И. Б. Московенко, Е. З. Коварская, А. И. Потапов* // Новые огнеупоры. — 2015. — № 2. — С. 64–67. ■

Получено 13.07.16
© Е. З. Коварская, И. Б. Московенко, А. И. Потапов, 2016 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ