

С. А. НОВИКОВ, ИПФ НАН БЕЛАРУСИ

## НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 620.179

Физика неразрушающего контроля — интенсивно развиваемая в настоящее время во всех странах мира область науки и техники, основными задачами которой являются открытие, исследование и использование новых физических явлений и процессов с целью разработки методов и средств выявления внутренних и поверхностных дефектов, а также свойств материалов и изделий без их разрушения. Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси является ведущим в республике в области разработки методов и средств неразрушающего контроля качества материалов и изделий. Результаты исследований, выполняемых в институте, позволяют решать следующие народнохозяйственные задачи, направленные на повышение качества, конкурентоспособности и безопасной работы продукции предприятий:

- структуроскопия, контроль твердости и других физико-механических свойств материалов и изделий;
- дефектоскопия, т.е. выявление трещин, пор, расслоений и других поверхностных и подповерхностных дефектов;
- толщинометрия покрытий и поверхностных упрочненных слоев материала;
- диагностика состояния материалов и изделий в процессе их эксплуатации.

Разработанные в ИПФ НАН Беларуси методы и средства неразрушающего контроля широко используются на различных предприятиях Республики Беларусь, а также стран ближнего и дальнего зарубежья, в том числе и на многих крупных металлургических предприятиях.

### Контроль физико-механических свойств, структуры и химического состава

Исследования лаборатории магнитных методов контроля ИПФ НАН Беларуси (зав. лаб. д-р техн. наук В. Ф. Матюк) позволили установить связь между магнитными и прочностными характеристиками сталей и решить важную для металлургии проблему контроля качества физико-механических свойств стального проката. На основе установленных связей между полем остаточной намагниченности при локальном импульсном намагничивании ферромагнетиков и прочностными характеристиками материа-

ла разработан импульсный магнитный метод и созданы средства, позволяющие контролировать механические свойства и структуру листового и профильного проката, труб и других ферромагнитных изделий металлургического производства, предприятий машиностроения, судостроения, являющиеся предметом экспорта в страны ближнего и дальнего зарубежья. Это приборы типа ИМА, ИЛК, КИМ, ИМПОК.

Так, импульсные магнитные анализаторы ИМА-4, ИМА-4А и ИМА-4М (д-р техн. наук М. А. Мельгуй) предназначены для контроля механических свойств (предел прочности, предел текучести, относительное удлинение при разрыве) и структуры листового проката из низко-, среднеуглеродистых и низколегированных сталей толщиной до 4 мм, а также для оценки степени намагниченности изделий. Импульсные магнитные анализаторы ИМА-5, ИМА-5А, ИМА-5Б (д-р техн. наук В. Ф. Матюк) обеспечивают контроль механических свойств и качества термообработки ферромагнитных изделий из тех же сталей толщиной до 30 мм с защитными лакокрасочными и полимерными покрытиями при непостоянстве толщины этих покрытий. Установки типа ИМПОК (д-р техн. наук В. Ф. Матюк) предназначены для контроля механических свойств и структуры листового проката низкоуглеродистых сталей, движущихся в технологическом потоке производства со скоростью до 5 м/с (ИМПОК-1, ИМПОК-1А, ИМПОК-1Б) и до 25 м/с (ИМПОК-2, ИМПОК-3).

Приборы типа ИМА, ИМПОК, а также ИЛК, КИМ внедрены в производство на крупнейших металлургических предприятиях стран СНГ и дальнего зарубежья (Магнитогорский, Новолипецкий, Карагандинский, Череповецкий, Мариупольский металлургические комбинаты и др.). На приборы типа ИМА-4 проданы лицензии в Болгарию, Чехию, Словакию, Германию. Прибор ИМА-4 продан по контракту в Японию. На импульсный магнитный метод контроля с применением приборов ИМА-5А продана лицензия в Болгарию, установка ИМПОК-1Б передана по контракту в Германию.

Прибор "Эллипс", основанный на импульсном магнитном методе, позволяет осуществлять контроль механических характеристик литого ме-

талла сварного шва, околшовной зоны и основного металла.

Приборы типа МАКСИ, разработанные в лаборатории магнито-динамических методов контроля института (зав. лаб. д-р техн. наук С. Г. Сандомирский), обеспечивают стопроцентный магнитный контроль механических свойств и автоматизированную сортировку малогабаритных стальных и чугунных отливок, заготовок и деталей. Используются для контроля чугунных отливок типа «нипсель», «муфта», «тройник», «угольник» из ковкого чугуна, отбраковки отливок со структурой серого чугуна от отливок из высокопрочного чугуна. Отличаются удобством включения в действующие технологические циклы производства изделий. Внедрены в производство на филиале ПО "Минский моторный завод" (г. Столбцы), на ОАО "Минский завод отопительного оборудования", ржищевском заводе "Радиатор", Московском чугунолитейном заводе, липецком металлургическом заводе "Свободный сокол" и др.

Автономные приборы «Магнитный сортировщик МС-1» и «Безэлектронный магнитный сортировщик БМС-1» (д-р техн. наук С. Г. Сандомирский) обеспечивают разбраковку проката заданной марки стали от проката других марок сталей, различающихся величиной коэрцитивной силы, в условиях складов металла металлургических и машиностроительных предприятий. Приборы МС-1 и БМС-1 внедрены в производство на филиале ПО "Минский моторный завод" (г. Столбцы), ЗАО «Атлант» (г. Минск) для сортировки стального проката по маркам.

Приборы типа DEFOTEST, разработанные в лаборатории электромагнетизма (чл.-корр. Н. Н. Зацепин, зав. лаб. канд. техн. наук Н. О. Гусак, канд. техн. наук А. В. Чернышев) предназначены для электромагнитного неразрушающего контроля интенсивности пластической деформации, ее неоднородности, штампуемости заготовок листовых ферромагнитных сталей и сплавов. Используются также для контроля толщины стенки изделий при одностороннем доступе без зачистки места контроля (бензобаки, лонжероны, резервуары, трубы и т.п.), позволяют выявлять локальные участки утонения стенок, вызванные коррозией и т.п. Приборы внедрены в АО "АвтоВАЗ", а также на предприятиях металлургии и машиностроения.

Большие перспективы по определению механических характеристик у приборов контактно-динамического действия. В лаборатории контактно-динамических методов контроля разработан прибор типа ИМХД для экспресс-контроля комплекса механических характеристик металлических материалов (предела прочности, предела текучести, модуля упругости, предельного равномерного удлинения и др.) (д-р техн. наук В. А. Рудницкий). Принцип работы приборов для экспресс-контроля механических характеристик материалов (ИМХД-1, ИВУС-1) основан на использовании информации о движении индентора непосредственно в процессе его

ударного взаимодействия с испытуемым объектом. Результатом испытания является построение деформационной кривой в координатах напряжение—деформация без необходимости изготовления специальных образцов. Приборы ИМХД-1 внедрены на Осиповичском заводе автомобильных агрегатов для определения механических свойств алюминиевых отливок, а также для определения вязкоупругих свойств полимерных и резинотехнических материалов (ИВУС-1).

Разработанные в лаборатории металлофизики (зав. лаб. д-р техн. наук А. А. Лухвич, канд. техн. наук В. И. Шарандо) приборы типа ПИТ, основанные на термоэлектрическом принципе, позволяют осуществлять экспресс-контроль содержания кремния и углерода в образцах из углеродистых сталей и чугунов, отлитых по ходу плавки, а также в литых изделиях, контролировать зоны со структурой отбела в чугунных отливках, шлифовочные прижоги и другие структурные неоднородности.

Высокой информативностью о структуре поверхностных слоев ферромагнитных металлов (например, о наличии зон отбела в чугунных отливках, шлифовочных прижогов и т.п.), толщине поверхностных упрочненных слоев, величине приложенных и остаточных напряжений в поверхностных слоях и их распределении по глубине обладают разработанные в лаборатории вычислительной диагностики приборы типа ИНТРОМАТ, принцип которых основан на эффекте Баркгаузена (зав. лаб. д-р техн. наук В. Л. Венгринович). В приборах воплощены многие теоретические разработки, в том числе метод компьютерного восстановления послойного распределения напряжений в поверхностных упрочненных слоях. Они внедрены на Тульском машиностроительном заводе, заводе "Моторостроитель" (г. Пермь), Ташкентском авиационном заводе, Воронежском авиационном заводе и др.

Лаборатория физики электромагнитных потерь (зав. лаб. д-р техн. наук И. И. Брановицкий) проводит большую работу по разработке методов и средств неразрушающего контроля такой важнейшей продукции металлургических предприятий, как электротехнические стали. Разработан прибор типа ИМПИ, который позволяет осуществлять оперативный неразрушающий контроль электромагнитных потерь и индукции в листах электротехнической стали, листах статоров электродвигателей, пакетах и магнитопроводах. Прибор может быть использован при входном, выходном и технологическом контроле при производстве электротехнических сталей на металлургических и иных предприятиях, что позволяет повысить к.п.д. электродвигателей, трансформаторов и других изделий и, тем самым, эффективно решать проблемы энерго- и ресурсосбережения. Приборы типа ИМПИ для контроля магнитных потерь внедрены на заводах "Электродвигатель" (г. Могилев), "Полесьеэлектромаш" (г. Луни-

нец), "Эльфа" (г. Вильнюс), Николаевском трансформаторном заводе (Украина), Псковском электротехническом заводе и др.

### Контроль твердости

Среди разработок ИПФ НАН Беларуси широкое распространение в промышленности нашли твердомеры. Экспресс-информация, получаемая от такого интегрального показателя механических свойств материала, как твердость, позволяет оперативно судить о качестве материала, его пригодности к последующим технологическим операциям или к эксплуатации.

В лаборатории контактно-динамических методов контроля (зав. лаб. д-р техн. наук В. А. Рудницкий) разработаны портативные цифровые приборы контроля твердости типа ТПЦ, которые по своим метрологическим характеристикам (диапазон измерений, погрешность) не уступают зарубежным аналогам, а по быстродействию и удобству превосходят их. Принцип действия приборов основан на записи информации о соударении жесткого индентора с контролируемым изделием с выведением на табло величины твердости непосредственно в единицах Роквелла, Бринелля. Приборы ТПЦ внедрены на Могилевском металлургическом заводе, Минских автомобильном и тракторном заводах, Гомельском и Витебском станкостроительных заводах, Макеевском металлургическом комбинате, Московском станкостроительном, Ульяновском автомобильном и многих других предприятиях республики и стран СНГ. Кроме того, разработана микропроцессорная приставка к прессу Бринелля, что позволяет автоматизировать процесс измерения твердости на основе записи перемещения индентора под нагрузкой, осуществлять прямые измерения твердости по Бринеллю чугунных отливок в потоке производства при наличии грубой необработанной поверхности.

Электромагнитные приборы типа ПКТ, НТ-1, разработанные в лаборатории электромагнетизма (чл.-корр. Н. Н. Зацепин Н.Н., зав. лаб. канд. техн. наук Н. О. Гусак, канд. техн. наук А. В. Чернышев), работающие на основе метода высших гармоник, предназначены для неразрушающего контроля твердости (HRC, HB, HV) стальных и чугунных изделий после поверхностного упрочнения (закалка токами высокой частоты, химико-термическая обработка и др.). Преимущества приборов перед существующими аналогами в том, что они позволяют осуществлять неразрушающий контроль твердости деталей, заготовок и отливок сложной формы (коленчатые и распределительные валы, направляющие станков и др.), а также в труднодоступных местах деталей (зубья шестерен, пазы токарных станков, отверстия и др.) с низким классом чистоты поверхности и без предварительной зачистки места контроля. Приборы типа ПКТ внедрены в ПО "Минский моторный завод", на Минском заводе автоматических линий, Минском станкостроительном заводе и др. Прибо-

ры НТ-1 внедрены в ПО "Минский моторный завод" и на Минском заводе колесных тягачей для неразрушающего контроля твердости деталей дизельных двигателей и колесных тягачей. Использование этих приборов на предприятиях позволяет повысить качество ответственных деталей, безопасность и конкурентоспособность изделий.

Феррозондовые измерители твердости типа ФИТАН, разработанные в лаборатории электромагнетизма (чл.-корр. Н. Н. Зацепин, д-р техн. наук А. П. Гусев), предназначены для неразрушающего контроля твердости и других механических характеристик изделий после объемной термической обработки. Приборы внедрены на заводе "Иж-Сталь" (г. Ижевск), в ПО "Южный машиностроительный завод" (г. Днепропетровск), ПО "Сибсельмаш" (г. Новосибирск) и др.

### Дефектоскопия

Дефектоскопия — важнейшая задача неразрушающего контроля по выявлению поверхностных и подповерхностных дефектов сплошности (трещин, раковин, пор, закатов, волосовин, включений и т.п.). Непревзойденными по чувствительности являются развиваемые в ИПФ НАН Беларуси методы и средства капиллярной дефектоскопии (академик П. П. Прохоренко, д-р физ.-мат. наук Н. П. Мигун). Они позволяют осуществлять контроль поверхностных дефектов отливок и деталей любой формы из металлов и сплавов, а также неметаллических материалов с минимальным раскрытием трещины 0,5 мкм. В ИПФ НАН Беларуси разработаны экологически чистые нетоксичные пожаро- и взрывобезопасные пенетранты для люминесцентного и цветного метода капиллярного контроля на основе природных материалов, имеющихся в Беларуси. Внедрены в ПО "Минский тракторный завод", на предприятии "Белгазэнергоремонт" (г. Минск), Осиповичском заводе автомобильных агрегатов, Мозырском нефтеперерабатывающем заводе и других предприятиях.

Под руководством зав. лаб. канд. техн. наук Г. Е. Коновалова разрабатываются перспективные методы и средства ультразвуковой дефектоскопии, а также структуроскопии. Особые успехи достигнуты в разработке ультразвуковых преобразователей с магнитной жидкостью, отличающихся высокой стабильностью акустического контакта. Преобразователи перспективны в установках автоматизированного контроля, при контроле поверхностных и подповерхностных дефектов отливок и деталей в труднодоступных местах, при наличии вибрации, на поверхностях с высокой шероховатостью и имеющих кривизну (д-р техн. наук А. Р. Баев, канд. техн. наук Г. Е. Коновалов, канд. техн. наук А. Л. Майоров).

Разработаны автоматизированные установки для ультразвукового контроля дефектов отливок поршней и качества сцепления упрочняющих вставок под поршневые кольца с основным материалом поршней дизельных двигателей грузовых автомобилей

(внедрены на Ярославском моторном заводе, в ПО «Минский моторный завод»); для контроля качества гильз блока цилиндров (установка внедрена в ПО «Минский моторный завод»); для ультразвуковой дефектоскопии дисков авиационных двигателей, лопаток турбин, клапанов; для ультразвуковой дефектоскопии соединений, полученных сваркой трением (установки внедрены на борисовском заводе "Агрегат", Оршанском инструментальном заводе); для контроля качества сцепления защитных покрытий и др.

Феррозондовые дефектоскопы типа ДФП (чл.-корр. Н. Н. Зацепин, д-р техн. наук А. П. Гусев) предназначены для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов ферромагнитных деталей путем регистрации магнитного поля рассеяния дефектов после намагничивания деталей. Приборы внедрены на Гомельском заводе станочных узлов, Минском инструментальном заводе.

Разработанные в ИПФ НАН Беларуси вихревые дефектоскопы типа ДТВ-03 (рук. группы канд. техн. наук В. А. Франюк) предназначены для выявления дефектов (трещин, раковин, включений, волосовин, закатов и т.п.) в поверхностных и приповерхностных слоях проката, отливок и деталей из черных и цветных металлов и сплавов. Приборы используются при входном контроле на складах предприятий, при ремонте и восстановлении деталей машин, на различных стадиях технологического процесса изготовления. Внедрены на Минском инструментальном заводе, Витебском мотороремонтном заводе, ПО "Мингорэлектротранс" (г. Минск), филиале ПО "Минский моторный завод" (г. Столбцы) и других предприятиях республики.

### Толщинометрия покрытий и изделий

Значительная часть изделий металлургического производства (листовой прокат, трубы и т.п.) имеет покрытия (полимерные, гальванические и др.). Контроль толщин покрытий является актуальным, так как с их толщиной связаны защитные и иные свойства, что определяет качество изделий в целом. Кроме того, важную самостоятельную задачу представляет собой контроль толщины собственно изделий (толщина листа проката, стенки трубы и т.п.).

Направление исследований в области толщинометрии является в институте старейшим. Первым прибором был магнитный толщиномер Н. С. Акулова (МТА) пондеромоторного типа, обеспечивающий возможность контроля толщин немагнитных покрытий (например, цинковых, хромовых, лакокрасочных и др.) на ферромагнитной основе (сталих и сплавах на основе железа, никеля, кобальта) и ферромагнитных покрытий на немагнитной основе.

Приборы внедрены на многих предприятиях республики и стран СНГ.

В настоящее время ИПФ НАН Беларуси располагает целым арсеналом толщиномеров, работающих на разных физических принципах.

Новый широкодиапазонный портативный магнитный толщиномер МТЦ-3 (зав. лаб. д-р техн. наук А. А. Лухвич) обеспечивает возможность контроля толщин немагнитных покрытий на ферромагнитной основе и ферромагнитных покрытий на немагнитной основе. Внедрен на Минском заводе металлоконструкций, в ПО "Минский тракторный завод", на предприятии «Стройтехнорм» (г. Минск).

Весьма перспективным для использования как на предприятиях Беларуси, так и за ее пределами является разработанный в последние годы универсальный магнитный толщиномер УМТ-1 (зав. лаб. д-р техн. наук А. А. Лухвич, А. К. Шукевич), предназначенный для одновременного измерения толщины немагнитного покрытия (либо слоя коррозии) и толщины ферромагнитного металла под покрытием (слоем коррозии). Может быть использован для измерения толщины ферромагнитных стальных листов и изделий.

Проблему толщинометрии неметаллических покрытий на металлах решают радиоволновые приборы. Так, портативный толщиномер неметаллических покрытий металлов ТМ-250 (канд. техн. наук В. А. Михнев, канд. техн. наук Г. Н. Дещенко, Г. Ф. Крутов) внедрен в СРСМУ "Белэнергозащита", на Новополоцком нефтеперерабатывающем комбинате, в ПО "Нафтан", АО СП "Подольский машиностроительный завод".

Термоэлектрический прибор типа ПИТ (д-р техн. наук А. А. Лухвич, канд. техн. наук В. И. Шарандо) позволяет измерять толщины гальванических и химических, а в ряде случаев и нетокопроводящих покрытий на металлах. Приборы типа ПИТ внедрены в ПО "Минский тракторный завод, на Минском инструментальном заводе, Витебском станкостроительном заводе, Уфимском агрегатном производственном объединении, Тбилисском инструментальном производственном объединении и др.

Для ученых ИПФ НАН Беларуси всегда приоритетным является решение конкретных задач неразрушающего контроля и технической диагностики непосредственно на промышленных предприятиях. Практическое использование на предприятиях республики разработанных в институте методов и средств неразрушающего контроля позволит целенаправленно и эффективно работать над повышением качества и конкурентоспособности изделий металлургического производства, машиностроения и других отраслей промышленности республики.