

## НОВЫЕ МЕТОДЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ СО СЛОИСТОЙ И НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ

Баев А.Р., Майоров А.Л., Асадчая М.В.

ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»

Минск, Республика Беларусь

Ответственные изделия машиностроительной, станкостроительной, авиационной промышленности, транспорта и др. с целью упрочнения их поверхности, а также защиты от воздействий внешней среды подвергаются различным видам обработки, включая химико-термическую обработку поверхности, нанесение защитных покрытий, сплавление в основу изделия упрочняющих конструктивных элементов. Такие изделия представляют собой объекты со слоистой и неоднородной структурой, неразрушающий контроль (НК) качества которых является актуальной научно-производственной задачей. Для этого в ИПФ НАН Беларуси разрабатываются методы и средства ультразвукового контроля, в основу которых положены новые принципы, конструкции первичных преобразователей и сервисных устройств, обеспечивающие высокую надежность и производительность НК. Можно выделить несколько основных направлений разработок Института в области ультразвукового НК: I – структуроскопия чугунов; II – определение глубины упрочненных поверхностных слоев (УПС) металлоизделий, выполненных закалкой ТВЧ, химико-термической обработкой (цементация, борирование и др.), лазерным упрочнением, наклепом, накаткой и др.; III – выявление дефектов сцепления материалов, обладающих малой отражающей способностью.

Первая и вторая группа задач решаются преимущественно на базе разработанного нами прибора типа ИЧ, модификации которого внедрены на предприятиях стран СНГ и Беларуси и работают на принципах наличия корреляции между скоростью ультразвуковых волн (объемных, поверхностных) и структурой металла в поверхностном слое или в объеме изделия. Так, например, наличие корреляции между скоростью объемных волн и содержанием шаровидного графита позволяет производить отбраковку высокопрочного чугуна от серого и чугуна с “промежуточной фазой” в условиях литейного производства. При этом в программу обработки сигналов заложены принципы нивелирования влияния качества акустического контакта (зависящего от шероховатости поверхности, ее геометрии) на точность и надежность измерений. Одна из последних внедренных разработок направлена на выявление кромочного отбела чугунов, вызывающего поломку и износ инструмента, основана на измерении изменения скорости поверхностной волны при наличии цементита в зоне отбела. Чувстви-

тельность метода определяется рабочей частотой зондирующего сигнала и достигает ~0,1 мм.

Масштабная задача по определению глубины УПС стальных изделий, выполненных химико-термической, механической обработкой и др., решается на основе использования установленной зависимости между скоростью поверхностной (подповерхностной поперечной) волны и параметрами УПС – его глубиной и твердостью. В этом случае максимальное изменение скорости поверхностной волны при наличии УПС не превышает 2-3%. Поэтому для повышения точностных характеристик и надежности измерений глубины УПС в качестве приемников ультразвуковых колебаний мегагерцового диапазона используются специально разработанные малоапертурные преобразователи с площадью контакта ~0,1 мм<sup>2</sup>. В основу работы измерительной системы заложен компенсационный метод, позволяющий устранить влияние нестабильности акустического контакта ультразвуковых преобразователей. В качестве дополнительного информативного параметра используется спектральная характеристика принимаемого сигнала, что позволяет исключить влияние обезуглероженного слоя и ряда случайных факторов, обусловленных контактными явлениями, на измерительный процесс. Как показали результаты испытаний и внедренческой работы, применение настоящей разработки позволяет определять глубину упрочненного закалкой ТВЧ и цементированием поверхностного слоя среднеуглеродистых сталей с погрешностью не хуже 0,10-0,15 мм в диапазоне измеряемых толщин слоя до 6 мм.

Разработанное оборудование для контроля УПС состоит из специализированного электронного блока и набора первичных электроакустических преобразователей (рис.1).



Рисунок 1 – Оборудование для контроля глубины УПС

Выбор преобразователей определяется геометрией поверхности изделия, на которой производятся измерения. Разработаны преобразователи для ультразвукового контроля объектов с плоской и цилиндрической, а также сложной поверхностью (галтельные переходы валов, зубчатые колеса и др.).

Методики и оборудование для высокоточного измерения скорости распространения различных мод упругих волн позволяют на основании данных корреляционных измерений контролировать такие параметры как глубина наклепа, накатки, степень микроповрежденности металла. В ряде случаев (например, прокатные валки) при глубине упроченного слоя более 4-5 мм прозвучивание объекта производится поперечными волнами, что позволяет существенно снизить шумовой фон, создаваемый сопутствующими модами. Для оценки глубины УПС может быть применен упрощенный (но менее точный) метод по величине сдвига максимума амплитудно-угловой зависимости, а также метод, основанный на проявлении рефракции поперечной волны в неоднородном слое и определении изменения амплитуды сигнала на заданной акустической базе.

В основу создаваемых в Институте методов и средств контроля дефектов неразъемных соединений (направление III) положены выявленные закономерности формирования акустических полей, рассеянных неоднородной границей, а также полей поперечных подповерхностных волн, возбуждаемых под вторым критическим углом. В частности, впервые показана принципиальная возможность на порядок и более повысить чувствительность обнаружения дефектов сцепления материалов с помощью предложенного метода оптимизации фаз и апертур мнимых когерентных источников упругих волн (объемных, поверхностных, сдвиговых, пластинчатых), отраженных от неоднородной границы. При этом выбор пространственного расположения источника и приемника ультразвуковых колебаний производят таким образом, чтобы фазовый сдвиг между опорным и отраженным от дефектной поверхности лучом был максимальным. Именно с помощью этого метода представляется возможным определить эффективную площадь дефектов, сравнимых или меньших площади сечения падающего акустического луча. В отличие от известных разработок, созданные конструкции ультразвуковых преобразователей позволяют в несколько раз повысить производительность и надежность контроля качества сплавления наплавленного баббита толщиной до 0,3-0,5 мм с основным металлом не только стальных, но латунных и чугунных корпусов подшипников скольжения с внутренним диаметром до 4 см. При этом ввод-прием УЗК производится через локальную иммерсионную ванну и создается

опорный сигнал, что в совокупности с другими конструктивными особенностями устройства позволяет существенно снизить шумовой фон, обеспечить стабильность измерительного тракта, а также автоматизировать процесс контроля. Подобная конструкция также внедрена для контроля сварки взрывом цилиндрических изделий. Развитие указанного выше подхода позволило разработать метод и средства ультразвукового контроля качества сварки газовых полиэтиленовых труб среднего давления, позволяющий впервые обнаруживать наиболее опасные дефекты типа "kissing bonds", образующиеся без взаимной диффузии материала даже при плотном контакте в процессе сварки.

Разработанный в Институте метод контроля поршней двигателей внутреннего сгорания реализован в целом ряде полуавтоматических установок, внедренных на моторостроительных предприятиях. В основу метода положен принцип зондирования границы сцепления нирезиновой вставки с телом поршня подповерхностной вертикально поляризованной поперечной волной. Это обеспечивает выявляемость дефектов при контроле на различных технологических этапах изготовления поршня.

Высокую эффективность использования подповерхностных поперечных волн подтверждают результаты внедренной на ОАО "ТродноАзот" методики контроля основного металла фланцевого разъема трубчатого конвертора. При этом обеспечивалось выявление потенциально опасных вертикально ориентированных трещин в окрестности галтельного перехода и на расстоянии ~80 мм за ним, что позволяет производить постоянный мониторинг состояния объекта и существенно сократить временные и материальные затраты на ремонтно-восстановительные работы.

Использование разработанных малоапертурных ПЭП с рабочей поверхностью типа "длинная полоса" позволяет решить ряд задач контроля двухслойных тонкостенных изделий путем их прозвучивания пластинчатой симметричной модой, имеющей наибольшую скорость распространения. При этом возможно определять толщину защитного покрытия (оловянно-свинцового припоя на латунном основании, меди на полимерной основе и др.) от нескольких мкм до десятков мкм с погрешностью ~10% и оценивать площадь расслоения материалов. Чувствительность же метода к изменению толщины покрытия достигает ~0,3 мкм. В основу предложенного метода толщинометрии защитных покрытий заложена предложенная аддитивная модель формирования упругих свойств двухслойного волновода.

Разработанные в ИПФ НАН Беларуси новые методы и средства ультразвукового контроля