

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

А. К. МОЗАЛЕВСКАЯ, Р. С. БОЛЬШАКОВ

Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Безопасность эксплуатации технических систем является основополагающим направлением проведения научных исследований в области оценки прочности деталей, конструкций, технологических машин [1–2]. В частности, производство изделий из различных металлов и сплавов с последующей температурной обработкой связано с появлением в деталях остаточных напряжений, влияющих на их качество [3–6]. Остаточные напряжения возникают в деталях при реализации большинства технологических операций и по своей величине могут превосходить напряжения от внешних нагрузок. Наличие остаточных напряжений влияет на прочность и другие механические свойства изделий и может вызвать формирование остаточных деформаций, что в конечном итоге приводит к геометрическим искажениям, снижает срок службы деталей, увеличивает количество брака при их изготовлении.

В предлагаемом докладе рассматриваются современные разрушающие технологии определения остаточных напряжений в изделиях из различных материалов.

Остаточные напряжения рассматриваются как один из ключевых факторов, влияющих на ухудшение качества и эксплуатационных характеристик изделий. Следует отметить, что остаточные напряжения не всегда вредят эксплуатационным характеристикам материала, например, дробеструйное упрочнение или обкатка роликами заключается в создании сжимающих остаточных напряжений в поверхностных слоях для улучшения их прочностных характеристик. Данные технологические процессы также сопровождаются контролем остаточных напряжений после обработки [4]. Целью исследования являются систематизация методов разрушающего контроля и рекомендации по их применению для решения научных и производственных задач.

Разрушающие методы позволяют количественно измерять как поверхностные, так и внутренние остаточные напряжения. При этом разрушающие методы относительно просты в выполнении и, несмотря на существенную трудоемкость и разрушение образца при их реализации, обладают высокой точностью. Сущность принципа определения остаточных напряжений в разрушающих методах состоит в том, что разрез и обнажение поверхности эквивалентны (для оставшейся части тела) к приложению поверхности сечения остаточных напряжений обратного знака. Обзор наиболее распространенных разрушающих методов определения остаточных напряжений приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный обзор разрушающих методов определения остаточных напряжений (ОН) и рекомендации по их применению в лабораторных и производственных условиях

Методика / Глубина измерения	Преимущества	Недостатки	Область и объект применения
Метод сегментирования и расщепления / По толщине образца	Простота и низкая трудоемкость исследований; возможность исследования образцов из различных металлов и сплавов; отсутствие необходимости наличия сложного оборудования; быстрый оценочный тест при производстве изделий	Применение метода возможно только при однородном распределении напряжений по толщине образца; подходит только для приблизительной оценки ОН из-за большой погрешности; ограничение при оценке неоднородных деформаций	Образцы или изделия простой геометрической формы из углеродистых сталей, для стальных, алюминиевых и нержавеющей профилей; сварные подкрепленные алюминиевые конструкции, в том числе с отверстиями в центральной части; применяется для контроля ОН в тонкостенных трубках насосно-компрессорных установок
Метод сверления отверстий / До 2 мм	Высокая точность измерений; оценка однородных и неоднородных ОН; измерение двухосного распределения ОН; минимальный уровень повреждений в сравнении	Определение только поверхностных ОН; погрешность тензометрического датчика влияет на точность измерения; вызывает образование ОН обусловленных механической обработкой, отсутствие возможности учета пространственного распределения ОН	Толстые стыковые соединения алюминиевых деталей и сварных швах; сплавы для изготовления материалов самолетных авиационных двигателей; сварных листов из различных материалов; нержавеющие и аустенитные стали

Окончание таблицы 1

Методика / Глубина измерения	Преимущества	Недостатки	Область и объект применения
Метод сверления «глубоких» отверстий / До 750 мм	Возможность измерения двухосного распределения ОН на большой глубине	Может использоваться для образцов (деталей) толщиной более 6 мм; высокие требования к соосности осей отверстий	Стальные, алюминиевые образцы, детали из ламинированных композитных материалов
Метод кольцевого сердечника / До 6 мм	Высокая точность измерений; оценка однородных и неоднородных ОН; измерение двухосного распределения ОН	Погрешность тензометрического датчика влияет на точность измерения; вызывает образование ОН обусловленных механической обработкой, процесс проточки обычно проводят электроэрозионной обработкой, что накладывает ограничения на спектр исследуемых материалов	Детали и образцы всей группы изотропных материалов с известным модулем упругости при механической обработке; после сварки конструкций из стали; авиационные двигатели; паровые турбины и турбогенераторы; композитные материалы
Метод снятия слоев материала / По толщине образца	Измерение больших перепадов ОН по толщине изделия; высокая точность; оценка распределения ОН по всему объему образца; возможность определения всех трех компонент ОН	Длительный процесс измерения; полное разрушение образца; погрешность измерения существенно зависит от качества удаления материала, а также точности определения толщины удаляемого слоя; не подходит для сварных деталей	При исследовании ОН в металлических и неметаллических деталях и образцах
Метод пропилов (разреза) / По толщине образца	Измерение больших перепадов ОН по толщине изделия; простота реализации; высокая точность; относительно быстрый и простой в применении процесс	Определение только одноосных нормальных остаточных напряжений к поверхности реза; влияние погрешности тензометрического датчика на точность измерения; затрудненная реализация метода на деталях сложной формы	При исследовании ОН в металлических и неметаллических деталях и образцах; применяют для контроля ОН в сварных швах
Контурный метод (метод профилирования) / Образец толщиной более 5 мм	Измерение больших перепадов ОН по толщине изделия; получение картины ОН, нормальных к поверхности разреза по всему сечению; определение ОН в изделиях больших размеров	Определение только одноосных остаточных напряжений нормальных к поверхности реза; повышенная погрешность при измерении поверхностных ОН; затрудненная реализация метода на деталях сложной формы; разрушение образца	Заготовки, образцы из металлических материалов; сварные швы; закаленные толстостенные пластины; холоднокатанные трубы; поковки из алюминиевых сплавов; заготовки, образцы больших габаритных размеров при наличии электроэрозионного станка

Таким образом, по результатам аналитического обзора научно-технической литературы можно сделать вывод, что выбор метода измерения остаточных напряжений может осуществляться в достаточно большом диапазоне. Независимо от метода измерения каждому из них присущи определенные недостатки. Выбор подходящего метода измерения осуществляется с учетом исследуемого объекта, материала, из которого он сделан, и его геометрической формы, а также требований к результатам исследований, их полноте и точности.

Список литературы

- 1 Определение реакций связей между элементами виброзащитных систем на основе метода структурных преобразований / В. Б. Кашуба [и др.] // Механика XXI века. – 2016. – № 15. – С. 295–300. – EDN WBERBJ.
- 2 Патент № 2689901 С2 Российская Федерация, МПК F16F 15/02, F16F 7/10. Устройство управления вибрационным полем технологической машины : № 2017140746 : заявл. 22.11.2017 : опубл. 29.05.2019 / С. В. Елисеев, Р. С. Большаков, А. В. Елисеев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования Иркутский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО ИРГУПС). – EDN KTQODK.
- 3 Биргер, И. А. Остаточные напряжения / И. А. Биргер. – М. : Гос. науч.-техн. изд-во машиностроительной лит-ры, 1963. – 233 с.
- 4 Способ определения закалочных остаточных напряжений / Ю. И. Замашков [и др.]. – № 1643928 от 22.12.90. – 5 с.
- 5 Каргапольцев, С. К. Способы определения термических остаточных напряжений в заготовках типа плит из алюминиевых сплавов / С. К. Каргапольцев, А. К. Мозалевская // Системы. Методы. Технологии. – 2023. – № 4 (60). – С. 27–32. – DOI : 10.18324/2077-5415-2023-4-27-32. – EDN NAUKUK.