

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНДЕНТИРОВАНИЯ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**Крень А.П., Рудницкий В.А.***Институт прикладной физики НАН Беларуси**Минск, Республика Беларусь*

В настоящее время во всем мире непрерывно происходит разработка и увеличение производства конструкционных материалов как металлических, так и неметаллических (полимеров, композитов, резин, стекла, керамика и целого ряда других). В то же время, резкое увеличение доли материалов, обладающих уникальными свойствами, во всех без исключения отраслях промышленности требует разработки и создания новых методов и средств их оценки по физико-механическим свойствам и параметрам разрушения.

Одним из наиболее перспективных и востребованных методов контроля в последнее время стало инструментальное индентирование, которое получило серьезное развитие за последнее десятилетие. Метод давно вышел за рамки обычного измерения твердости и используется при контроле модуля упругости, трещиностойкости, параметров ползучести, релаксации, адгезии. Индентирование разделилось на статическое и динамическое, высоко- и низкоскоростное.

В работе приводится история возникновения метода и эволюция его развития. Показано, что первая работа в области индентирования появились еще в 1722 году и принадлежала Реамюру. Существенное развитие метода началось в 1881 году благодаря работе Г. Герца, посвященной упругому механическому контакту материалов. Фундаментальные основы теории твердости и процессов индентирования были заложены в 30-60 гг. прошлого века, после чего началось интенсивное внедрение испытаний на твердость в промышленности.

Новый толчок в развитии индентирования получило после того как стало возможным регистрировать весь процесс нагружения – получать диаграмму контактное усилие - глубина вдавливания, включающую активный и пассивный этапы нагружения. Данная диаграмма по сути является аналогом зависимости напряжение-деформация (σ - ϵ) - общепринятой расчетной зависимости, используемой в конструкторской практике.

Для эффективного применения метода и создания целостной системы научных положений, реализация которых обеспечивает достоверный контроль, был развит системный подход к индентированию, который стал возможен только благодаря решению целого ряда задач. В частности, была решена: 1) проблема разработки объективных критериев выбора

модели деформирования материалов, 2) проблема оценки влияния условий нагружения и 3) деградации материалов на результаты контроля, 4) приведения результатов контроля к единым условиям нагружения, 5) повышения качества измерений и практические вопросы, связанные с внедрением оборудования.

В результате впервые был предложен графоаналитический метод, позволяющий без привлечения дополнительного оборудования, по результатам анализа диаграммы непрерывного ударного вдавливания индентора выделить свойства материала, определяющие ход деформирования и осуществить объективный выбор модели деформирования, оптимальной для расчета физико-механических характеристик. Получены достаточно общие уравнения, основанные на применении принципа суперпозиции Больцмана, для оценки характеристик материалов учетом влияния на их значения скорости деформации, пригодные для использования в температурном диапазоне от -150 до +150 °С. Решение проблемы учета деградации материалов позволило впервые разработать эффективные методы контроля и расчета долговечности полимеров по данным индентирования. Верификация полученных выражений, проведенная путем сравнения с данными испытаний, показала, что определение свойств материалов с производится с приемлемой для промышленности погрешностью.

Наряду с разработкой теоретических основ и алгоритмов определения физико-механических свойств материалов было развито новое направление – применение динамического индентирования для контроля параметров разрушения. Использование модели Гарсона зарождения и роста трещин, а также принципа Леметра, связывающего изменение модуля упругости и поврежденность материала, позволило получить необходимые данные для расчета критического коэффициента интенсивности напряжений по формулам линейной механики разрушения

Использование теоретических положений на практике позволило создать серию приборов, нашедших широкое применение в промышленности при контроле углеродных композиционных материалов, фторопластов, резин, материалов, изготовленных по аддитивным технологиям.