

УДК 620.179.18
 ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ
 МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ

Т. А. ПРОТАСЕНЯ¹, М. Н. ДЕЛЕНДИК²,
 А. П. КРЕНЬ¹, О. В. МАЦУЛЕВИЧ¹

¹Институт прикладной физики НАН Беларуси

²Филиал БНТУ «Межотраслевой институт повышения квалификации
 и переподготовки кадров по менеджменту и развитию персонала»
 Минск, Беларусь

Метрологическая аттестация приборов, реализующих метод контактного деформирования для контроля физико-механических характеристик, предполагает наличие аттестованных образцов или мер. Однако они не всегда могут быть созданы, особенно когда это касается измерения таких параметров, как твердость, модуль упругости, прочность и др. В то же время, имея аналитические зависимости для расчета свойств материала по параметрам индентирования, подтверждение метрологических характеристик используемого средства измерения (СИ) можно проводить на основе поэлементной оценки погрешности измерений (косвенных измерений) [1]. В работе рассмотрена возможность применения данного подхода на примере измерения твердости и модуля упругости при динамическом индентировании.

Динамическую твердость H_{ITD} и модуль упругости E_{IDT} инструментального индентирования определяют согласно выражениям [1]

$$H_{ITD} = \frac{P_{h_{max}}}{\pi D h_c}, \quad (1)$$

$$E_{IDT} = \frac{6 P_{h_{max}}^2 (1 - \mu^2)}{5 m v_{max}^2 e^2 d_c} = \frac{6 P_{h_{max}}^2 (1 - \mu^2)}{5 m v_{min}^2 d_c}, \quad (2)$$

где h_c – контактная глубина внедрения; $P_{h_{max}}$ – контактная сила, соответствующая максимальной глубине внедрения h_{max} ; μ – коэффициент Пуассона материала; e – коэффициент восстановления скорости, определяемый отношением скорости отскока индентора к предупредительной скорости – v_{min}/v_{max} ; d_c – диаметр контактного отпечатка.

Погрешность измерений H_{ITD} и E_{IDT} состоит из случайной и неисключенной систематической составляющих. В данном случае систематическая составляющая погрешности определяется погрешностью СИ, используемых для нахождения параметров, входящих в формулы (1) и (2). Оценку погрешности измерения диаметра индентора D и его массы m следует проводить с помощью эталонных СИ. Погрешность измерения скорости индентора оценивается путем сравнения значений предупредительной скорости индентора v_{max} , отображаемой прибором, реализующим грави-



тационный разгон индентора [1], со значением скорости v_{max}^p , полученным из закона сохранения энергии. В силу одинакового способа измерения v_{max} и v_{min} относительные погрешности их измерения принимаются равными. Погрешность измерения $F_{h_{max}}$ можно определить либо на основании погрешности измерения импульса силы I , либо на основании погрешности глубины вдавливания. В первом случае относительную погрешность измерения $F_{h_{max}}$ можно принять равной относительной погрешности измерения I :

$$\frac{\Delta F_{h_{max}}}{F_{h_{max}}} = \frac{I^p - I}{I^p}, \quad (3)$$

где I^p – расчетное значение импульса силы, определяемое уравнением $I^p = mv_{max}^p$; I – значение импульса силы, непосредственно отображаемое СИ.

В другом случае, если известна относительная погрешность измерения глубины вдавливания, то относительная погрешность измерения $F_{h_{max}}$ может определяться соотношением $\Delta h/h = \Delta P/\Delta P$.

Погрешность измерения контактного диаметра d_c определяют, руководствуясь [2], согласно выражению

$$\frac{\Delta d_c}{d_c} = 0,5 \frac{\Delta D}{D} + 0,5 \frac{\Delta h_c}{h_c}. \quad (4)$$

Таким образом, вышеописанные положения позволили получить общий вид выражений для расчета относительной погрешности измерения H_{ITD} и E_{IDT} :

$$\frac{\Delta H_{ITD}}{H_{ITD}} = \frac{\Delta P_{max}}{P_{max}} + \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta h_c}{h_c}, \quad (5)$$

$$\frac{\Delta E_{IDT}}{E_{IDT}} = 2 \frac{\Delta F_{h_{max}}}{F_{h_{max}}} + \frac{\Delta m}{m} + 2 \frac{\Delta v_{min}}{v_{min}} + \frac{\Delta d_c}{d_c}. \quad (6)$$

Предложенный подход в ряде случаев является единственным способом оценки погрешности измерений, проводимых методом динамического индентирования, поскольку не всегда возможно создание мер или стандартных образцов. Это обусловлено в первую очередь большим разнообразием контролируемых материалов и возможным широким диапазоном изменения их свойств даже в рамках одного класса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СТБ 2495–2017.** Контроль неразрушающий. Определение физико-механических характеристик конструкционных материалов методами индентирования. – Введ. 01.09.2017. – Минск: Госстандарт, 2017. – 40 с.

2. **МИ 2083–90.** ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей. – Введ. 01.01.92. – Москва: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 11 с.

