

РАЗРАБОТКА ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ

© 2022 г. Гоголинский К.В.^{1*}, Голев Артём Сергеевич^{1**}, Сясько В.А.^{1***},
Уманский А.С.^{1****}, Шакирзянова Д.Р.^{1*****}

¹ - Санкт-Петербургский горный университет, 199106 Санкт-Петербург,
Васильевский остров, 21 линия дом 2

* nanoscan@yandex.ru; **artemgolev1999@gmail.com; *** 9334343@gmail.com ;

**** refreshermd@gmail.com; *****dinara.shakirzyanova@yandex.ru

Измерение механических свойств материалов безобразцовыми методами непосредственно на контролируемых объектах в условиях производства или эксплуатации является широко востребованной задачей. Такими объектами являются: сварные соединения нефтегазовых трубопроводов, ответственные элементы подъёмно-транспортного оборудования и многие другие.

В настоящее время эта задача решается с помощью портативных твердомеров [1]. Одним из наиболее распространенных типов портативных твердомеров являются твердомеры по шкалам Либа [2]. Их недостатком является то, что твердость по Либу является одновременно функцией пластических и упругих свойств материала и может быть сопоставлена со статическими шкалами твердости (Бринелля, Роквелла или Виккерса) только эмпирически для строго определенных материалов. Альтернативой данного метода является метод динамического инструментального индентирования (ДИИ), предложенный в [3]. Однако в настоящее время серийные приборы, реализующие метод ДИИ, отсутствуют.

В представленной работе решалась задача разработки первичного преобразователя для неразрушающего контроля механических свойств методом ДИИ путем модернизации ударного преобразователя (УП) твердомера по шкале Либа.

Принцип работы ударного преобразователя твердомера Либа в соответствии с [4] основан на том, что ударник, содержащий постоянный магнит, падает нормально к поверхности объекта испытания (ОИ), соударяется с ним и отскакивает. Пролетая через измерительную катушку постоянный магнит наводит в ней электродвижущую силу (ЭДС), пропорциональную скорости. Твердость по методу Либа рассчитывается по формуле (1).

$$HL = \frac{V_R}{V_A} \cdot 1000, \quad (1)$$

где V_R – скорость отскока ударника, V_A – скорость падения ударника.

Предложен способ модернизации ударного преобразователя (УП) Либа и способ обработки сигнала для реализации метода ДИИ [5].

Способ обработки сигнала заключается в численном дифференцировании и интегрировании временной зависимости скорости ударника в процессе контакта с поверхностью ОИ. Скорость ударника вычисляется из измеренной временной зависимости ЭДС, умноженной на коэффициент пропорциональности, определяемый независимой калибровкой [6]. Зависимость силы взаимодействия ударника с ОИ от глубины внедрения $P(h)$, аналогичная формату представления данных в методе инструментального индентирования [7], строится на основе данных, полученных интегрированием (глубина h) и дифференцированием (ускорение a) графика скорости. Сила P определяется из произведения массы ударника и ускорения. Анализ кривой $P(h)$ позволяет рассчитать максимальную и остаточную глубины внедрения ударника, рассеиваемую и упругую энергии удара, геометрические параметры отпечатка и максимальную нагрузку при ударе [3].

Для реализации описанного способа обработки сигнала были заменены металлические элементы УП (упорное кольцо и направляющая трубка) на неметаллические и изменено положение измерительной катушки относительно опоры УП, что позволило линеаризовать сигнал [5].

Для подтверждения предложенной методики был проведён эксперимент с использованием модернизированного УП Либа на трёх образцах (алюминиевом, латунном и стальном) твердостью по шкале Виккерса 30, 78 и 206 HV соответственно. Полученные результаты показали возможность использования модернизированного УП Либа для реализации метода ДИИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gogolinskii K.V., Syasko V.A., Umanskii A.S., Nikazov A.A. and Bobkova T.I. Mechanical properties measurements with portable hardness testers: advantages, limitations, prospects. 2019 Journal of Physics Conference Series 1384:012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1384/1/012012>.
2. Leeb D. Dynamic hardness testing of metallic materials. NDT Int. 1979, 12, 274–278.
3. Rudnitskii V.A., Rabtsevich A.V. Method of dynamic indentation for evaluating the mechanical characteristics of metallic materials. Russ. J. Nondestruct. Test. 1997, 33, 266–271.
4. ISO 16859-1:2015, Metallic materials — Leeb hardness test — Part 1: Test method, MOD.
5. Aleksander Umanskii, Gogolinskii Kirill, Syasko Vladimir and Golev Artem. 2022. "Modification of the Leeb Impact Device for Measuring Hardness by the Dynamic Instrumented Indentation Method" Inventions 7, no. 1: 29. <https://doi.org/10.3390/inventions7010029>.
6. Gogolinskii K., Syasko V., Umanskii A., Kazieva T., Gubskiy K., Kuznetsov A., Gluhov R. Impactor velocity measurement system for dynamic hardness testers and calibration machines on Leeb scales. Measurement 2021, 173, 108632. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108632>.
7. Oliver W. C., Pharr G. M. A new improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and sensing indentation experiments // J. of Mater. Res. — 1992. — 7, No. 6. — P. 1564—1582. <https://doi.org/10.1557/JMR.1992.1564>.