

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ

© 2024 г. Голев Артем Сергеевич^{1*}, К. В. Гоголинский^{2**}, К. И. Доронин^{3***},
А. С. Уманский^{3****}

¹ – ООО «Константа», 198097 Санкт-Петербург, Огородный пер., д. 21, лит. А

² – НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, 188300, Лен. область, г. Гатчина, мкр.
Орлова роща, д. 1.

³ – ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины
II», 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2

* - artemgolev1999@gmail.com; ** - nanoscan@yandex.ru; *** - doronin.k.i@mail.ru;
**** - refreshermd@gmail.com

Целью данной работы является анализ методик расчета модуля упругости материалов при динамическом инструментальном индентировании (ДИИ) [1]. Настоящее исследование проводится в рамках совершенствования метода ДИИ и разработки прибора для безобразцового неразрушающего контроля механических свойств материалов и изделий [2].

Для получения численных значений модуля упругости E_{it} при анализе диаграмм контактное усилие – глубина внедрения $P(h)$ рассматривается 3 методики: методика инструментального индентирования (ИИ) в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 [3], методика динамического инструментального индентирования (ДИИ), описанная в [1, 4], а также способ расчета параметров упругого взаимодействия по параметрам отпечатка, получаемого в процессе прямого измерения его геометрии (оптический). Основное различие данных способов – определение значения глубины остаточного отпечатка h_r : метод ИИ предполагает его определение через касательную к начальной области кривой разгрузки на графике $P(h)$, а метод ДИИ использует выражение для его расчета через остаточную глубину h_f и максимальную глубину внедрения h_{max} . Основой для расчета параметров ударно-контактного взаимодействия при оптическом способе служит определение проекционной площади A_p и контактной глубины h_c отпечатка по измеренному с помощью оптического микроскопа значению радиуса r отпечатка.

В качестве объекта испытаний выступают три материала: стали 20X25H20C2 и 20X23H18 с разной твердостью (319 HV_{0,2} и 189 HV_{0,2} соответственно), а также сплав безоловянной бронзы БрАНЖНМц9-4-4-1 (твердость 134 HV_{0,2}). Сигнал модифицированного преобразователя для измерения твердости по шкале Либа [2], записанный с частотой 15 МГц с помощью осциллографа Keysight Technologies DSOX2002A, обрабатывался в математическом пакете MATLAB для построения

зависимости $P(h)$ (рис. 1). Полученные значения модуля упругости E_{it} представлены в таблице 1.

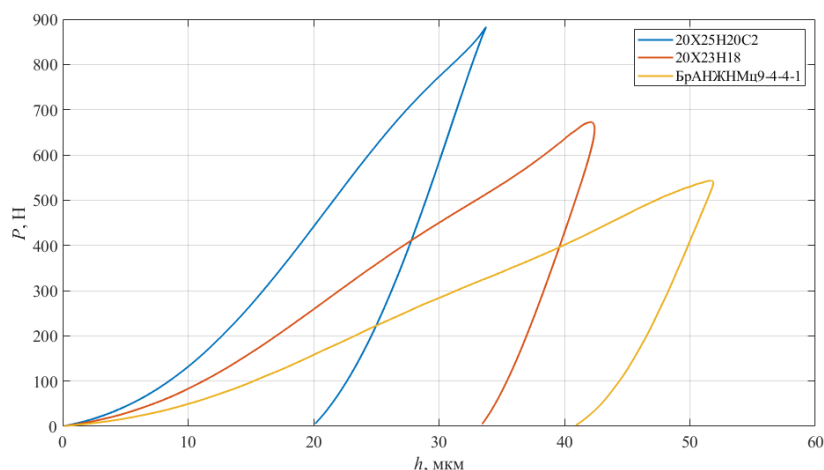


Рис. 1. Полученные диаграммы $P(h)$.

Таблица 1

Значения модуля упругости E_{it} , ГПа

Материал	ИИ	ДИИ	Оптический	Справочное
20X25H20C2	154	181	148	206
20X23H18	132	176	234	206
БрАНЖНМц9-4-4-1	78	91	62	106

Результат, наиболее близкий к табличным значениям (с отклонением 13-15 %), демонстрирует метод ДИИ, описанный в ГОСТ Р 56474-2015. Значения, полученные при помощи измерения радиуса отпечатка r , крайне чувствительны к ошибке его измерения. При их анализе выявлено, что погрешность измерения радиуса на 1 % вызывает ошибку значения модуля упругости на 12 %. Для диаграмм $P(h)$, получаемых на материалах с разным отношением значений модуля упругости к твердости, наблюдаются различия в области перехода от нагружения к разгрузке (рис. 1). Для повышения точности определения механических свойств рассматриваемым методом следует провести компьютерное моделирование для определения динамики упруго-пластической деформации при ударном взаимодействии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крень А.П., Протасеня Т.А. Определение физико-механических характеристик изотропного пирографита по параметрам динамического индентирования // Дефектоскопия. 2014. № 7. С. 51-59.
2. Umanskii A.S., Gogolinskii K.V., Syasko V.A., Golev A.S. Modification of the Leeb Impact Device for Measuring Hardness by the Dynamic Instrumented Indentation Method // Inventions. 2022. 7. DOI: 10.3390/inventions7010029.
3. ГОСТ Р 8.748-2011 (ИСО 14577-1:2002) Металлы и сплавы. Измерение твердости и других характеристик металлов при инструментальном индентировании.
4. ГОСТ Р 56474-2015. Системы космические. Контроль неразрушающий физико-механических свойств материалов и покрытий космической техники методом динамического индентирования. Общие требования.