

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЕННОГО ИЗДЕЛИЯ

© 2025 г. Александр Евгеньевич Коныгин<sup>1,2</sup>, А.В. Бызов<sup>1</sup>, Д.Г. Ксенофонов<sup>1</sup>,  
О.Н. Василенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – ИФМ УрО РАН, 620108 Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 18

<sup>2</sup> – Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
620075 Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

\* - [konygin1983@inbox.ru](mailto:konygin1983@inbox.ru)

Для увеличения износостойкости стальных изделий в современных промышленных процессах применяются разнообразные методики, среди которых преобладает поверхностное упрочнение. Одним из популярных и используемых в промышленности методов является поверхностная закалка. В процессе такой обработки важно контролировать глубину упрочнения. В настоящее время для токопроводящих материалов применяется вихретоковый метод [1]. Он обладает повышенной чувствительностью к составу, микроструктуре и механическим свойствам объекта. С его помощью можно обнаружить изменения электромагнитных свойств материала, определить механические свойства материала. Значительным преимуществом вихретоковых датчиков является их устойчивость к загрязнениям (грязь, пыль, масло и т.д.), которые могут встречаться в производственных условиях, а также широкий диапазон температур функционирования. Ввиду актуальности применения вихретокового метода была изучена работа авторов, в которой они продемонстрировали методику по восстановлению профиля твердости поверхностно упрочнённых материалов с использованием сквозного вихретокового преобразователя [2]. Данная методика проверена экспериментально с применением накладного вихретокового преобразователя.

Для этого, в качестве поверхностно упрочненного слоя, были взяты образцы стали 45 различной толщины и твердости (табл. 1):

Таблица 1

Исследуемые образцы стали 45

Толщина, мм (d)	Твердость (HRC)	Температура закалки, °С
0,95	32,0	870
2,00	62,5	870
3,20	35,0	870

Образец из магнитомягкой стали 3, взятый с условной твердостью HRC 20, выполнял роль сердцевины. Относительная магнитная проницаемость стали 45 принимается равной 75, удельная электрическая проводимость –  $3,5 \cdot 10^6$  См/м.

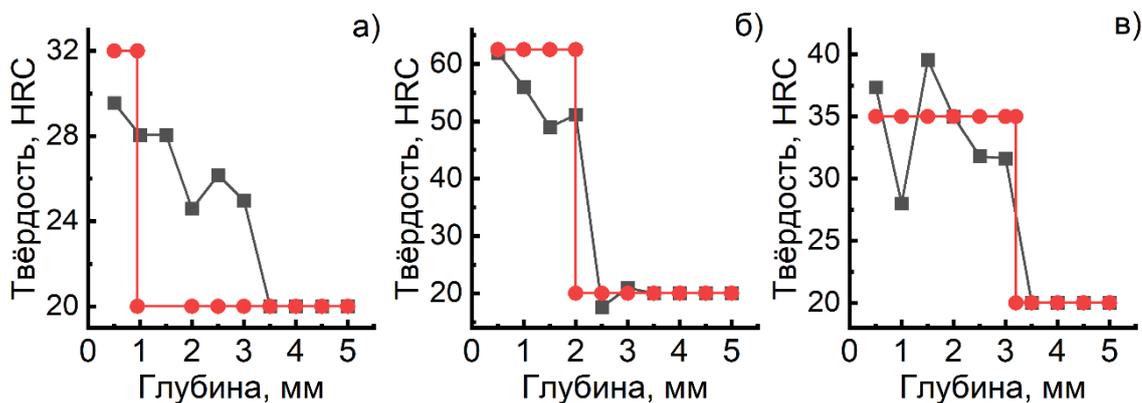


Рис. 1. Восстановленные профили твердости поверхностно упрочнённых образцов:  
 $d=0,95$  мм (а);  $d=2$  мм (б);  $d=3,2$  мм (в)  
 (● – реальный профиль; ■ – рассчитанный профиль)

Профиль твердости был получен на основе измерений, выполненных с помощью применения экспериментальной установки, состоящей из низкочастотного генератора, вихретокового преобразователя, осциллографа, вольтметра, измерителя разности фаз. Главным параметром контроля, необходимым для восстановления профиля твердости, стал модуль относительного вносимого напряжения трансформаторного преобразователя. Используя полученные данные, были рассчитаны соответствующие значения твердости для каждой толщины и построены профили твердости (рис. 1).

Исследование позволило восстановить профили твердости всех доступных образцов. Сравнение рассчитанных и реальных профилей твердости показало их схожее поведение, следовательно рассмотренная методика подходит для определения профиля твердости плоских изделий поверхностного упрочнения, а также может быть использована в процессе производства. Результаты эксперимента позволяют заключить, что представленная в литературе методика применима для восстановления профиля твердости изделий с поверхностным упрочнением с использованием накладного ВТП. Следует отметить необходимость дальнейшего развития и автоматизации этапов данной методики в целях повышения её качества и сокращения временных затрат.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИФМ УрО РАН*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федосенко Ю.К., Шкатов П.Н., Ефимов А.Г., под общ.ред. В.В. Клюева Вихретоковый контроль: уч. пособие. М.: Спектр, 2011. 224 с.
2. Kahrobaee S. Kashafi M. Hardness profile plotting using multi-frequency multi-output electromagnetic sensor // NDT&E International. 2011. V 44. P. 335-338.