

УДК 620.179.119:621.3.087.61  
КОНТРОЛЬ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ

А. Л. ЖАРИН, \* А. Г. АНИСОВИЧ, А. К. ТЯВЛОВСКИЙ,  
К. Л. ТЯВЛОВСКИЙ, А. И. СВИСТУН

«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
\*ГНУ «ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НАН Беларуси»  
Минск, Беларусь

Объекты исследования изготовлены из углеродистой стали в виде пластин размерами 15x40 мм, после различных видов термообработки (конкретно исследовались образцы, подвергнутые нормализации, обработанные по схеме закалка + отпуск и закаленные образцы), а также сталистого чугуна (без термообработки). В целях сравнения использовались также образцы из латуни. Предметом исследования являлось изменение свойств поверхности данных конструкционных материалов после воздействия магнитным импульсом. В качестве метода исследования была выбрана зондовая электрометрия, предусматривающая бесконтактные измерения пространственного распределения работы выхода электрона (р.в.э.) поверхности с помощью бесконтактного конденсаторного зонда. Достоинствами данного метода являются исключительно высокая чувствительность к любым изменениям состояния исследуемой поверхности, возможность построения карт распределения р.в.э. по поверхности образца, полное отсутствие разрушающих воздействий на образец. Недостатком метода является сложность интерпретации получаемых результатов в случае изменения состояния поверхности образца под действием одновременно нескольких факторов (например, внешних загрязнений и внутренних механических напряжений). Помимо зондовой электрометрии, поверхность образцов исследовалась также традиционными металлографическими методами, что позволило установить корреляцию изменения значений р.в.э. с изменениями структуры и свойств поверхности материалов.

Измерения выполнялись методом сканирующего зонда Кельвина. Исследуемые поверхности имели зеркальную полировку. Сканирование выполнялось в пошаговом режиме, величина шага составляла 1 мм при диаметре зонда также равном 1 мм. Значения р.в.э. оценивались по величине контактной разности потенциалов (к.р.п.)  $U_{CPD}$  между зондом и поверхностью объекта исследования в точке контроля. Погрешность измерения к.р.п., определяемая шумами предварительного усилителя сигнала зонда Кельвина, составляла  $\pm 2$  мВ. Для визуализации картины распределения р.в.э. использовалось представление значений  $U_{CPD}$  условными индексированными цветами. Для удобства интерпретации полученных результатов шкалы для всех

полученных визуализированных изображений были нормированы одинаковым образом.

Измерения для каждого из образцов выполнялись дважды: до воздействия электромагнитным импульсом и после такого воздействия. Визуализированные изображения обрабатывались средствами программного пакета OriginPro 7.5. Для всех визуализированных картин были вычислены гистограммы распределения значений к.р.п. Ширина столбца гистограммы во всех случаях была принята равной 2 мВ, что соответствовало разрешающей способности используемого зонда Кельвина.

Пример полученных при использовании данного метода контроля результатов приведен на рис. 1.

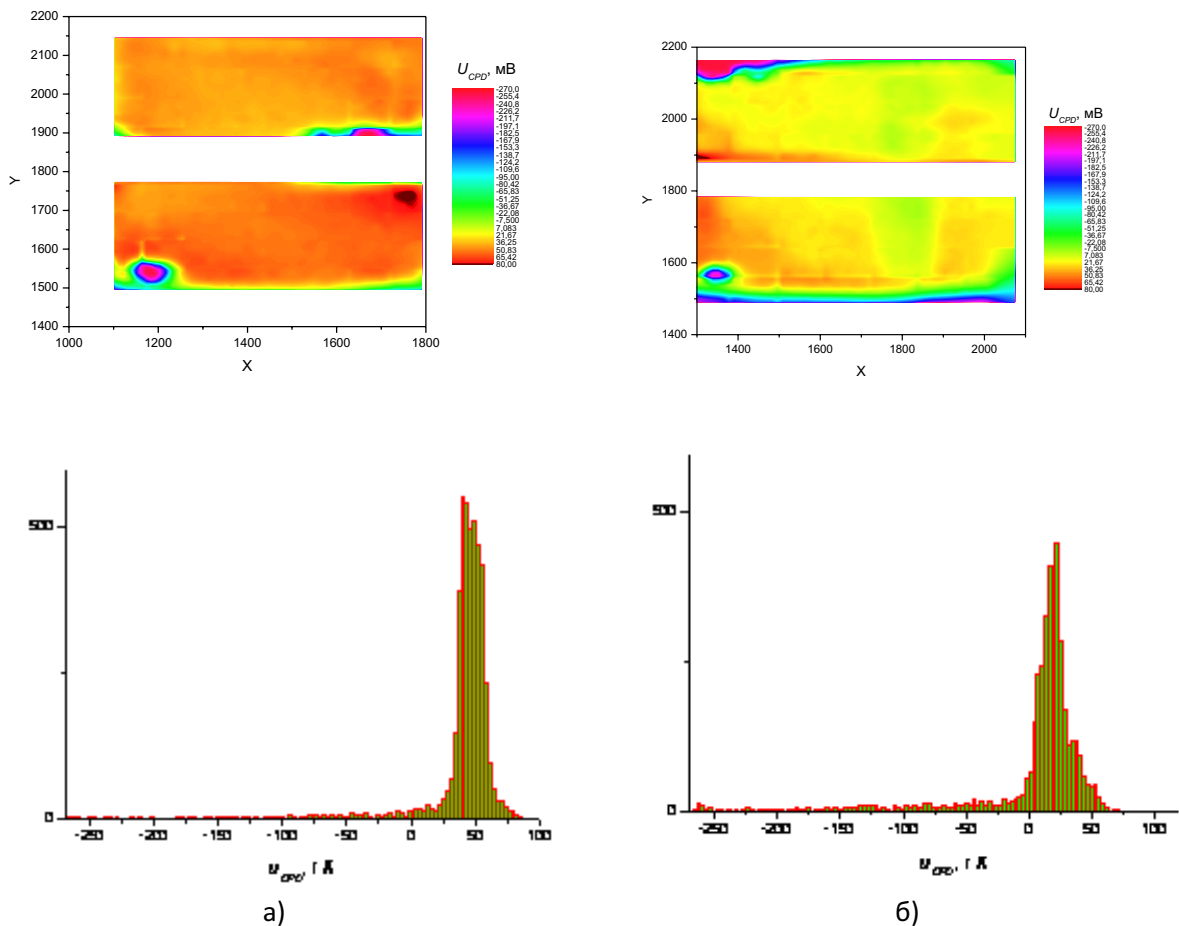


Рис. 1. Визуализированные карты и гистограммы распределения р.в.э. пары образцов из углеродистой стали, подвергнутых нормализации: а– до воздействия магнитным импульсом; б – после воздействия магнитным импульсом

Наиболее явно изменения прослеживаются на гистограммах распределения контактной разности потенциалов. Из рис. 1 видно, что до обработки центр распределения приходился на значение 50 мВ, а после обработки сместился к величине 20 мВ, т.е. работа выхода электрона (знак которой противоположен к.р.п.) увеличилась на 30 мВ. "Раздвоение" пика второй гистограммы, возможно, связано с тем, что при металлографическом исследова-

нии часть поверхности каждого из образцов подвергалась травлению, что привело к небольшому отличию к.р.п. протравленного участка поверхности образцов (справа на визуализированной карте). В левом нижнем углу образца № 1 (нижний на обеих картах) присутствует небольшое по размерам пятно с резко отличающейся величиной р.в.э. – возможно, дефект химического состава или устойчивое загрязнение. Об устойчивости дефекта можно судить по тому, что он проявляется как до, так и после воздействия магнитным полем.

Наибольший рост р.в.э. после воздействия магнитным импульсом наблюдался у нормализованных образцов, немного меньший – у закаленных и отпущенных. Картины распределения р.в.э. образцов из закаленной стали практически не изменялись. У чугунных образцов воздействие магнитным импульсом, напротив, привело к понижению работы выхода электрона. Равномерность распределения р.в.э. по центральным областям образцов после обработки уменьшилась, однако, переход от центральных областей к краям также стал менее резким. Распределение значений к.р.п. на гистограмме перестало быть двухмодальным и по форме приблизилось к классическому Гауссову распределению. Это позволяет говорить о том, что проведенная обработка способствовала выравниванию свойств поверхности между областями, прежде имевшими существенно различные значения р.в.э. Учитывая, что эффект изменения р.в.э. после магнитной обработки у образцов из немагнитных материалов (латуни) не наблюдался, можно предположить, что выявленные изменения связаны с магнитными свойствами стали и чугуна и отражают процесс перестройки доменной структуры в относительно мягких (незакаленных) материалах под действием импульсного магнитного поля. Изменение структуры незакаленных материалов подтверждается также металлографическими исследованиями. При этом закаленная сталь под металлографическим микроскопом демонстрировала ту же структуру, что и до магнитного воздействия.

Важным результатом явилась выявленная отрицательная корреляция между значениями р.в.э. и твердости поверхности. Так, у незакаленных образцов твердость после воздействия магнитным импульсом повышалась (больше у нормализованных, меньше – у отпущенных образцов), у чугунных – понижалась, у закаленных оставалась неизменной. Таким образом, зондовая электрометрия может представлять интерес как средство неразрушающего контроля твердости поверхности металлических образцов.