

## ВЛИЯНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОРРОЗИОННОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ СТАЛИ 10

Клевцов Г.В.<sup>1</sup>, Валиев Р.З.<sup>2</sup>, Кушнарченко В.М.<sup>3</sup>, Клевцова Н.А.<sup>1</sup>,  
Мерсон Е.Д.<sup>1</sup>, Ганеев А.В.<sup>2</sup>, Караваяева М.В.<sup>2</sup>, Пигалева И.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия, [Klevtsov11948@mail.ru](mailto:Klevtsov11948@mail.ru)

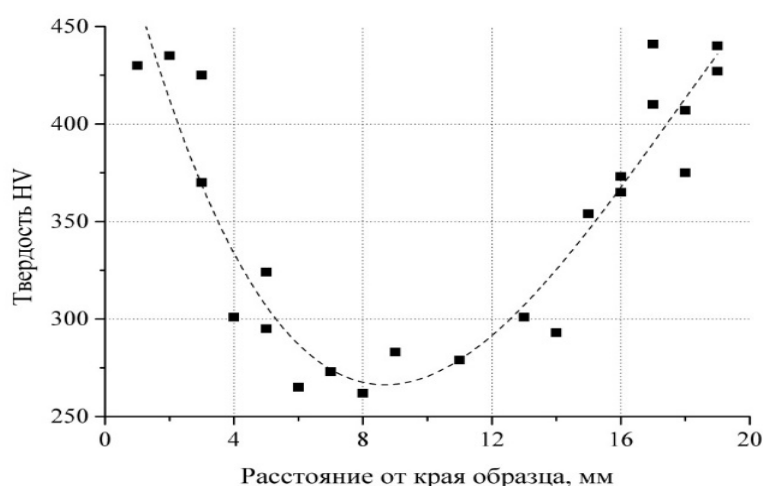
<sup>2</sup>Институт физики перспективных материалов УГАТУ, Уфа, Россия, [RZValiev@mail.ru](mailto:RZValiev@mail.ru)

<sup>3</sup>Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия, [vmkushnarenko@mail.ru](mailto:vmkushnarenko@mail.ru)

Целью настоящей работы является установление закономерностей влияния наноструктурирования на коррозионное повреждение малоуглеродистой стали.

**Материал и методики исследования.** В качестве исследуемого материала была использована сталь 10 (0,11 % С). Наносостояние получено путем кручения под квазигидростатическим давлением (ИПДК) при  $P = 6$  ГПа, 10 оборотов при температуре 350 °С [1]. Диаметр образца равнялся 20 мм, толщина – примерно 0,5 мм. Средний размер зерен составляет  $d_{cp} = 30$  нм. Испытание стали на твердость проводили на скрэтч-тестере Nanovea с нагрузкой 10 Н. Определение скорости коррозии образцов ( $V_k$ , г/м<sup>2</sup>.ч и  $V_{kl}$ , мм/год) проводили согласно ГОСТ 9.908-85 [2]. Исследование поверхности образцов после коррозионного воздействия проводили с помощью конфокального лазерного сканирующего микроскопа (КЛСМ) Lext OLS4000. Для анализа поверхностей с коррозионными повреждениями был выбран ряд 3D параметров поверхностной шероховатости, представляющих собой интегральные характеристики поверхности заданной площади. В качестве таких параметров использовали среднеквадратичное отклонение профиля  $S_q$ , среднее арифметическое значение высоты профиля  $S_a$ , параметры объема впадин увеличенной глубины  $V_{vv}$ , объема впадин опорной поверхности  $V_{vc}$ , вычисляемые из кривой опорной поверхности Abbot-Firestone в соответствии со стандартом ISO 25178.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Как видно из рис. 1, в дисковых образцах из стали 10 после ИПДК максимальная твердость (HV) имеет место в периферийной области, минимальная – в центре образцов.



**Рис. 1.** Распределение твердости (HV) по диаметру дискового образца стали 10 после ИПДК

Скорость коррозии стали 10 в различном состоянии представлена в таблице 1. Видно, что после ИПДК средняя скорость коррозии стали 10 выше в 1,6-1,7 раза, чем в исходном состоянии.

Таблица 1. Средняя скорость коррозии стали 10 в различном состоянии

| Состояние стали 10 | $V_k$ , г/час·м <sup>2</sup> | $V_{kl}$ , мм/год |
|--------------------|------------------------------|-------------------|
| Исходное           | 0,298                        | 0,324             |
| После ИПДК         | 0,492                        | 0,551             |

На поверхности образцов из стали 10 в исходном состоянии, подвергнутых коррозионному воздействию, видна коррозия пятнами и коррозионные язвы, ориентированные в основном по границам зерен. Участки коррозии имеют неправильную форму. Микрорельеф и механизм коррозионного повреждения поверхности образцов из стали 10 после ИПДК в значительной степени зависит от расстояния относительно центра образца. В периферийной части образцов (R) области повреждения коррозией пятнами и коррозионные язвы имеют вытянутую форму и большие размеры (рис. 2 а). В средней части образцов (0,5 R) области повреждения коррозией пятнами не имеют такой явно вытянутой формы, а коррозионные язвы имеют в основном округлую форму, хотя встречаются и язвы вытянутой формы (рис. 2 б). В центре образца (0) область повреждения коррозией пятнами имеет неправильную форму, а коррозионные язвы округлые (рис. 2 в).

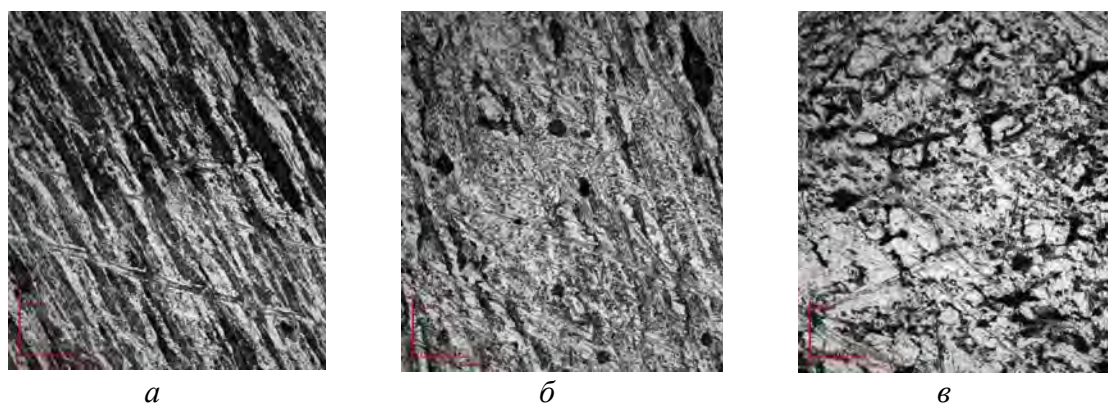


Рис. 2. Микрорельеф поверхность образцов из стали 10 после ИПДК на расстоянии R (а), 0,5 R (б) и 0 (в) от центра после коррозионного воздействия

В табл. 2 приведены относительные площади поверхности образцов после коррозионного воздействия, а также глубина 5–6 наиболее глубоких коррозионных язв ( $h$ ). Из таблицы видно, что общая площадь, нарушенная коррозией, во всех случаях составляет более 90-94 %. Поскольку нет четко определенной разницы между коррозией пятнами и коррозионными язвами, в таблице 2, помимо каждой из вышеуказанных видов коррозии, приведено значение совместной площади пятен и язв.

Таблица 2. Площадь поверхности образцов из стали 10 в различном состоянии после коррозионного воздействия. Площадь, поврежденная всеми видами коррозии ( $S_1$ ), совместно коррозией пятнами и коррозионными язвами ( $S_2$ ), коррозией пятнами ( $S_{\text{пятн.}}$ ) и коррозионными язвами ( $S_{\text{язв.}}$ ), а также глубина язв ( $h$ )

| Состояние стали 10 |       | $S_1$ , %<br>(общ.+пятн.+язв.) | $S_2$ , %<br>(пятн.+язв.) | $S_{\text{пятн.}}$ , % | $S_{\text{язв.}}$ , % | $h$ , мкм |
|--------------------|-------|--------------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|-----------|
| Исходное           |       | 94,7                           | 15,1                      | 12,3                   | 2,8                   | 7-9       |
| ИПДК               | R     | 93,9                           | 18,5                      | 13,5                   | 4,0                   | 6-8       |
|                    | 0,5 R | 93,9                           | 17,3                      | 15,9                   | 1,4                   | 4-6       |
|                    | 0     | 90,6                           | 12,1                      | 10,3                   | 1,8                   | 2-3       |

Из приведенной таблицы следует, что в периферийной области образцов ( $R$ ) совместное воздействие коррозией пятнами и коррозионных язв находится на максимальном уровне и понижается по мере приближения к центру образца. Обращает на себя внимание относительно большая площадь, занимаемая коррозионными язвами в периферийной ( $R$ ) части образца. Наибольшая глубина коррозионных язв также понижается от периферии образцов к их центру (табл. 2).

Таким образом, в отличие от образцов из стали 10 в исходном состоянии, степень и характер коррозионных повреждений поверхности дисковых образцов стали, подвергнутой ИПДК, сильно меняются в радиальном направлении. Поэтому было целесообразно провести количественный анализ отдельных участков поверхности образцов данного типа в направлении от периферии к центру.

Было установлено, что параметры шероховатости поверхности вдоль радиального направления дисковых образцов стали 10 после ИПДК меняются немонотонно. Вначале наблюдается резкое увеличение значений параметров  $S_a$ ,  $S_q$ ,  $V_{vc}$  и  $V_{cor}$ , затем они начинают снижаться, достигая минимума в центре образца. При переходе через центр образца зависимость симметрично повторяется. Такая закономерность не согласуется, например, с данными изменения твердости стали вдоль радиального направления образца (рис. 1). Параметр  $V_{vv}$ , характеризующий объем относительно глубоких впадин (язв), ведет себя несколько иначе по сравнению с остальными характеристиками шероховатости. Главное отличие состоит в том, что максимальное значение данного параметра наблюдается на краях образца. При этом  $V_{vv}$  монотонно снижается от края к центру образца.

### **Выводы**

1. Скорость коррозии стали 10 после ИПДК в 1,6–1,7 раза выше по сравнению с исходным состоянием.

2. Общая площадь поверхности образцов, поврежденная всеми видами коррозии, во всех случаях составляет более 90–94 %.

3. В периферийной области дисковых образцов стали 10 после ИПДК повреждение коррозией пятнами и коррозионными язвами максимально и понижается по мере приближения к центру образца. Причем, в периферийной области образцов имеет место самая большая относительная площадь, занимаемая коррозионными язвами. Наибольшая глубина коррозионных язв также понижается от периферии образцов к их центру.

4. Параметры шероховатости поверхности вдоль радиального направления дисковых образцов стали 10 после ИПДК меняются немонотонно. Параметры  $S_a$ ,  $S_q$ ,  $V_{vc}$ , а также  $V_{cor}$ , характеризующий объем потерянного металла в результате коррозионных испытаний, вначале резко увеличиваются, затем их значения начинают снижаться, достигая минимума в центре образца. Параметр  $V_{vv}$ , характеризующий объем относительно глубоких впадин (язв), имеет максимальное значение на краях образца, а затем монотонно снижается от края к центру образца.

*Работа выполнена при финансово поддержке РФФИ (проект 14-08-00301).*

### **Список литературы**

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007.- 398 с.
2. ГОСТ 9.908-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости (Дата введения 01.01.87).- М.: ИПК Из-во Стандартов, 1999 г.