**УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА С ПОМОЩЬЮ ВЧ-ПЛАЗМЫ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ**

**Христолюбова В.И., Хубатхузин А.А., Абдуллин И.Ш., Лукин О.В.**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия, Казань, ул. К.Маркса, д. 68, e-mail: valllerrriya[@mail.ru](mailto:al_kstu@mail.ru)*

В настоящее время функциональные покрытия находят широкое применение в самых различных отраслях промышленности. Они используются для защиты материала деталей и узлов от коррозии, обеспечивают высокую твердость поверхности, уменьшают изнашивание, позволяют снизить себестоимость изделий. При обработке в ВЧ плазме пониженного давления упрочнение происходит не только на поверхности, но и в объеме изделия. С целью защиты от изнашивания и повышения долговечности изделия и других его характеристик выбранные детали из стали 30Х2НМФА были обработаны емкостным разрядом со следующими параметрами (табл.1).

Табл.1 Режимы обработки

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Обработка вырезки ствола с подачей потенциала -5 В | | | | | | | | |
| № | P, кВт | Газ1 | Q1, (мг/мин) | Газ2 | Q2, (мг/мин) | U смещ, В | P, Па | Time, мин |
| 1 | 1200 | Ar | 44 |  |  | 5 | 20 | 20 |
|  |  | Ar | 44 | СН4 | 2 | 5 | 22 | 20 |

С помощью энергодисперсионного микрорентгенфлоуресцентного спектрометра M4 Tornado (Bruker) был проведен элементный анализ(рис.1, табл.2).

****

Рис.1 Усредненный спектр в точке

Табл.2 Элементный состав

El AN Series norm. C Atom. C Error (1 Sigma)

[wt.%] [at.%] [wt.%]

----------------------------------------------

Fe 26 K-series 96.59 96.75 1.53

Ni 28 K-series 2.01 1.92 0.00

Cr 24 K-series 0.91 0.98 0.00

Mo 42 K-series 0.35 0.20 0.00

V 23 K-series 0.14 0.15 0.00

----------------------------------------------

Total: 100.00 100.00

Система контроля качества включает в себя методы неразрушающего контроля: профилометрия и наноиндентирования. Для измерения твердости используется сканирующий нанотвердомер «Наноскан-3D». Измерения механических свойств методом наноиндентирования регламентируются международным стандартом ISO 14577. Наиболее распространенным является метод, предложенный Оливером и Фарром. В рамках данного метода твердость *H* образца определяется уравнением



где *Ас* – площадь проекции отпечатка при максимальном значении приложенной нагрузки *Pmax* в м2.

Значение эффективного модуля упругости:



Константа *β* зависит от формы индентора. В наноиндентировании чаще всего применяется трехгранная пирамида Берковича. Для индентора Берковича с углом при вершине 142º *β* = 1.034. Жесткость контакта *S* определяется по наклону начальной части кривой разгружения *Pmax*:



Наибольшая глубина внедрения индентора в поверхность *hc* вычисляется по формуле:



Константа *ε* зависит от геометрии индентора (*ε ~*0.75 для пирамиды Берковича), *hi* – расстояние, соответствующее пересечению касательной к кривой разгружения в начальной части с осью внедрения.

Площадь проекции *Ас* определяется из заранее заданной функции формы индентора *A(h)* при подстановке рассчитанного значения контактной глубины *hc* :



Функция формы наконечника представляет собой зависимость площади сечения наконечника *A* от расстояния вдоль оси индентора *h*. Функция *A(h)* в рамках данного метода предполагается известной заранее.

Заданными параметрами при измерении являлись амплитуда колебаний кантилевера зонда при поиске поверхности при нанесении индента равная 10 нм, скорость нагружения при внедрении в поверхность образца при нанесении индента равная 1000 нм/с, время выстаивания зонда в нагруженном состоянии после внедрения в поверхность образца (выдержка при максимальной нагрузке) равная 10000 мс, продолжительность измерения термодрейфа в процессе индентирования – 60000 мс. Термодрейф измеряется на кривой разгрузки при индентировании. В данном случае термодрейф измерялся на уровне 15% от полной разрузки зонда.

В результате был получен рельеф образца в 3D режиме (рис.2).

|  |  |
| --- | --- |
| D:\лера\Исследования\поверхности\20Х13 25,02,14 (без оттенка).png | D:\лера\Исследования\поверхности\222 цветной.png |
| а) | б) |

Рис. 2 Сканирование поверхности

Как видно из рисунка, поверхности обработанного образца сгладилась. Шероховатость образца снизилась на 70%.

За счет газонасыщения поверхности и образования нанодиффузионных слоев заметно уведичилась твердость исследуемого образца, о чем свидетельствует рис.3.

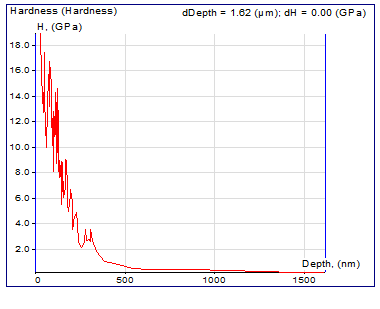


Рис. 3 Зависимость твердости по глубине

Описанные свойства позволяют сделать вывод о том, что произошло упрочнение поверхности изделия на глубину до 200 нм. Повышены прочностные свойства материала. Основным результатом является полировка металла с одновременным увеличением микротвердости.