

2. Mirzajonov, R. I. Ways to increase the energy efficiency of electric vehicles / R. I. Mirzajonov, O. O. Daminov. – Proceedings of the Republican scientific and practical conference on «Current issues of ensuring the continuity of maintenance of modern cars in our country and their effective solutions». – Fergana, 2021. – P. 246–249.

3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geotab.com/blog/ev-range>. – Дата доступа: 5.03.2022.

Представлено 14.04.2022

УДК 621.785.5

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ**

### **SELECTION OF OPTIMAL ELECTROLYTIC-PLASMA NITROGEN MODES FOR HIGH-SPEED STEEL**

**Мухамедов А. А.**, канд. техн. наук, доц., **Даминов Л. О.**, ст. преп.,

**Усмонов Б. Ш.**, магистрант

ТГТУ имени И.Каримова, г.Ташкент, Узбекистан

A. Mukhamedov, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,

L. Daminov, senior lecturer

B. Usmonov G., Master's student,

I.Karimov TSTU, Tashkent, Uzbekistan

*На наш взгляд, в результате решения поставленных задач, удастся сделать важный вклад в области плазменно-электролитического модифицирования сталей и сплавов, по крайней мере, в совершенствовании процесса плазменно- электролитического азотирования и в понимании основных закономерностей формирования поверхностного модифицированного слоя легированных сталей при электролитно-плазменном азотировании.*

*The prices of crypto-related assets like Bitcoin have skyrocketed in recent months and many speculative investors understandably appear to want upside exposure to the space. However, the risk of a downwards correction*

*is high, as a result of solving the tasks, it will be possible to make an important contribution.*

*Ключевые слова:* азотирования, сталь, шероховатость, инструмент, диффузионного слоя, нитридного слоя

*Keywords:* nitriding: steel, roughness, instrument, diffusion layer, nitride.

## ВВЕДЕНИЕ

Азотирование является процессом многоцелевого назначения, которым упрочняется широкая гамма металлов и сплавов. Получающийся после азотирования диффузионный слой обеспечивает широкий диапазон физико-механических характеристик упрочняемых материалов [1]. Однако конкретные условия эксплуатации требуют создания регулируемого диффузионного слоя с формированием тех или иных фазовых и структурных составляющих, которые обеспечивают работоспособность изделий при повышенных износе, коррозии и знакопеременных нагрузках.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для режущего и штампового инструмента, а также деталей из высоколегированных сталей, режим эксплуатации которых сопровождается повышенным износом и ударными нагрузками, желательно формирование развитой высокопрочной зоны внутреннего азотирования без хрупкого поверхностного нитридного слоя [1, 3].

В связи с этим, с целью получения диффузионного слоя на базе твердого раствора и нитридов легирующих элементов без образования хрупких нитридов железа были исследованы влияния режимов электролитно-плазменного азотирования на структуру и свойства образцов быстрорежущей стали Р6М5.

Процесс обработки проводили в электролите из водного раствора, содержащего 20 % карбамида, 10 % карбоната натрия в следующем режиме: температура азотирования образцов – 450–550 °С, подаваемое напряжение между анодом и образцом при нагреве до температуры азотирования – 320 В, а при выдержке при 450–550 °С – 180–200 В, время азотирования варьировалось от 3 до 12 минут.

На рисунке 1 приведена зависимость микроструктуры стали Р6М5 от продолжительности азотирования при температуре 550 °С. Видно, что микротвердость в зависимости от времени азотирования возрастает

ет, и, после 7 минут азотирования рост микротвердости становится незначительным.

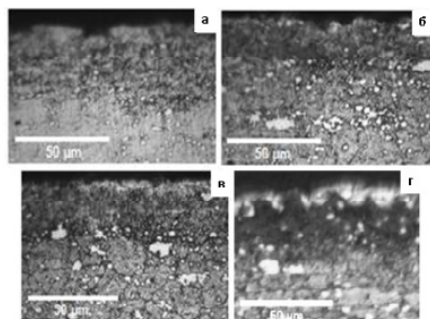


Рисунок 1 – Микроструктура поверхностных модифицированных слоев стали P6M5 после азотирования при 550°C в течение 3 мин (а), 5 мин (б), 7 мин (в) и 9 мин (г)

На рисунке 2 показана зависимость шероховатости поверхности образцов стали P6M5 от продолжительности процесса азотирования. Видно, что параметр шероховатости увеличивается с увеличением времени азотирования. Металлографический анализ, данные микротвердости и шероховатости показывают, что азотирование с продолжительностью до 7 мин позволяет получить упрочненный слой необходимой толщины и допустимой шероховатости для режущих инструментов из быстрорежущих сталей. Таким образом, можно установить, что оптимальное время электролитно-плазменного азотирования быстрорежущей стали P6M5 в рассматриваемом электролите на основе карбамида составляет 7 минут. В связи с этим, далее исследовали только те образцы, которые были азотированы в течение 7 мин.

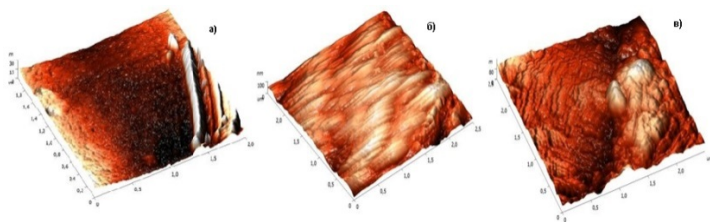


Рисунок 2 – Изображения рельефа поверхности образцов стали P6M5, азотированных электролитно-плазменным воздействием при 550°C с продолжительностью 3 мин (а), 5 мин (б) и 7 мин (в)

На рисунке 3 представлены изменения интенсивности изнашивания  $J$ , относительной износостойкости к абразивному износу  $K_{и}$  и микротвердости  $H$  в зависимости от температуры азотирования при постоянной длительности процесса – 7 минут.

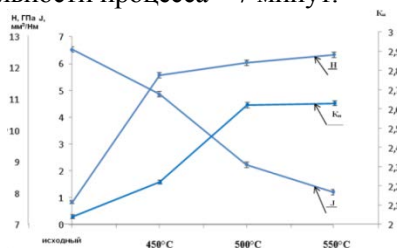


Рисунок 3 – Изменения интенсивности изнашивания  $J$ , относительной износостойкости к абразивному износу  $K_{и}$  и микротвердости  $H$  от температуры азотирования

Видно, что образцы стали Р6М5, азотированные при температуре 550 °С показывают наивысшую микротвердость и минимальную интенсивность изнашивания по сравнению с остальными образцами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основе экспериментальных исследований, выбраны оптимальные режимы электролитно-плазменного азотирования быстрорежущих сталей, в которых формируется равномерный модифицированный слой, состоящий из диффузионного слоя на базе твердого раствора без слоя хрупких нитридов железа: температура азотирования – 500...550 °С, продолжительность процесса азотирования – до 7 минут.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. – М.: Металлургия, 1983. – 527 с.
2. Badisch, E. Abrasive wear of high speed steels: influence of abrasive particles and primary carbides on wear resistance / E. Badisch, C. Mitterer // Tribology International, 2003. – V. 36. № 10. – P. 765–770.
3. Chau, A. S. Wear resistance of high-speed steels and cutting performance of tool related to structural factors / A. S. Chau, M. Hudakova // Wear, 2009. – V. 267. – P. 1051–1055.
4. Новые идеи о механизме образования структуры азотированных сталей / С. А. Герасимов [и др.]. – МиТОМ, 2004.

Представлено 20.04.2022