**Модификация поверхности инструментальной стали 9ХС анодным и катодным плазменно-электролитным азотированием**

***Вдовиченко Р.А.1, Петровичева А.С.1, Носова М.А.2, Маркина Л.М.2, Мамедова Ф.Г.2, Наумов И.М.2***

*Аспирант, 1 год обучения*

*1Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, Россия*

*2Костромской государственный университет, Кострома, Россия*

*E-mail:* [*rostik.vd@yandex.ru*](mailto:rostik.vd@yandex.ru)

Целью данного исследования является изучение эффективности применения плазменно-электролитной химико-термической обработки (азотирования) при анодной и катодной полярности с последующей закалкой после нагрева для улучшения эксплуатационных свойств инструментальной стали 9ХС.

Обработка цилиндрических образцов высотой 15 мм и диаметром 11 мм проводилась в водном растворе электролита, содержащем 5 % хлорида аммония и 5 % аммиака, при оптимальной для азотирования температуре 750 °С в течение 5 минут для анодного процесса и 10 минут для катодного. Продолжительность процесса соответствует оптимальным условиям для каждого из указанных способов реализации плазменно-электролитной химико-термической обработки. Раствор электролита циркулировал в системе со скоростью 2,5 л/мин, а его температура поддерживалась равной 22±2 °С.

Анодное плазменно-электролитное азотирование (ПЭА) снижает шероховатость стальных образцов в 2,7 раза по *Ra*(табл. 1) и способствует удалению рисок механического шлифования с формированием однородного пористого оксидного слоя на поверхности. Снижение шероховатости обеспечивается анодным растворением, а образование наружного оксидного слоя высокотемпературным окислением парами воды. После катодного ПЭА шероховатость *Ra* незначительно возрастает (табл. 1), что связано с разрушающим действием электрических разрядов на наружный оксидный слой (особенность катодного процесса) и приводит к образованию развитого поверхностного рельефа.

Металлографический анализ поперечных сечений образцов после анодного и катодного ПЭА подтвердил формирование диффузионного слоя, максимальная микротвердость которого практически не зависит от способа насыщения и составляет 1110–1120 HV, но при этом наблюдаются некоторые различия структурно-фазового состава в поверхностном слое, определяющие в совокупности с характеристиками поверхности трибологическое поведение материала. Минимальный коэффициент трения и интенсивность изнашивания характерны для поверхности, модифицированной в условиях катодного ПЭА, после которого снижаются в 1,2 раза и 16 раз соответственно по сравнению с необработанной сталью 9ХС.

Таблица 1. Температура *T*, напряжение *U* и сила тока *I* при ПЭА, убыль массы Δ*m*, средняя *Ra* шероховатость поверхности, температура в зоне фрикционного контакта *Tfr*, коэффициент трения μ и убыль массы при трении Δ*mfr* после анодного и катодного азотирования образцов из стали 9ХС с последующей закалкой

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Способ обработки | *T*, °С | *t*, мин | *U*, В | *I*, А | Δ*m*, мг | *Ra*, мкм | *Tfr*, °С | μ | Δ*mfr*, мг |
| АПЭА | 750 | 5 | 225 | 7.5 | 32.5 | 0.37±0.07 | 102 | 0.464 | 3.16 |
| КПЭА | 10 | 115 | 11.4 | 101 | 1.16±0.11 | 99 | 0.300 | 1.8 |
| До обработки | | | | | | 1.00±0.10 | 51 | 0.361 | 28.4 |