

**АЗОТИРОВАНИЕ СТАЛИ ХВГ В УСЛОВИЯХ АНОДНОГО
ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО НАГРЕВА**

Сталь ХВГ относится к инструментальным и используется для производства режущего и измерительного и прочего специального инструмента. Однако, из-за большого содержания углерода и незначительной степени легирования эта сталь подвержена окислению в условиях влажного цеха или при контактной коррозии. В данной работе рассматривается применение анодного электролитно-плазменного нагрева для повышения сопротивляемости коррозии стали ХВГ. Этот метод имеет ряд преимуществ. Большая скорость нагрева обрабатываемой поверхности, вплоть до 100 °С/с, приводит к измельчению размеров зерна. Нет обязательной подготовки поверхности перед обработкой. Возможность совмещения операций химико-термической обработки: после насыщения поверхностного слоя легкими элементами (азот, углерод, бор) при отключении напряжения на электролизере происходит закалка образца в рабочем электролите.

Цилиндрические образцы диаметром 12 мм и высотой 15 мм подвергались обработке в течение 5 минут при фиксированной температуре из диапазона от 650 до 850 °С с шагом в 50 °С, а за тем нагреву до 850 °С с выдержкой при этой температуре 30 с. После этого производилась закалка в рабочем электролите. В качестве электролита использовался водный раствор состава 100 г/л хлорида аммония и 50 г/л нитрата аммония. Первый компонент обеспечивал проводимость электролита, необходимую для возникновения явления анодного электролитно-плазменного нагрева, второй – как азотсодержащий компонент. В ряде работ такой состав электролита применялся для азотирования мало- или среднеуглеродистых сталей [1], но охлаждение производилось от температуры насыщения. В данной работе закалка для всех случаев осуществлялась от температуры, рекомендованной в справочниках для достижения максимального комплекса механических свойств. Такой подход обеспечивает исключение температуры закали из факторов влияния на свойства поверхности, которые будут определяться лишь зависимостью диффузии азота от температуры насыщения.

Поляризационные кривые снимались при помощи потенциостата-гальваностата ICP PRO M. Коррозионной средой выступал 0,1 н. раствор сульфата натрия. Перед записью поляризационной кривой образцы выдерживались в растворе до установления потенциала разомкнутой цепи до стационарного значения. Развертка потенциала

осуществлялась от потенциала на 250 мВ ниже потенциала разомкнутой цепи со скоростью 1 мВ/с.

Определение трибологических характеристик проводилось по схеме «шарик по диску». В качестве контр-тела использовался шарик диаметром 9 мм из стали ШХ15. Нормальная нагрузка составляла 104,5 Н, путь трения 100 м при линейной скорости скольжения 24,5 см/с. Массовый износ определялся по разности масс образца до и после трения.

Во всех случаях обработки твердость по Роквеллу не ниже 60 HRC, что свидетельствует о том, что в ходе охлаждения происходит закалка образцов. Согласно полученным данным коэффициент трения после обработки незначительно снижается. Максимальное уменьшение коэффициента трения наблюдается после обработки при температуре насыщения 650 °С. С ростом температуры нагрева происходит увеличение коэффициента трения. При насыщении при температуре 850 °С коэффициент трения в конце пути сравнивается с величиной необработанного образца. Однако, во всех случаях массовый износ обработанных образцов ниже, чем у необработанного. Незначительное увеличение массового износа наблюдается при повышении температуры обработки до 850 °С. В целом, наблюдается снижение потери массы в среднем в 30 раз. Такое поведение может быть объяснено тем, что при трении сырого образца в месте контакта шарика с деталью за счет высокой интенсивности процесса образуется оксидная пленка, которая и контролирует величину коэффициента трения. У обработанных образцов на поверхности уже сформирован оксидный слой, на износ которого необходимо некоторое время. На графиках это выражается в более пологом увеличении коэффициента трения до стационарного значения.

Снижение массового износа так же связано с образованием пористого оксида на поверхности образца. Более мягкий оксид служит одновременно и смазочным материалом. Также на поверхности образуется насыщенный азотом поверхностный слой, обладающей хорошей прирабатываемостью [2]. Эти два фактора приводят к снижению удельного износа на 2 порядка.

При любом режиме обработки плотность тока коррозии ниже, чем у сырых образцов (таблица 1.). Однако, следует отметить две особенности зависимости этого параметра от режимов нагрева. Во-первых, минимально значение плотности тока коррозии наблюдается при температуре насыщения 750 °С. Как при понижении, так и при увеличении температуры насыщения плотность тока коррозии увеличивается. Так же, при более низких температурах насыщения рост плотности тока коррозии минимален, а при обработке при температу-

ре 850 °С он возрастает в 3 раза по сравнению с минимальным значением и приближается к току коррозии необработанного образца.

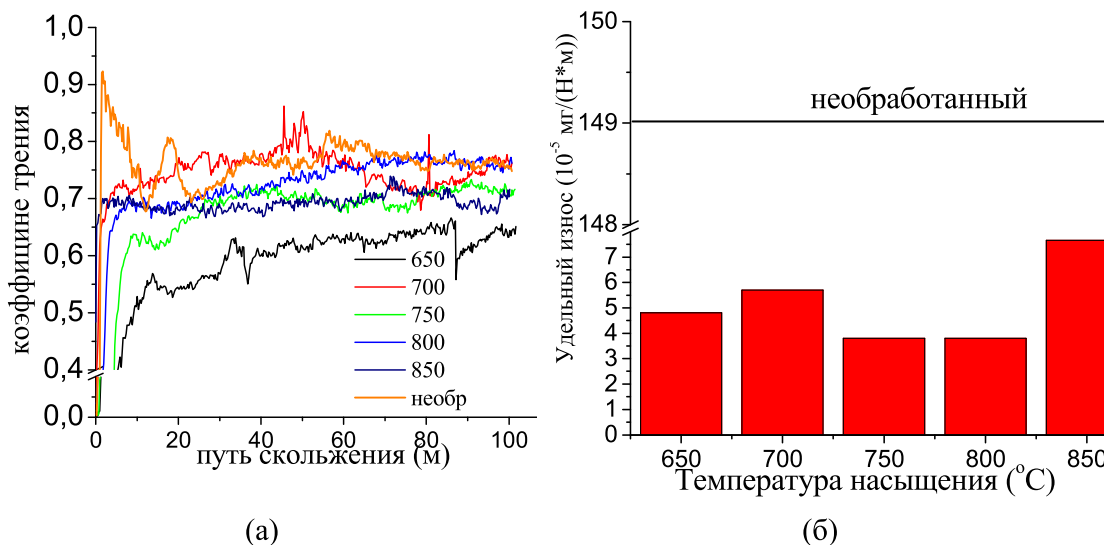


Рисунок 1 - Зависимость коэффициента трения от пути скольжения при разных температурах насыщения (а) и удельного массового износа от температуры насыщения (б)

Исходя из условий обработки, когда все образцы выдерживались перед охлаждением при температуре 850 °С в течение 30 секунд, такое поведение тока коррозии является следствием диффузионных процессов, происходящих на этапе нагрева при разных температурах, то есть зависит от элементного состава слоя и не определяется только свойствами поверхности и условиями финишной операции закалки.

Таблица 1 - Зависимость параметров коррозии от температуры насыщения

Образец	Потенциал коррозии, мВ	Плотность тока коррозии, мкА/см ²
Необработанный	- 574	16,33
650	- 508	4,75
700	- 530	3,5
750	- 515	3,1
800	- 484	7,8
850	- 446	11,0

Выводы

1. Выявлено, что минимально значение плотности тока коррозии 3,1 мкА/см² наблюдается при температуре насыщения 750 °С. Установлено, что при более низких температурах насыщения рост плотности тока коррозии минимален, а при обработке при температуре 850 °С возрастает в 3 раза по сравнению с минимальным значением и приближается к току коррозии необработанного образца.

2. Показано, что метод анодного электролитно-плазменного азотирования позволяет снизить массовый износ на 2 порядка по сравнению с необработанным образцом. Минимальное значение коэффициента трения наблюдается при температуре насыщения 650 °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kusmanov S.A. Anode plasma electrolytic nitrohardening of medium carbon steel / S.A. Kusmanov, A.A. Smirnov, Yu.V. Kusmanova, P.N. Belkin - Surface and Coatings Technology Volume 269, 15 May 2015, Pages 308–313

2. Суминов И.В. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М. М.: Техносфера, 2011. 464 с.

УДК 620.193.01

Парфенюк В.И., Дьяков И.Г.,
Комиссарова М.Р., Кусманов С.А.
(КГУ, г. Кострома, Россия)

ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПОСЛЕ АНОДНОЙ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

При трении титановых сплавов наблюдается высокий износ и величина коэффициента трения [1]. Одним из вариантов преодоления такого недостатка является химико-термическая обработка поверхности. Методы на основе микродугового оксидирования (МДО) позволяют получать на поверхности коррозионностойкий твердый слой, недостатком которого является слишком высокая пористость и твердость, что приводит к износу контртела в паре трения [2]. Другим вариантом повышения комплекса свойств поверхности титана и его сплавов может быть метод анодного электролитно-плазменного нагрева (АЭПН). В данной работе изучалось влияние состава электролита при анодной электролитно-плазменной цементации на электрохимические свойства поверхности титановых сплавов.

Для исследования были взяты три марки титана с разным фазовым составом: ВТ1-0 – α -титан, ВТ-22 – β -титан (матерситного типа) и ВТ-6 – $\alpha+\beta$ -титан. Для обработки использовались электролиты следующего состава: 100 г/л хлорида аммония и 100 г/л науглероживающего компонента. В качестве доноров углерода были выбраны вещества: ацетон, сахароза, глицерин и этиленгликоль. Хлорид аммония в данном случае обеспечивает необходимую для возникновения явле-