

УДК 544.558+66.088

С.С. Кораблева, А.К. Мухина, Р.Д. Белов, А.А. Смирнов
К.И. Бесчетникова, Е.В. Сокова, И.В. Тамбовский,
И.С. Горохов, П.Н. Белкин, С.А. Кусманов
(Костромской государственной университет, г. Кострома, Россия)

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КАТОДНОГО ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 45

Данная работа посвящена изучению влияния состава электролита, температуры и продолжительности катодного электролитно-плазменного азотирования на характеристики поверхности и твердость среднеуглеродистой стали.

Катодному электролитно-плазменному азотированию подвергались образцы из стали 45 диаметром 10 мм и высотой 15 мм в электролите, содержащем хлорид аммония (2,5–7,5% масс.) и аммиак (2,5–7,5% масс.). Этот состав характеризуется достаточно высоким азотным потенциалом при азотировании сталей [1], однако анализ литературных данных показал, что большинство опубликованных работ касается анодного варианта нагрева при электролитно-плазменном насыщении сплавов азотом. Обработка проводилась в осесимметричной электролитической ячейке в условиях контролируемой гидродинамики при скорости подачи электролита в рабочую камеру 2,5 л/мин. Температура насыщения варьировалась от 600 до 850°C, а продолжительность процесса от 5 до 30 минут соответственно, по истечении которого образцы подвергались закалке в электролите путем отключения напряжения. Температура электролита поддерживалась равной 30±2°C.

Катодное азотирование стали 45 при 750°C в электролите, содержащем хлорид аммония (5% масс.) и аммиак (5% масс.), приводит к высокотемпературному окислению поверхности образца и формированию оксидного слоя, который под действием электрических разрядов подвергается эрозии, что приводит к росту рельефности на поверхности образца (рис. 1.). В этих условиях шероховатость образцов по параметру R_a возрастает от 1,0 мкм (исходная шероховатость) до 2,5–3,0 мкм после обработки в течение 10–30 минут (рис. 2.). После обработки стали в течение 5 минут наблюдается снижение шероховатости до 0,7 мкм, что объясняется высокотемпературным окислением, заполняющим поры в слое и превалирующим над эрозией. С увеличением продолжительности азотирования от 5 до 30 минут масса образцов снижается на 112–434 мг.

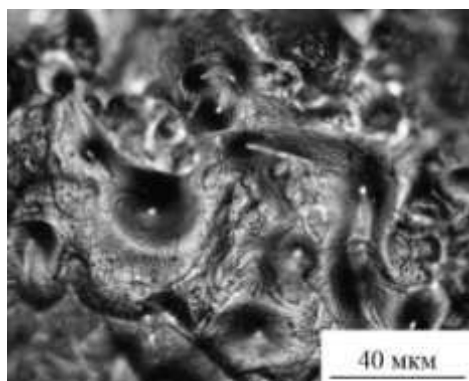


Рис. 1. Морфология поверхности стали 45 после катодного азотирования в растворе хлорида аммония (5% масс.) и аммиака (5% масс.) при 750°C в течение 10 мин.

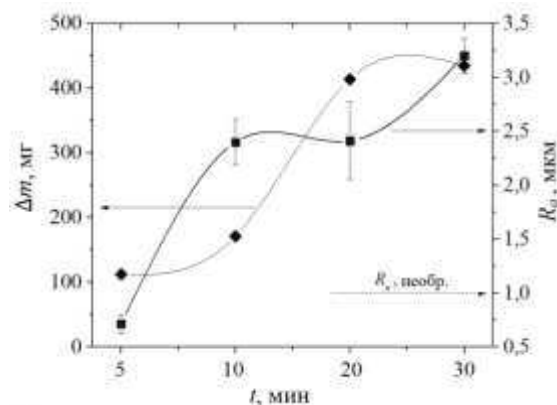
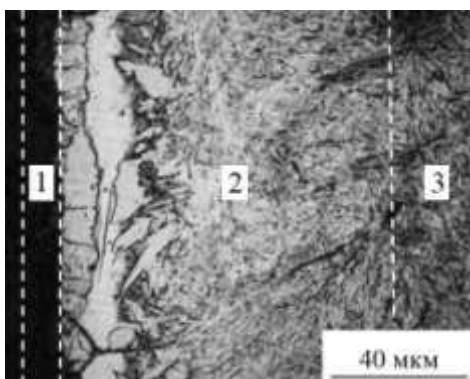


Рис. 2. Убыль массы и поверхностная шероховатость образцов после катодного азотирования в растворе хлорида аммония (5% масс.) и аммиака (5% масс.) при 750°C в течение 5–30 мин.

Азотирование в течение 30 минут приводит к формированию нитридно-мартенситного слоя [2] толщиной до 100 мкм (рис. 3.), ниже которого расположен мартенсит, сформированный в результате закалки в электролите. В этих условиях достигается максимальная микротвердость азотированного слоя 1040 HV (рис. 4), а общая толщина упрочненного слоя составляет около 300 мкм. После обработки в течение 10 и 20 минут толщина упрочненного слоя изменяется до 250 и 350 мкм соответственно, а максимальная микротвердость снижается до 1015 HV.

Обработка стали в электролите, содержащем хлорид аммония (5% масс.) и аммиака (5% масс.) в течение 10 минут при температурах 650–850°C показала, что с повышением температуры азотирования убыль массы образцов сначала уменьшается от 155 до 130 мг, а затем увеличивается до 230 мг (рис. 5.). Средняя шероховатость R_a поверхности образцов после азотирования при температурах 650–800°C составляет 2,0–2,7 мкм и уменьшается до 0,8 мкм после обработки при 850°C.

Максимальное значение микротвердости в модифицированном слое (рис. 6.) 1015 HV достигается после азотирования при 750–800°C, при этом толщина упрочненного слоя составляет около 250–300 мкм. Азотирование при 650–700°C обеспечивает формирование упрочненного слоя толщиной до 150–200 мкм, микротвердость которого не превышает 975 HV. После насыщения при температуре 850°C толщина диффузионной зоны и максимальная микротвердость снижаются до 100 мкм и 950 HV.



1 – оксидный слой, 2 – нитридно-мартенситный слой, 3 – исходная структура

Рис. 3. Поперечное сечение образца из стали 45 после катодного азотирования в растворе хлорида аммония (5% масс.) и аммиака (5% масс.) при 750°C в течение 30 мин.

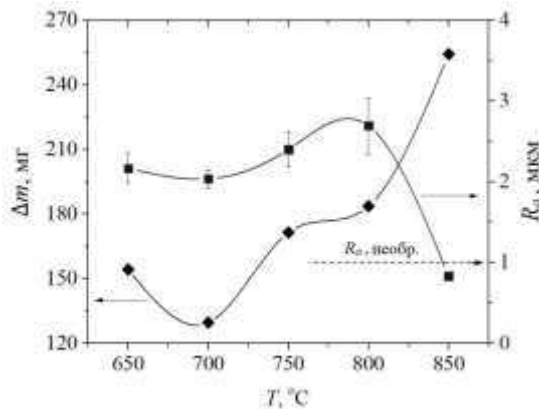


Рис. 5. Убыль массы и поверхностная шероховатость образцов после катодного азотирования в растворе хлорида аммония (5% масс.) и аммиака (5% масс.) в течение 10 мин при температуре 650-850°C

Катодное азотирование стали 45 при 750°C в течение 10 минут в электролитах с различным содержанием хлорида аммония (2,5–7,5% масс.) и аммиака (2,5–7,5% масс.) показало, максимальное уменьше-

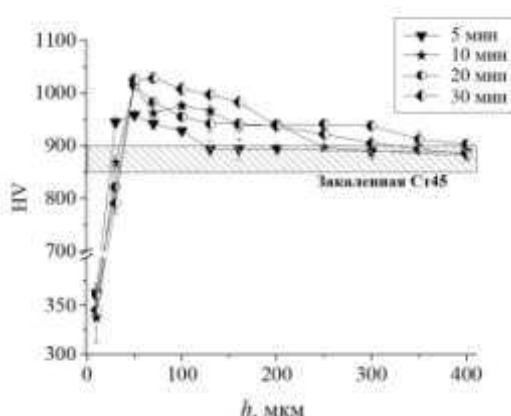


Рис. 4. Распределение микротвердости в поверхностном слое стали 45 после катодного азотирования в растворе хлорида аммония (5% масс.) и аммиака (5% масс.) при 750°C в течение 5–30 мин.

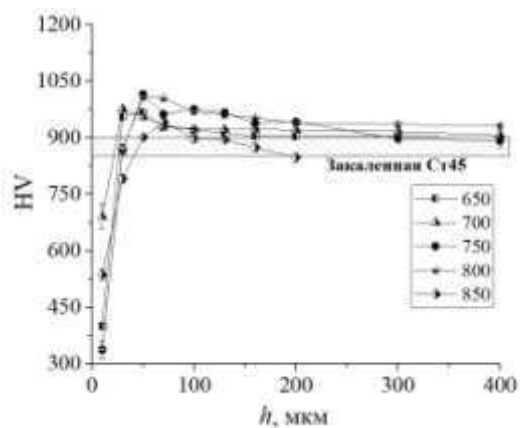
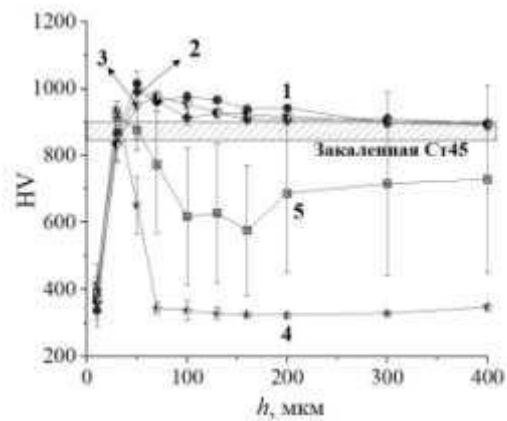
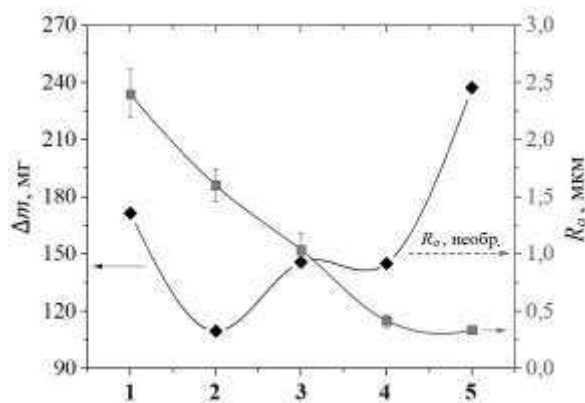


Рис. 6. Распределение микротвердости в поверхностном слое стали 45 после катодного азотирования в растворе хлорида аммония (5% масс.) и аммиака (5% масс.) в течение 10 мин при температуре 650-850°C.

ние массы образцов 240 мг наблюдается после обработки в электролите, содержащем 7,5% хлорида аммония и 7,5% аммиака, а минимальная шероховатость 0,35–0,4 мкм поверхности достигается после азотирования в электролите, содержащем 2,5 или 7,5% хлорида аммония и 7,5% аммиака (рис. 7.).

Изучение микротвердости образцов, азотированных при 750°C в течение 10 минут в электролитах с различной концентрацией компонентов показало, что максимальная микротвердость 1015 HV достигается после обработки в электролите, концентрация хлорида аммония и аммиака, в котором составляет 5% (рис. 8.).



1 – ХА5% + АМ5%; 2 – ХА2,5% + АМ2,5%; 3 – ХА7,5% + АМ2,5%; 4 – ХА2,5% + АМ7,5%; 5 – ХА7,5% + АМ7,5%.

ХА – хлорид аммония, АМ – аммиак

Рис. 7. Убыль массы и поверхностная шероховатость образцов после катодного азотирования в хлориде аммония (2,5–7,5%) и аммиаке (2,5–7,5%) в течение 10 мин при температуре 750°C

Рис. 8. Распределение микротвердости в поверхностном слое стали 45 после катодного азотирования в хлориде аммония (2,5–7,5%) и аммиаке (2,5–7,5%) в течение 10 мин при температуре 750°C.

Таким образом, азотирование стали 45 при температуре 750–800°C в течение 10 минут в электролите, содержащем 5% хлорида аммония и 5% аммиака, позволяет повысить микротвердость поверхностного слоя материала до 1015 HV, сформировать нитридно-мартенситный слой толщиной около 80 мкм и упрочненный слой 250–300 мкм. В этих условиях шероховатость поверхности по параметру R_a увеличивается от 1,0 до 2,5 мкм.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10094) Костромскому государственному университету.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белкин П. Н., Кусманов С. А. Электролитно-плазменное азотирование сталей // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2017. № 7. с. 95–118

2. Kusmanov S. A., Smirnov A. A., Silkin S. A., Belkin P. N. Increasing wear and corrosion resistance of low-alloy steel by anode plasma electrolytic nitriding // Surface and Coatings Technology. 2016. V. 307. P. 1350–1356.