

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

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КАТОДНОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6

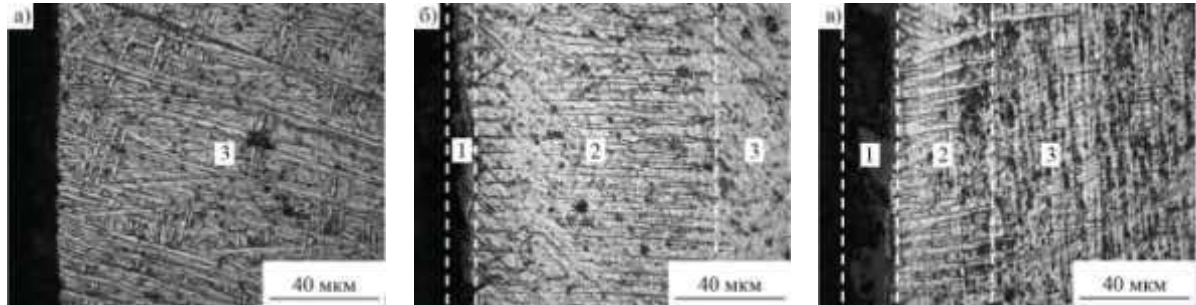
Данная работа посвящена изучению влияния условий катодного азотирования на твердость и шероховатость сплава ВТ6.

Катодному азотированию подвергались цилиндрические образцы 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]. 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. Температура электролита поддерживалась 30±2°C.

Напряжение, при котором достигается температура азотирования, составляла 100–135 В и зависит от концентрации электролита и скорости нагрева образца в начале процесса. Сформированный на поверхности сплава оксидный слой (TiO₂) при температурах до 500°C [2, 3] в виде рутила повышает требуемое для азотирования напряжение.

На рисунке 1 показано поперечное сечение поверхности титанового сплава до и после катодного азотирования в растворе, содержащем 5% хлорида аммония и 5% аммиака. Обработка при 750°C в течение 10 минут приводит к формированию диффузионного слоя толщиной до 90 мкм. После увеличения времени азотирования до 20–30 минут толщина диффузионного слоя уменьшается до 50 мкм. Этот факт отражает конкуренцию между высокотемпературным окислением поверхности образца и диффузией азота в титановый сплав с разрушающим действием разрядов в электролитной плазме. При длительном азотировании толщина наружного оксидного слоя возрастает, что тормозит диффузию азота. При этом оксидный слой легче подвергается воздействию электрических разрядов, чем основной материал, и частично разрушается с образованием кратеров и изломов на поверхности детали. Оголенные участки сплава окисляются снова и вновь подвергаются действию разрядов. Наблюдается перенос мате-

риала образца в раствор электролита в виде мелкодисперсных частиц рутила (TiO_2), что объясняет уменьшение толщины диффузионного слоя при длительной обработке.



1 – оксидный слой, 2 – модифицированный слой, 3 – исходная структура
Рис. 1. Поперечное сечение образцов из титанового сплава ВТ6 до (а) и после катодного азотирования в растворе хлорида аммония (5% масс.) и аммиака (5% масс.) при 750°C в течение: б – 10 мин., в – 30 мин.

С увеличением времени азотирования от 5 до 30 минут масса образцов уменьшается на 30–215 мг (рис. 2). Профилометрические измерения азотированной поверхности показали, что шероховатость образцов по параметру R_a увеличивается от 1,7 до 2,5 мкм и практически не зависит от времени процесса. Максимальная микротвердость 820 НВ в модифицированном слое и толщина упрочненного слоя более 300 мкм достигается после азотирования в течение 10 минут (рис. 3).

Обработка образцов в растворе хлорида аммония (5% масс.) и аммиака (5% масс.) при различных температурах в течение 10 минут показала, что минимальная шероховатость при максимальном значении убыли массы достигается после катодного азотирования при 750°C (рис. 4). Максимальная микротвердость 820 НВ в модифицированном слое наблюдается после насыщения при 750°C (рис. 5).

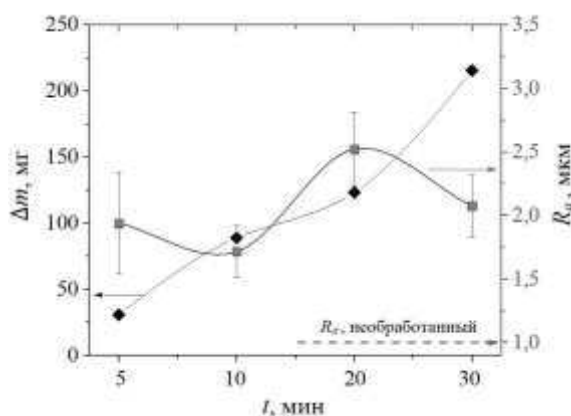


Рис. 2. Убыль массы и поверхностная шероховатость образцов из сплава ВТ6 после катодного азотирования в растворе хлорида аммония (5% масс.) и аммиака (5% масс.) при 750°C в течение 5–30 мин.

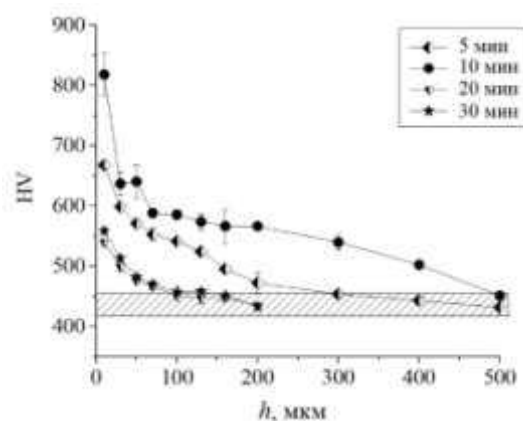


Рис. 3. Распределение микротвердости в поверхностном слое титанового сплава ВТ6 после катодного азотирования в растворе хлорида аммония (5% масс.) и аммиака (5% масс.) при 750°C в течение 5–30 мин.

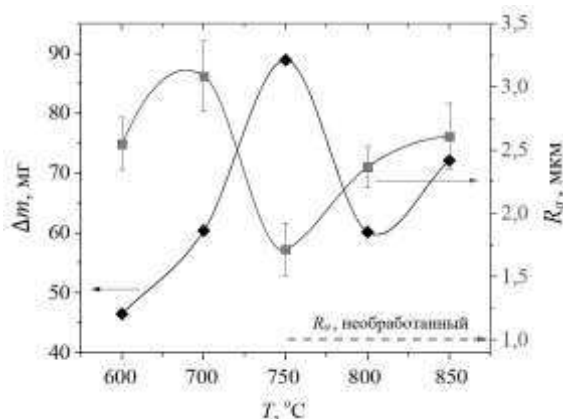


Рис. 4. Убыль массы и поверхностная шероховатость образцов из сплава ВТ6 после катодного азотирования в растворе хлорида аммония (5% масс.) и аммиака (5% масс.) при 600–850°C в течение 10 мин.

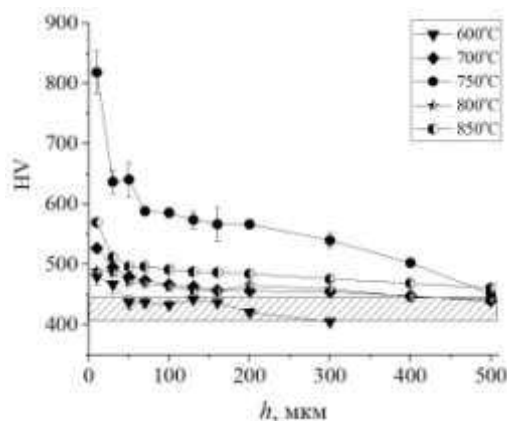
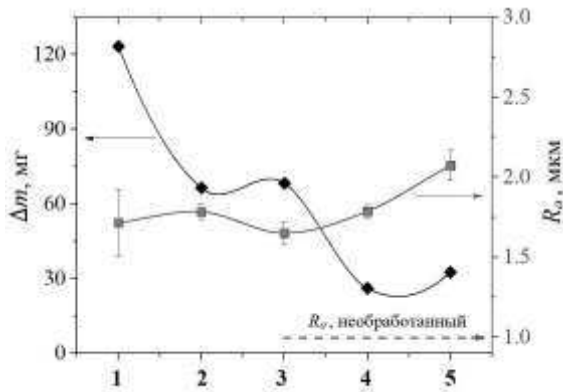


Рис. 5. Распределение микротвердости в поверхностном слое титанового сплава ВТ6 после катодного азотирования в растворе хлорида аммония (5% масс.) и аммиака (5% масс.) при 600–850°C в течение 10 мин.

Максимальная убыль массы образцов наблюдается после азотирования в 5%-ном растворе хлорида аммония и аммиака соответственно (рис. 6). Средняя шероховатость поверхности R_a изменяется от 1,7 до 2,1 мкм, возрастает с увеличением концентрации аммиака в

растворе от 2,5 до 7,5% и практически не зависит от концентрации хлорида аммония, или электропроводности раствора.

Изучение распределения микротвердости в поверхностном слое показало, что оптимальным является электролит, содержащий 5% хлорида аммония и 5% аммиака. В этих условиях максимальные микротвердость 820 HV и толщина упрочненного слоя достигаются после азотирования при 750°C в течение 10 минут (рис. 7). При более низком содержании аммиака в растворе концентрация азота в электролитной плазме и атомов азота, адсорбированных на поверхности образцов, обеспечивают упрочнение сплава ВТ6 до 600 HV. Увеличение концентрации аммиака до 7,5% независимо от концентрации хлорида аммония (2,5 или 7,5%) приводит к заметному снижению микротвердости из-за интенсификации окисления и торможения диффузии азота растущим оксидным слоем.



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. 6. Убыль массы и поверхностная шероховатость образцов из сплава ВТ6 после катодного азотирования в растворе хлорида аммония (2,5–7,5 % масс.) и аммиака (2,5–7,5% масс.) при 750°C в течение 10 мин.

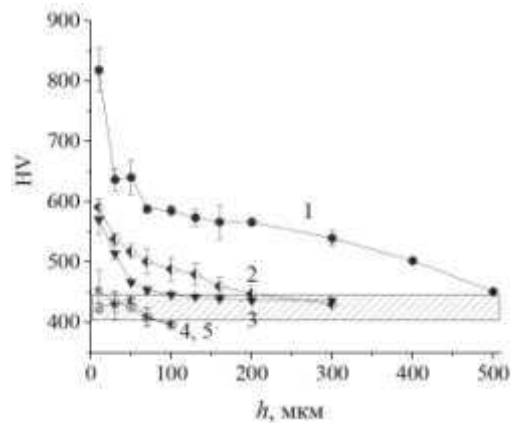


Рис. 7. Распределение микротвердости в поверхностном слое титанового сплава ВТ6 после катодного азотирования в растворе хлорида аммония (2,5–7,5 % масс.) и аммиака (2,5–7,5% масс.) при 750°C в течение 10 мин.

Показано, что катодное азотирование в водном электролите, содержащем хлорид аммония 5% и аммиак 5% при 750°C в течение 10 минут позволяет повысить микротвердость поверхностного слоя сплава ВТ6 более чем в 2 раза, до 820 HV, и сформировать диффузионный слой толщиной до 90 мкм и упрочненный слой толщиной более

300 мкм, при этом шероховатость поверхности образцов после азотирования увеличивается в 1,5–2 раза.

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., Kusmanova I., Tambovskiy I., Belkin P. & Parfenyuk V. Anodic plasma electrolytic nitrocarburising of Ti_6Al_4V alloy // Surface Engineering. 2019. Vol. 35. № 3. pp. 199–204

3. Kusmanov S.A., Tambovskiy I.V., Korableva S.S., Belkin P.N. Anodic plasma electrolytic saturation of the Ti_6Al_4V alloy with nitrogen and oxygen // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. V. 672. № 1. pp. 1–4