

УДК 621.785.5

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАКУУМНОГО АЗОТИРОВАНИЯ И ВАКУУМНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Татьяна Петровна Игнатъева

Студентка 4 курса

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.Е. Смирнов

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Ключевые слова: титановые сплавы (*titanium alloys*), вакуумная химико-термическая обработка (*vacuum thermal-chemical treatment*), микротвердость (*microhardness*).

Аннотация: В работе представлены результаты исследований микроструктуры и свойств титановых сплавов после насыщения в азоте, аммиаке и ацетилене низкого давления. Проведен сравнительный анализ параметров диффузионных слоев (твердость поверхности, распределение микротвердости, толщина газонасыщенного слоя) при различных значениях технологических параметров (состав и давление атмосферы, время выдержки).

Введение

В настоящее время титановые сплавы являются одними из важнейших конструкционных материалов. Благодаря уникальному сочетанию свойств (низкая плотность, высокая коррозионная стойкость, высокая удельная прочность) эти сплавы чрезвычайно востребованы в авиационной и космической отраслях. Но неудовлетворительные триботехнические характеристики сдерживают их более широкое использование.

Диффузионное насыщение (азотом, бором, углеродом и др.) позволяет повысить триботехнические характеристики поверхности титановых сплавов (износоустойчивость, стойкость к налипанию), а также увеличить усталостную прочность. Однако общим недостатком методов насыщения является низкая скорость насыщения и как следствие - длительная выдержка при высокой температуре для получения желаемой толщины насыщения, что приводит к росту зерна и ухудшению механических свойств сплава.

В данной работе ставятся задачи исследования микроструктуры и свойств сплавов в исходном состоянии и после насыщения, определения параметров диффузионных слоев (твердость поверхности, распределение микротвердости, толщина газонасыщенного слоя) при различных значениях технологических параметров (состав и давление атмосферы, время выдержки), выбора режима вакуумной химико-термической обработки (цементация, азотирование в аммиаке и в азоте) для получения максимальной скорости насыщения и максимальной твердости поверхности.

Материалы и методики

Исходные образцы рассматриваемых титановых сплавов ВТ3-1, ВТ6, ВТ20 и ВТ22 поступили после отжига, что подтвердили результаты металлографических исследований, представленные на рис. 1. Отжиг заключается в нагреве заготовок при минимальных температурах, достаточных для снятия нагартовки. Температура отжига обычно составляет около 800 °С. Он обеспечивает сочетание довольно высокой прочности, жаропрочности и хорошей пластичности.

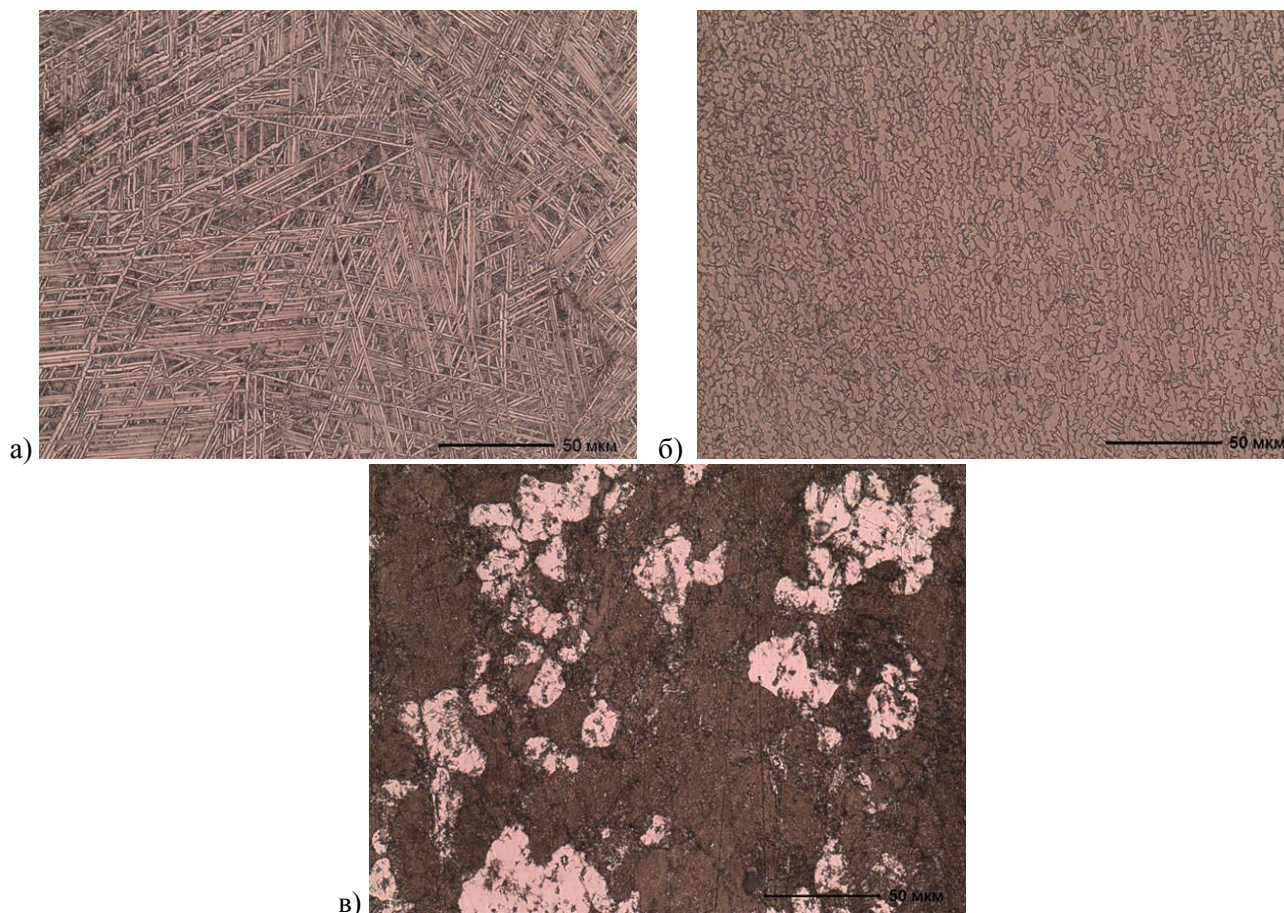


Рис. 1. Исходные структуры сплавов, x500: а) VT20; б) VT3-1; в) VT22

Одним из важнейших технологических параметров является температура вакуумного насыщения. В случае титановых сплавов перегрев выше температуры полиморфного превращения приводит к браку из-за неустраняемого роста зерна и как следствие — снижению прочности и пластичности. По этой причине необходимо избегать нагрева сплавов выше температуры полиморфного превращения, так как полученную при этом структуру исправить термической обработкой невозможно. Для рассматриваемых титановых сплавов VT6, VT3-1, VT22 и VT20 температуры полиморфного превращения равны соответственно 980 °С, 960 °С, 880 °С и 850 °С. Исходя из этого для исследований была выбрана температура 830 °С.

Для определения влияния технологического режима насыщения (состав и давление атмосферы, время выдержки) на параметры диффузионных слоев были проведены следующие эксперименты.

1. Насыщение в среде азота низкого давления, $t = 830$ °С:
 - $p = 2$ мм рт. ст. ($\tau = 10$ ч, $\tau = 20$ ч, $\tau = 30$ ч);
 - $p = 22$ мм рт. ст. ($\tau = 10$ ч);
 - $p = 42$ мм рт. ст. ($\tau = 10$ ч, $\tau = 20$ ч, $\tau = 30$ ч).
2. Насыщение в среде аммиака низкого давления, $t = 830$ °С, $p = 2$ мм рт. ст. ($\tau = 10$ ч, $\tau = 20$ ч, $\tau = 30$ ч);
3. Насыщение в среде ацетилена низкого давления, $t = 830$ °С, $p = 2$ мм рт. ст. ($\tau = 10$ ч, $\tau = 20$ ч, $\tau = 30$ ч).

Химико-термическую обработку образцов осуществляли на универсальной установке. Установка состоит из реакционной камеры, вакуумно-газовой и электрической систем, а также систем регулирования основных технологических параметров. Реакционная камера установки представляет собой герметичный водоохлаждаемый сосуд (рис. 2). Садка располагается на специальном столике, установленном в нижней части камеры.

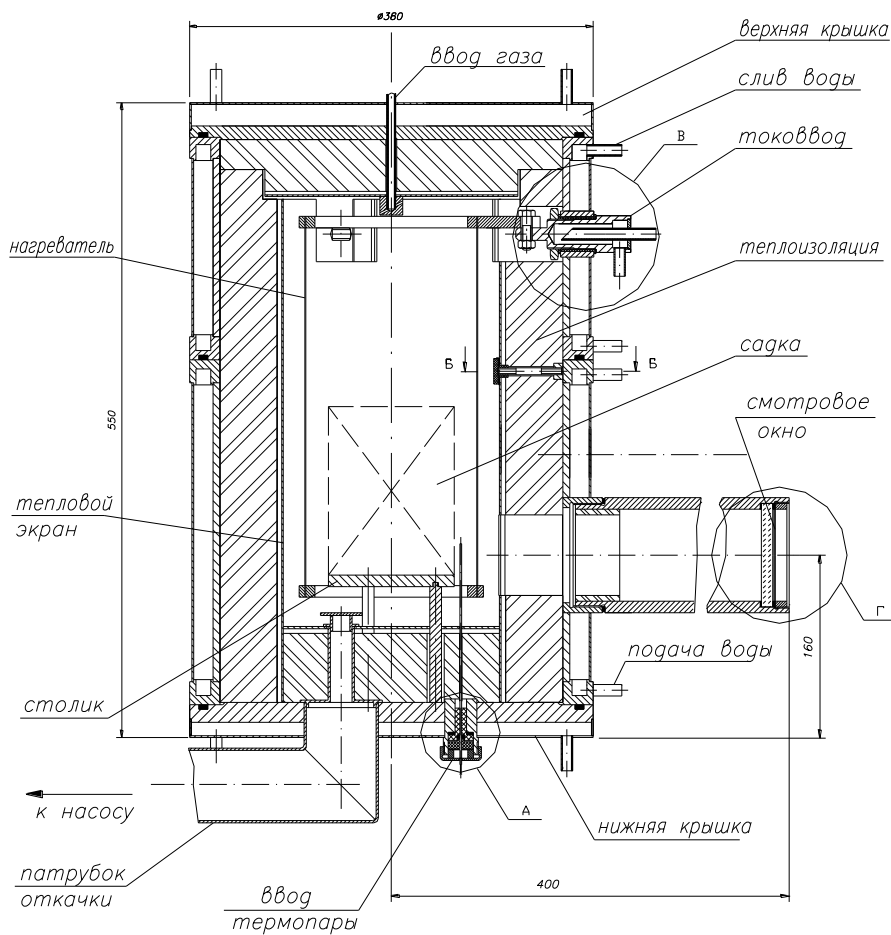


Рис. 2. Реакционная камера опытной универсальной установки вакуумной ХТО

Установка полностью автоматизирована. Система управления технологическим процессом выполнена на базе персонального компьютера и интерфейсных плат L-154 и L-264 фирмы L-Card. Она предусматривает регулирование температуры процесса насыщения, давления газовой среды и ее состава, а также измерение и запись всех технологических и вспомогательных параметров процесса.

Металлографические исследования проводили на металлографическом микроскопе GX-51 фирмы OLYMPUS при увеличении $\times 500$.

Послойное измерение микротвердости по толщине диффузионного слоя образцов проведено на приборе DuraScan при нагрузке 0,05 кг. DuraScan управляется персональным компьютером и работает с программным обеспечением ecosWorkflow.

Результаты исследования

Для выявления зависимости степени насыщаемости исследуемых титановых сплавов от их химического состава были сопоставлены результаты измерений распределения микротвердости по толщине диффузионного слоя после насыщения в атмосфере аммиака ($p = 2$ мм рт. ст., $\tau = 30$ ч) (рис. 3).

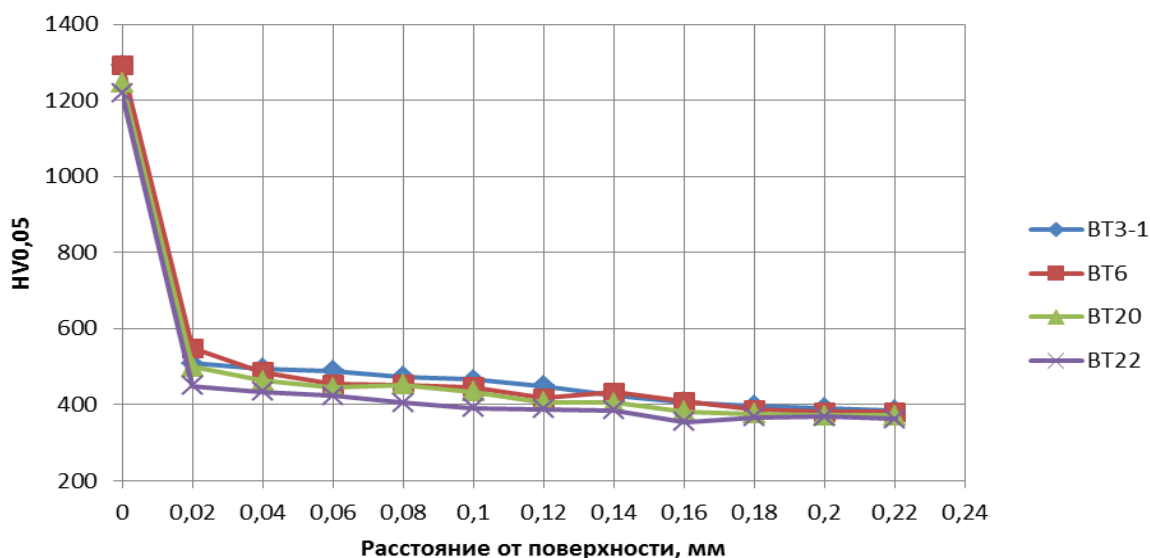


Рис. 3. Распределение микротвердости по толщине диффузионного слоя в зависимости от химического состава сплавов при насыщении в атмосфере аммиака, $p = 2$ мм рт. ст., $\tau = 30$ ч

Химический состав сплавов существенно влияет на получаемую толщину диффузионного слоя, так как нитридообразующие легирующие элементы затрудняют насыщение азотом.

Зависимость распределения микротвердости от химического состава среды представлена на рис. 4 - 5. Для сравнения насыщающей способности азота, аммиака и ацетилена низкого давления был проведен ряд экспериментов с неизменными значениями давления ($p = 2$ мм рт. ст.) и времени выдержки ($\tau = 30$ ч). Полученные зависимости дали возможность сделать вывод, что наибольшей насыщающей способностью обладает аммиак, наименьшей - ацетилен, азот занимает промежуточное положение.

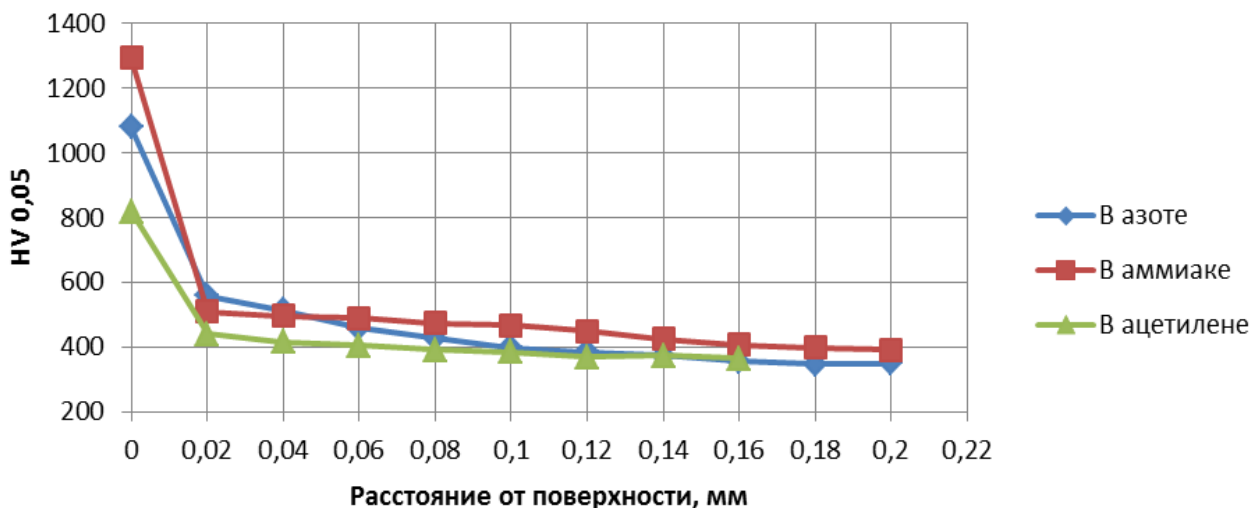


Рис. 4. Распределение микротвердости сплава BT3-1 по толщине диффузионного слоя в зависимости от состава среды ($p = 2$ мм рт. ст., $\tau = 30$ ч)

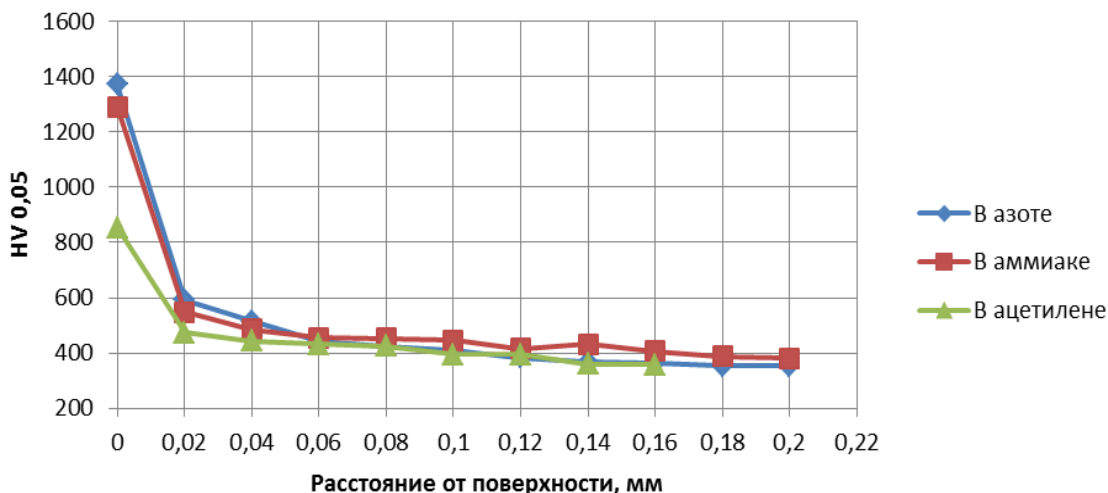


Рис. 5. Распределение микротвердости сплава ВТ6 по толщине диффузионного слоя в зависимости от состава среды ($p = 2$ мм рт. ст., $\tau = 30$ ч)

Для анализа влияния давления технологической атмосферы на параметры диффузионных слоев была произведена обработка в среде азота при давлении 42 и 22 мм рт. ст. и времени выдержки 10 ч. Полученное распределение микротвердости в зависимости от давления технологической атмосферы представлено на рис. 6.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при увеличении давления технологической атмосферы происходит более активное насыщение, что приводит к росту толщины диффузионных слоев и твердости поверхности для исследуемых сплавов.

Для анализа влияния времени выдержки на параметры диффузионных слоев была произведена обработка в аммиаке при температуре 830 °С в течении 10, 20, 30 ч и давлении технологической атмосферы 2 мм рт. ст. Ход кривых изменения твердости по толщине диффузионного слоя для этих режимов в зависимости от времени выдержки показан на рис. 7.

Полученные данные доказывают, что увеличение времени насыщения при постоянной температуре приводит к увеличению толщины диффузионного слоя и твердости поверхности. Однако при таком режиме насыщения получается малый износостойкий слой, а толщина газонасыщенных слоев не превышает 0,1 мм.

Полученный в результате обработки в азоте при температуре 830 °С и давлении технологической атмосферы 2 мм рт. ст. азотированный слой состоит из нескольких зон, различающихся окраской и твердостью. Верхняя нитридная зона золотистого цвета имеет высокую твердость и толщину порядка десятых долей мкм; следующая за ней светлая зона обладает твердостью около 500 HV и резко отделена от верхней. Далее следует зона с повышенной твердостью толщиной 1...3 мкм, так называемый газонасыщенный слой ($h_{гн}$), границей которого является твердость, равная $1,25 \cdot HV_{сердц}$. Анализ полученных результатов дал возможность построить зависимость изменения толщины газонасыщенных слоев для сплавов ВТ3-1, ВТ6, ВТ20 и ВТ22 в зависимости от времени выдержки (рис. 8).

На основе анализа полученных результатов установлено, что толщина газонасыщенного слоя растет по параболической зависимости:

$$h_{гн} = k\sqrt{\tau},$$

где $h_{гн}$ - толщина газонасыщенного слоя, мм;

k – кинетический коэффициент, мм / ч^{0,5};

τ – время насыщения, ч.

Такая зависимость свидетельствует о том, что скорость роста диффузионного слоя контролируется диффузионной стадией.

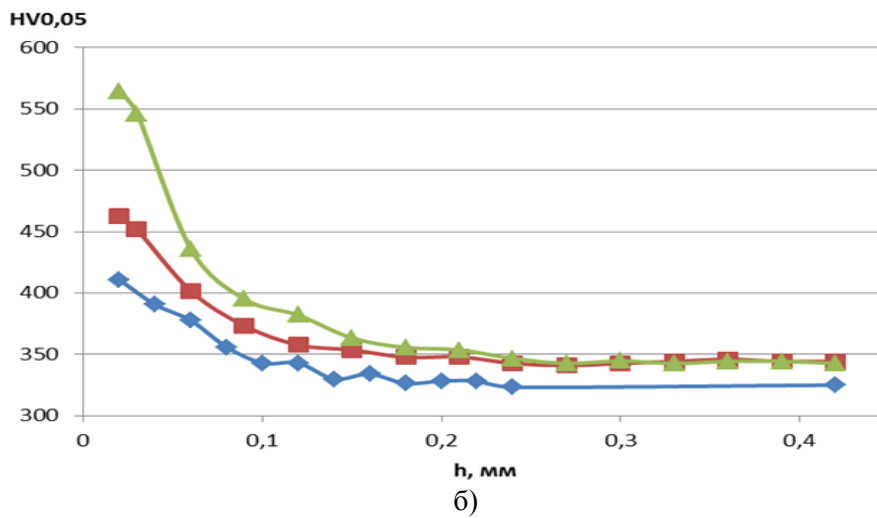
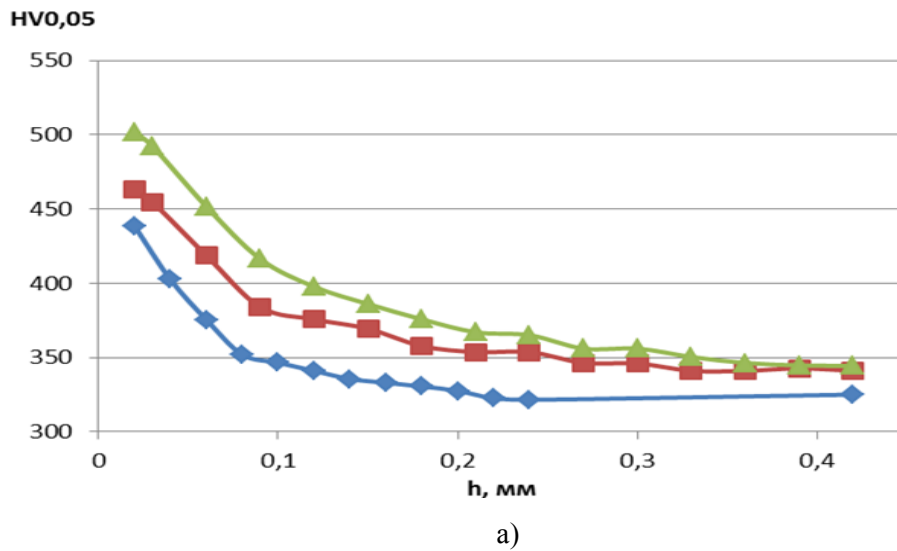


Рис. 6. Распределение микротвердости по толщине диффузионного слоя в зависимости от давления — 2 мм рт ст — 22 мм рт ст — 42 мм рт ст при насыщении 10 ч для следующих сплавов: а) VT3-1; б) VT20

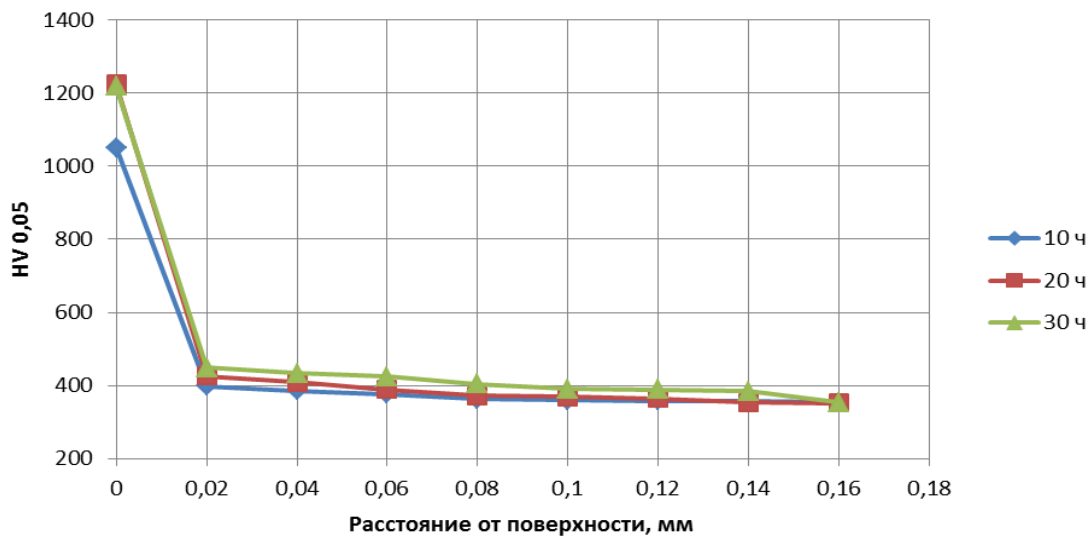


Рис. 7. Распределение микротвердости сплава VT22 по толщине диффузионного слоя в зависимости от времени выдержки при насыщении в среде аммиака (p = 2 мм рт. ст.)

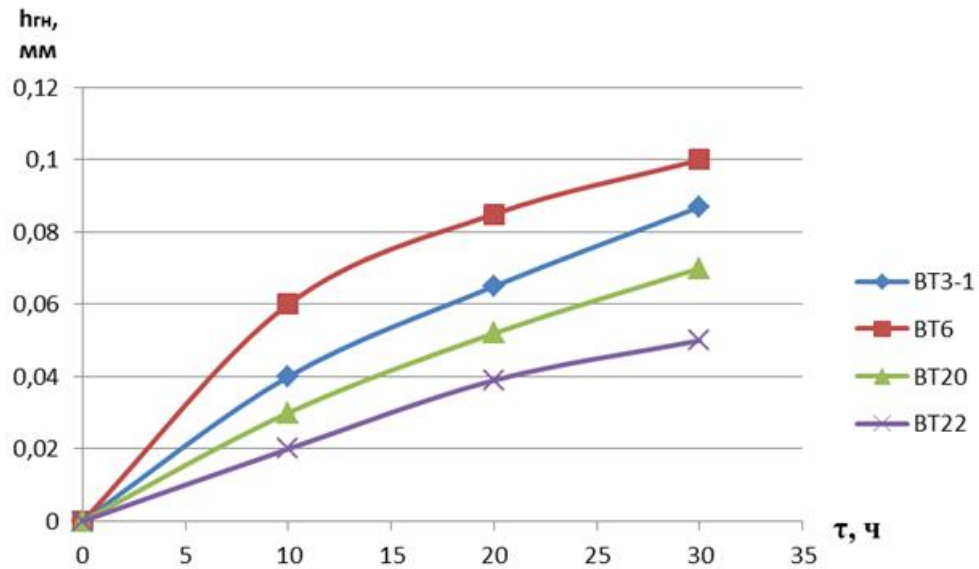


Рис. 8. Изменение толщины газонасыщенного слоя для исследуемых сплавов в зависимости от времени выдержки

Увеличение времени обработки сопровождается повышением микротвердости поверхности, что объясняется ростом толщины высокотвердого нитридного слоя. Эта закономерность четко прослеживается на рис. 9.

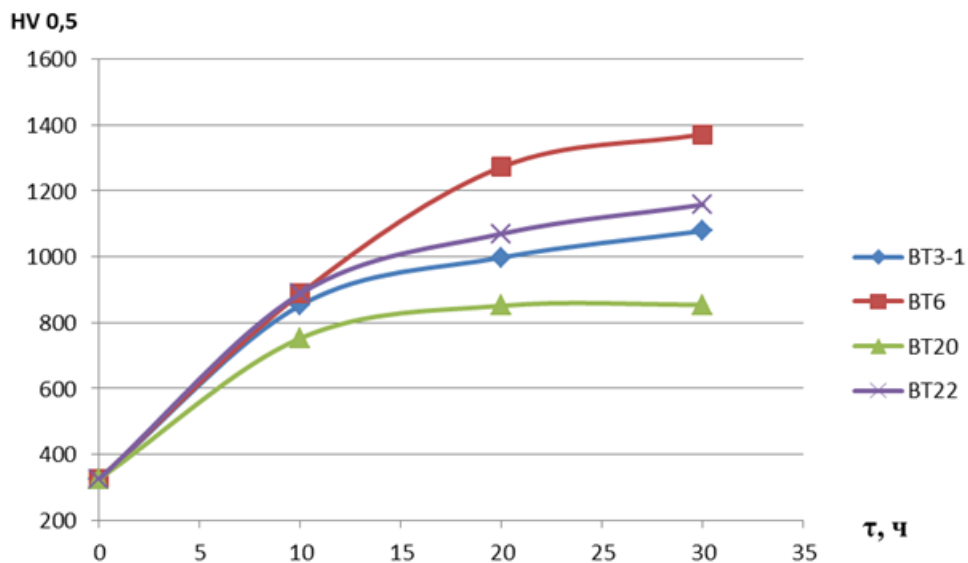


Рис. 9. Кинетика микротвердости поверхности

Наилучшей способностью к насыщению из исследуемых сплавов обладает BT6, что подтверждается результатами микроскопического анализа. В сравнении со всеми рассматриваемыми титановыми сплавами он имеет наибольшую толщину газонасыщенного слоя (рис. 10).

Фотографии, полученные с помощью металлографического микроскопа GX-51 фирмы OLYMPUS, представлены на рис. 11.

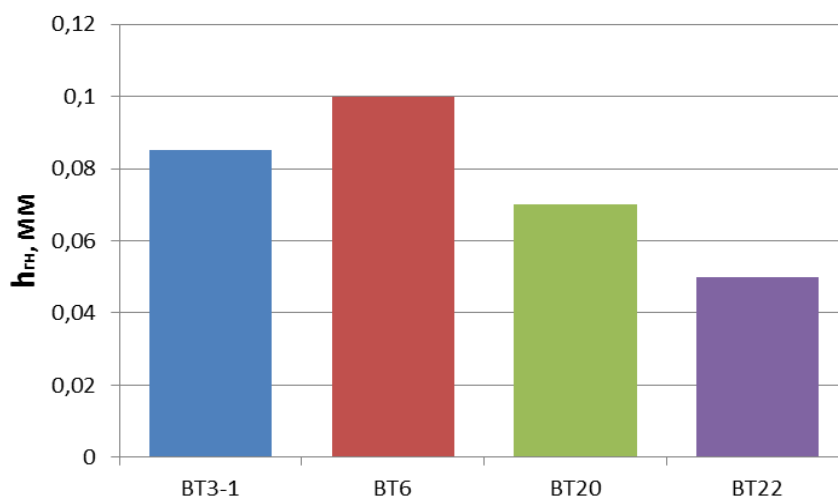


Рис. 10. Распределение толщины газонасыщенного слоя после обработки в азоте ($p = 2 \text{ мм рт. ст.}$, $\tau = 30 \text{ ч}$) в зависимости от химического состава сплавов

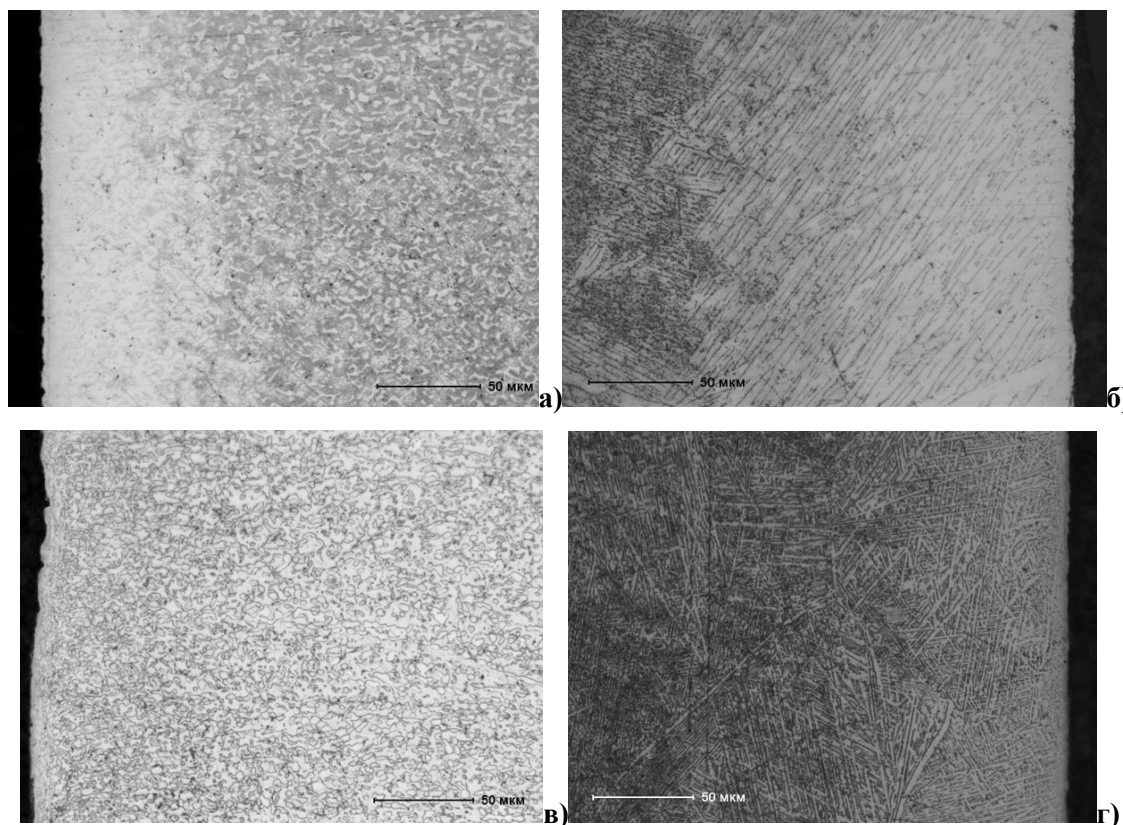


Рис. 11. Структура титановых сплавов после насыщения в азоте при давлении 42 мм рт. ст. и выдержке 30 ч: а) VT3-1, б) VT6, в) VT20, г) VT22.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

1. Наилучшей насыщающей способностью из рассмотренных сред обладает аммиак, наихудшей – ацетилен.
2. Сплавы VT3-1 и VT6 обладают большей способностью к насыщению, чем сплавы VT20 и VT22.
3. При увеличении давления среды более активно идет насыщение, увеличиваются толщина диффузионного слоя и твердость поверхности.
4. Получена параболическая зависимость параметров диффузионных слоев (толщина газонасыщенного слоя, твердость поверхности) от времени насыщения.

Литература

1. *Ильин А.А., Колачев Б.А., Польшкин И.С.* Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. – М.: ВИЛС – МАТИ, 2009. – 520 с.
2. *Цвиккер У.* Титан и его сплавы. – М.: Metallurgia, 1979. – 512 с.
3. *Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А.* Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 1999. – 416 с.