

3. При введении в АПТ титана и меди наблюдается возрастание, в целом, коэффициента трения. При этом покрытие, содержащее больше меди, характеризуется более высокими значениями коэффициента трения. Данный эффект обусловлен, по-видимому, снижением содержания в таком покрытии нитрида титана.

#### Литература

1. Рогачев, А. В. Триботехнические свойства композиционных покрытий, осаждаемых вакуумно-плазменными методами / А. В. Рогачев // Трение и износ, 2008, – Т. 29, № 3. – С. 285 – 592.

УДК 621.785.53

### УЛУЧШЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ ПРИ АЗОТИРОВАНИИ В СРЕДЕ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ АЗОТА

С.С. Дьяченко, Е.А. Литус

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

**Введение.** В настоящее время актуальной является проблема увеличения срока службы деталей машин. Одним из методов повышения долговечности является химико-термическая обработка, и в частности азотирование. Азотированию подвергают легированные стали, содержащие алюминий, хром, ванадий, молибден и другие элементы, легко образующие с азотом нитриды, а также азотируют чугуны, титановые и молибденовые сплавы.

Широко применяются методы азотирования в жидких, газовых средах, в вакууме, тлеющем разряде и др. Традиционные процессы – в соляной ванне и газовой среде (аммиаке) – являются довольно длительными (до 0,01 мм/ч) и требуют специального оборудования [1].

Для упрощения процесса азотирования применяют порошковые смеси. В этом случае устраняется необходимость использования сложного и дорогого оборудования. Недостатками известных смесей является сложность их приготовления из-за большого количества компонентов, а также недостаточная интенсивность азотирования, что приводит к малой глубине диффузионного слоя. В данной работе при разработке новой технологии азотирования целью было использование минимального количества компонентов для упрощения приготовления смеси и

применение вещества с большим содержанием атомарного азота для ускорения процесса насыщения.

**Материалы и методы исследований.** Для азотирования применялась смесь на основе азотосодержащего вещества, разлагающегося при температурах азотирования с выделением до 70 % атомарного азота, необходимого для образования азотированных слоев. Исследовался процесс азотирования в зависимости от условий насыщения (состава среды, температуры и времени) [1].

Эксперименты проведены на многих сталях, в данной статье результаты представлены на примере стали 18X2H4MA.

Перед азотированием образцы подвергали закалке с последующим высоким отпуском (улучшению). Затем поверхность очищали от следов окалины, масла и других загрязнений, шлифовали и полировали поверхность с последующим обезжириванием 96 %-ным спиртом. Азотирование проводили следующим образом: образцы помещали в контейнер, засыпали выбранной смесью для азотирования. После этого контейнер герметично закрывали и помещали в печь. Количество смеси варьировалась от 0,048 - 0,052 г/см<sup>2</sup> до 0,23 - 0,24 г/см<sup>2</sup> на единицу азотируемой площади образца. Азотирование проводили при температурах 450 - 650 °С (через 50 °С), близких к традиционной температуре азотирования (520 - 550 °С), в течение 1 - 7 ч.

Микроструктуру и толщину диффузионных слоев определяли методом оптической микроскопии на микроскопе МИМ-8 по стандартной методике. Твердость исследуемых образцов измеряли на приборах типа ТК (Роквелл) согласно ГОСТ 9013-95, микротвердость - на приборе ПМТ-3 при нагрузке

50 г и выдержке 10 с по стандартной методике (ГОСТ 9450-76). За глубину азотированного слоя принимали расстояние от поверхности, на которой твердость была на 50 МПа больше, чем в сердцеvine (рис. 1).

**Результаты и их обсуждение.** Формирование азотированных слоев аналогично их формированию при классическом газовом азотировании. На рис. 2, а показана зависимость толщины азотированного слоя стали 18X2H4MA от ко

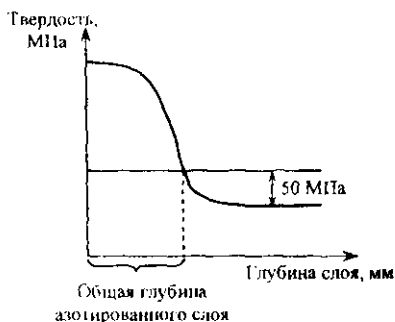


Рис. 1. Схема определения общей глубины азотированного слоя

личества азотосодержащего вещества на обрабатываемую поверхность образца. При изменении количества этого вещества от  $0,05 \text{ г/см}^2$  до  $0,15 \text{ г/см}^2$  диффузионный слой резко увеличивается, количество азотосодержащего вещества более  $0,15 \text{ г/см}^2$  практически не приводит к дальнейшему росту слоя. Изменение количества насыщающего вещества не влияет на поверхностную твердость диффузионного слоя стали и составляет  $10 \text{ ГПа}$  (см. рис. 2, б).

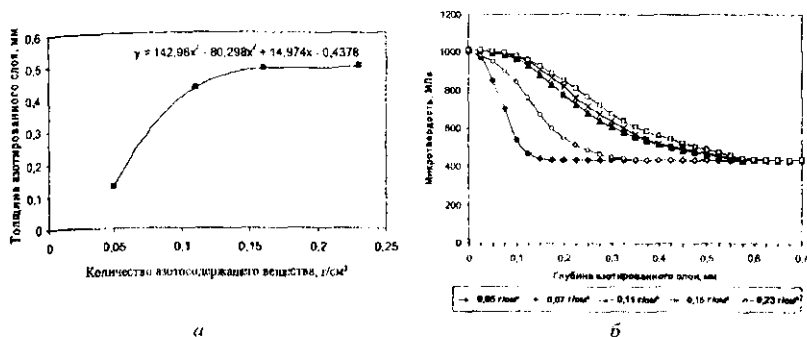


Рис. 2. Изменение толщины (а) и твердости (б) диффузионного слоя при разном количестве азотосодержащего вещества на единицу азотируемой поверхности образца ( $550 \text{ }^\circ\text{C}$ , 5 часов)

При увеличении количества смеси более  $0,1 - 0,12 \text{ г/см}^2$  в зоне внутреннего азотирования происходит образование нитридной сетки по границам зерен, что может привести к быстрому разрушению всего азотированного слоя.

Таким образом, оптимальное количество смеси -  $0,1 - 0,12 \text{ г/см}^2$  на единицу азотируемой поверхности образца.

Оптимальной температурой азотирования будем считать ту температуру, которая обеспечивает наибольшую толщину азотированного слоя при высокой твердости поверхности. Как мы и ожидали, с повышением температуры азотированный слой увеличивается от  $0,22 \text{ мм}$  при  $450 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $0,59 \text{ мм}$  при  $700 \text{ }^\circ\text{C}$ . Самая большая твердость  $10 - 11,5 \text{ ГПа}$  соответствует температурам  $450 - 500 \text{ }^\circ\text{C}$ , но толщина азотированного слоя при таких температурах недостаточная. С увеличением температуры от  $500$  до  $700 \text{ }^\circ\text{C}$  поверхностная твердость значительно снижается (до  $6 \text{ ГПа}$  при  $700 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Таким образом, оптимальная температура азотирования -  $550 \text{ }^\circ\text{C}$ , при которой получаем наилучшее соотношение поверхностной твердости ( $10 \text{ ГПа}$ ) и глубины азотированного слоя ( $0,48 \text{ мм}$ ).

Для изучения влияния длительности азотирования на толщину и твердость диффузионных слоев были проведены эксперименты при выдержке от 1 до 7 часов при оптимальных температуре и количестве азото-содержащего вещества. Увеличение времени азотирования от 1 до 5 ч приводит к существенному росту слоя, но при дальнейшей выдержке скорость увеличения толщины слоя значительно замедляется (рис. 3, а). Увеличение длительности азотирования от 1 до 5 ч не влияет на изменение поверхностной твердости и составляет 10 ГПа, выдержка более 5 часов немного снижает твердость – до 9,6 ГПа (см. рис. 3, б). Таким образом, достаточный азотированный слой и высокую поверхностную твердость получаем при выдержке 5 ч.

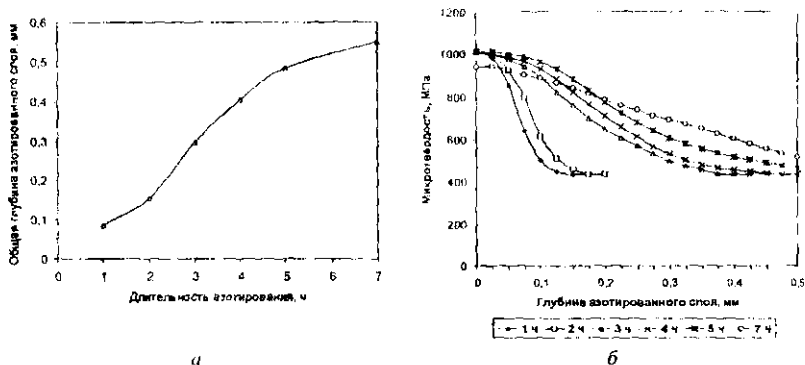


Рис. 3. Общая толщина (а) и твердость (б) диффузионного слоя стали 18Х2Н4МА при разной длительности азотирования (550 °С)

### Выводы

1. Разработанная технология азотирования позволяет значительно ускорить процесс насыщения по сравнению с традиционным газовым азотированием и составляет до 0,1 мм/ч вместо 0,01 мм/ч.
2. Оптимальные параметры азотирования в предлагаемом веществе таковы: 0,1 – 0,12 г/см<sup>2</sup> вещества на единицу азотируемой поверхности образца, температура 550 °С, длительность 5 ч.
3. Длительность азотирования 5 ч не приводит к разупрочнению сердцевины детали.

### Литература

1. Каратеев, А. М. Повышение эффективности азотирования за счет применения вещества с высоким содержанием азота / А.М. Каратеев, А.А. Павлюченко, Е.А. Липус // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - Харьков, 2005. - № 4/1 (16). - С. 59 - 64.

## ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕНОАЛЮМИНИЯ ИЗ ВТОРИЧНЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ НУЖД РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**В.А. Калиниченко, А.С. Калиниченко, Б.М. Неменёнок**

*Белорусский национальный технический университет, Минск*

В последние годы во всем мире развивается концепция облегчения металлоконструкций и изделий. Одну из ниш в этой концепции занимают вспененные материалы, в основном на основе алюминия и его сплавов. Несмотря на то, что эти материалы открыты более 40 лет назад, до сих пор их внедрение в промышленности весьма ограничено. Это может быть объяснено консервативностью технологий, применяемых на предприятиях, на ранних этапах – проблемы с контролем качества при производстве вспененных материалов и массивность многих ранее выпускавшихся узлов в машиностроении.

На начальном этапе развития пенообразных материалов типичными областями применения алюминиевых пен являлись следующие: тепло- и вибропоглощающие перекрытия, конструкционные элементы для строительной промышленности (например, конструктивные элементы крыш складских помещений) и грубофильтрующие материалы. На современном этапе вспененные материалы находят применение в автомобилестроении и ряде других высокотехнологичных областей машиностроения.

Для завоевания новых рынков исследователи вспененных материалов должны уделить внимание следующим направлениям:

- производство повторяемых по характеристикам материалов;
- управление свойствами и создание специальных свойств под конкретную промышленную задачу;
- хорошая обрабатываемость;
- высокая коррозионная стойкость.

В решении вышеуказанных проблем могут помочь такие методы, как компьютерное моделирование, уделение особого внимания свойствам и качеству шихтовых материалов и, наконец, учет будущей специфики эксплуатации изделия. Для иллюстрации вышесказанного можно привести следующую схему (рис. 1).