

## *Титан та ванадій в сталях для азотування*

О. В. Білоцький, доктор технічних наук, професор

К. Б. Кармугін

О. В. Степанов, кандидат технічних наук

Національний технічний університет України «КПІ», Київ

*Наведено результати дослідження впливу легування сталей титаном та ванадієм на процес їх азотування. За даними рентгеноструктурного, металографічного та мікродіорометричного методів аналізу вивчено особливості утворення азотованих шарів на сталях, легуваних титаном та ванадієм. Показана можливість підвищення температури процесу азотування з метою його інтенсифікації.*

Азотування як один із найбільш перспективних методів хіміко-термічної обробки має широке застосування у промисловості. Відомі його переваги перед іншими видами поверхневого зміцнення та захисту металів від впливу зовнішнього середовища, особливо при підвищених температурах [1, 2].

Разом з тим, значним недоліком цього процесу є велика тривалість, яка часто обмежує можливості його застосування [1, 2]. У різні періоди досліджували шляхи і методи скорочення технологічного циклу азотування, в основу яких брали такі фактори як природа, хімічний склад сталі та середовище, в якому відбувається дифузійне насичення азотом, дія різноманітних полів і багато іншого [1 – 4].

У свій час нами досліджувався індивідуальний вплив широкого спектру хімічного складу бінарних сплавів «залізо – легуючий елемент» на утворення азотистих фаз під час азотування при різних температурах, їх природу та деякі властивості [3 – 7]. Було встановлено взаємозв'язок між розчинністю легуючого елемента в залізі з утворенням однофазного твердого розчину, електронною будовою атомів та розчинністю азоту в дифузійних шарах. Виявилось, що сумарне легування  $\alpha$ -заліза різними елементами доцільно проводити з розрахунку не більше 3 % (по масі). Крім того показано, що легування заліза  $3d$  перехідними елементами, зокрема титаном та ванадієм, сприяє утворенню високоміцних фаз в процесі азотування при температурах, які значно перевищують температури азотування класичних нітралітів.

Як відомо, підвищення температури пришвидшує перебіг дифузійних процесів, скорочує час утворення азотистих фаз, збільшує глибину проникнення азоту і таким чином інтенсифікує процес хіміко-термічної обробки. Подальші дослідження впливу співвідношення двох або декількох легуючих елементів на процес дифузійного насичення сприятиме розширенню номенклатури сталей для азотування.

## Термічна і хіміко-термічна обробка

Виходячи з цього метою даної роботи було дослідження впливу титану та ванадію на кінетику формування дифузійних шарів під час азотування сталей при більш високих, у порівнянні із загальноприйнятими, температурах.

Дослідження проводили на сталях, хімічний склад яких наведено в таблиці. Після гомогенізуючого відпалу при 1100 °С протягом 10 годин їх структура складалась з  $\alpha$ -твердого розчину та легованого цементиту.

Хімічний склад сталей, % (по масі)

Марка сталі	C	Ti	V	Fe
30	0,30	-	-	Основа
30T2	0,29	1,98	-	Основа
30T2Ф1	0,28	1,96	0,98	Основа

Азотування дослідних зразків проводили у потоці аміаку в установці для пічного азотування при температурах 550, 600 та 650 °С протягом 3, 6, 9, 12, 15 годин з наступним охолодженням у мастилі. Ступінь дисоціації аміаку встановлювалась в залежності від температури і знаходилась у межах 20 – 50 %.

Основними методами дослідження були фазовий рентгеноструктурний, металографічний та мікродюрOMETричний методи аналізу. Вимірювання мікротвердості дифузійних шарів, визначення їх товщини (рис. 1) та протяжності окремих зон проводили на приладі ПМТ-3 при навантаженні 0,5 Н. Фазовий склад дифузійних шарів контролювали методом пошарового рентгеноструктурного аналізу у  $FeK_{\alpha}$  та  $CgK_{\alpha}$  випромінюванні.

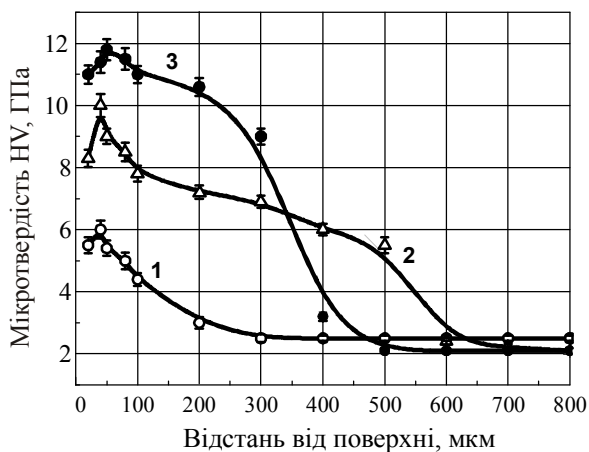


Рис.1. Розподіл мікротвердості за перетином азотованих шарів. Температура азотування 600 °С, час 6 годин. 1 – сталь 30, 2 – сталь 30T2, 3 – сталь 30T2Ф1.

За даними рентгеноструктурного аналізу встановлено, що фазовий склад азотованих шарів нелегованої сталі 30 не відрізняється від фазового складу бінарних сплавів системи Fe – N, в той час як в легованих сталях він змінюється від поверхні в глибину в такій послідовності:  $\epsilon$ -фаза  $(Fe, Me)_3N$ ,

далі  $\gamma'$ -фаза  $(Fe, Me)_4N$ , за нею йде більш широка зона азотистого  $\alpha$ -твердого розчину.

Зміни товщини дифузійних шарів залежно від тривалості азотування нелегованої сталі та сталей, які містять титан (сталь 30Т2) та титан і ванадій (сталь 30Т2Ф1), ілюструє рис. 2.

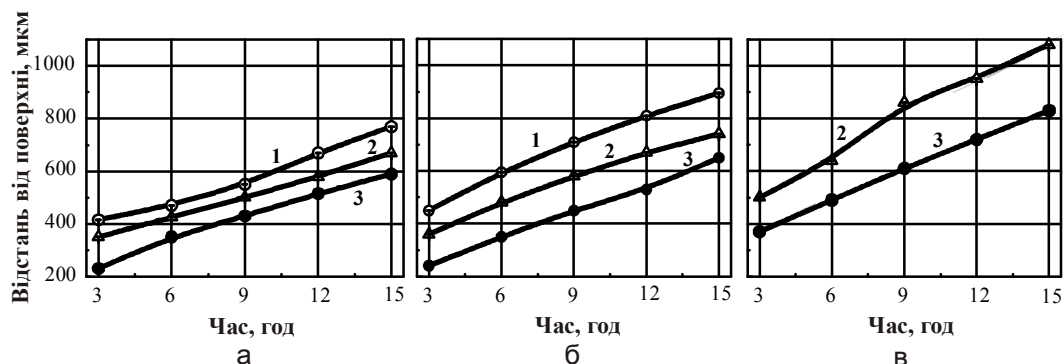


Рис. 2. Залежність глибини проникнення азоту від температури та тривалості азотування. а – 550 °С, б – 600 °С, в – 650 °С. 1 – сталь 30, 2 – сталь 30Т2, 3 – сталь 30Т2Ф1.

Видно (рис. 2 а), що при температурі 550 °С товщина шару сталі 30 перевищує глибину азотованих шарів легованих сталей, що узгоджується з загально прийнятими уявленнями про гальмівну роль легуючих елементів на дифузію азоту [1 – 3]. При підвищенні температури до 600 °С співвідношення товщини азотованих шарів залежно від часу азотування якісно зберігається таким, як і при 550 °С, але кількісно значно збільшуються (рис. 2 б). Подальше підвищення температури азотування до 650 °С супроводжується утворенням у сталі 30  $\gamma$ -фази (аустеніту), в той час як леговані сталі перебувають у стані  $\alpha$ -твердого розчину.

Залізо та прості маловуглецеві сталі, як правило, не використовують для поверхневого зміцнення азотуванням, а тим більше при температурах існування  $\gamma$ -твердого розчину [1, 2]. У цьому випадку азотистий аустеніт, що утворюється при азотуванні, має таку концентрацію азоту, при якій він після охолодження не зазнає повного перетворення і залишається в структурі дифузійного шару як м'яка структурна складова. Тому азотування сталі 30 при температурі 650 °С не проводили.

Насичення азотом сталей 30Т2 та 30Т2Ф1 проводили при температурі 650 °С, коли поліморфне перетворення з утворенням азотистого аустеніту не відбувається. При цьому спостерігається значне збільшення протяжності дифузійних шарів залежно від часу хіміко-термічної обробки (рис. 2 в).

Насичення азотом легованих титаном та ванадієм сталей 30Т2 та 30Т2Ф1 при вказаних температурах відбувається у стані  $\alpha$ -твердого розчину, швидкість дифузії азоту в якому більша, ніж в аустеніті.

Збільшення товщини азотованих шарів на легованих сталях зумовлено підвищенням температури. При цьому твердість поверхневих шарів також збільшується (рис. 3, криві 2, 3), тоді як для нелегованої сталі 30 вона знижується (рис. 3 а, крива 1). Заміщення в кристалічній решітці атомів заліза

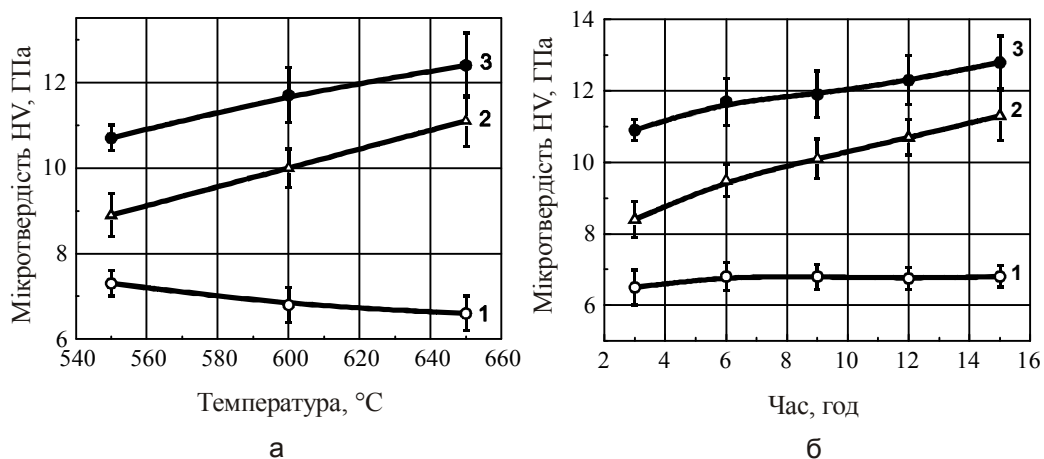


Рис. 3. Вплив температури при азотуванні протягом 6 годин (а) та тривалості азотування при температурі 600 °С (б) на максимальну мікротвердість дифузійних шарів. 1 – сталь 30, 2 – сталь 30Т2, 3 – сталь 30Т2Ф1.

атомами титану та ванадію, які мають більші атомні радіуси, збільшує розміри октаедричних порожнин, місць найбільш імовірного розташування атомів азоту. Дефіцит електронів на 3d оболонці атомів цих елементів активізує силу хімічної взаємодії з атомами азоту, підвищує розчинність азоту в  $\alpha$ -твердому розчині та комплексних нітридних фазах і тим самим значно зміцнює поверхневі шари.

Таким чином, наведені у статі експериментальні дані свідчать про широкі можливості використання титану та ванадію при розробці нових нітралюїв для керованого регулювання параметрів, зокрема температури і часу, та інтенсифікації процесу азотування.

## Література

1. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Азотирование стали. – М.: Машиностроение, 1976. – 256 с.
2. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Шпис Г. Теория и технология азотирования. – М.: Металлургия, 1991. – 320 с.
3. Белоцкий А.В. Структура азотистых фаз и принципы легирования сталей для азотирования. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1975. – № 12. – С. 24 – 27.
4. Белоцкий А.В., Юркова А.И. Взаимодействие азота с легированным железом при трении в среде аммиака. // Металлофизика и новейшие технологии. – 2001. – 23, № 4. – С. 551 – 557.
5. Білоцький О.В. Високотемпературна рентгенографія фазових перетворень у металевих матеріалах. – Київ: Міжнародна асоціація «Зварювання», 2012. – 222 с.
6. Білоцький О.В. Про розчинність азоту в легованому титаном  $\alpha$ -залізі. // Металлофизика та новітні технології. – 2001. – 23, № 3. – С. 345 – 352.
7. Белоцкий А.В., Марчевская Э.И., Пермяков В.Г. Особенности образования азотистых фаз в системе Fe-V-N. // Известия академии наук СССР. Металлы. – 1973. – № 3. – С. 116 – 119.

Одержано 28.03.13

А. В. Белоцкий, К. Б. Кармугин, О. В. Степанов

Титан и ванадий в сталях для азотирования

Резюме

Приведены результаты исследования влияния титана и ванадия на процесс азотирования сталей. Методами рентгеноструктурного и металлографического анализов, а также измерения микротвердости установлены особенности формирования азотированных слоев на сталях, легированных титаном и ванадием. Показана возможность повышения температуры процесса азотирования с целью его интенсификации.

A. V. Belots'ky, K. B. Karmugin, O. V. Stepanov

Titanium and vanadium in steels for nitriding

Summary

The research results of Ti and V influence on the nitriding process of steels are presented. Characteristic features of nitrified layers formation on steels alloyed with Ti and V were studied by X-ray diffraction (XRD) analysis, microstructural analysis and microhardness tests. The possibility of enhancement the nitriding efficiency due to the expansion of temperature interval of nitriding process is discussed.

УДК 669.017

*Структура та властивості дифузійних покриттів з алюмінієм, хромом та нікелем на титановому сплаві ВТ6*

І. Я. Смокович

Т. В. Лоскутова, кандидат технічних наук

В. Г. Хижняк, доктор технічних наук, професор

Національний технічний університет України «КПІ», Київ

*Показана можливість алюмохромонікелювання титанового сплаву ВТ6 в порошковій суміші алюмінію, хрому, хлориду нікелю та хлориду амонію за умов зниженого тиску. Досліджено мікроструктуру, хімічний склад та микротвердість отриманих покриттів.*

Для підвищення жаростійкості титану при середніх та високих температурах широкого поширення набули алюмінієві покриття [1, 2]. В свою чергу насичення металів хромом та нікелем на ряду з підвищенням корозійної стійкості, сприяє покращенню їх зносостійких властивостей [3, 4]. Тому особливий інтерес становлять комплексні покриття за участю хрому, алюмінію та нікелю, які поєднують позитивні властивості цих елементів.