

УДК 621.891

В.Г. Писаренко, Є.Ф. Боковий

КНВО "ФОРТ" МВС України

СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ПІСЛЯ КОМБІНОВАНОЇ ХТО

Представлені результати досліджень структурної будови і розподілу твердості поверхні по товщині дифузійного шару після модифікації комбінованою хіміко-термічною обробкою зразків із сплавів на основі заліза

Ключові слова: комбінована хіміко-термічна обробка, зносостійкість, білий шар, мікроструктура, розподіл твердості

Вступ

Сферою застосування комбінованої хіміко-термічної обробки (КХТО) є використання її з метою підвищення зносостійкості і захисту від корозії деталей точної механіки, які повинні мати також чорний колір. Основні теоретичні передумови запропонованої нами технології детально викладені в роботі [1].

Основною особливістю розробленої технології є комплексне забезпечення методом КХТО одночасно високих характеристик зносостійкості, теплостійкості, корозійної стійкості та чорного кольору поверхні. Розроблена технологія придатна для зміцнення поверхні виробів виготовлених із сплавів на основі заліза (сталі, чавуну).

Комплексне забезпечення високих характеристик зносостійкості, корозійної стійкості, теплостійкості досягається за рахунок формування в інтервалі температур 540-620°C на поверхні оксикарбонітридного шару в газовому середовищі, яке складається з аміаку та добавок вуглецевомістких сумішей і кисню. Сформовані оксикарбонітридні шари значно більше пластичні ніж оксидні і в той же час володіють високими антиадгезійними властивостями, і також забезпечують низький коефіцієнт тертя, особливо в умовах відсутності змащення.

Нова технологія КХТО є екологічно чистою і може в більшості випадків замінювати гальванічні покриття (оксидування, цинкування, хромування, кадміювання та ін.) що забезпечує зниження витрат на 35-40%.

Метою даної роботи є дослідження структури і фізико-механічних властивостей зразків після КХТО.

Дослідження структурної будови поверхневого шару після КХТО.

Із зразків, що оброблялись на різних режимах, готувались шліфи. Для приготування шліфів із зразків знімався шар поверхні не менше 3 мм, а потім проводилось шліфування для металографічних досліджень. Травлення мікрошліфів проводилось в 4% розчині азотної кислоти в етиловому спирті.

На підготовлених шліфах вимірювалась твердість і досліджувалась мікроструктура зміцненого шару.

За одержаними результатами значень твердості для зразків з рівнозначними умовами для однакових марок сталей і режимів ХТО визначались середні величини результатів вимірів.

Структура зміцненого поверхневого шару оцінювалась і фотографувалась за допомогою мікроскопу МИМ- 8. Одержані фотозображення структури поверхневих шарів представлені на рис. 1-14.

На фотографіях мікроструктури чітко видно білу зону, яка не протравлюється. Біла зона представляє собою ϵ - карбонітрид. При присутності кисню утворюється оксикарбонітрид.

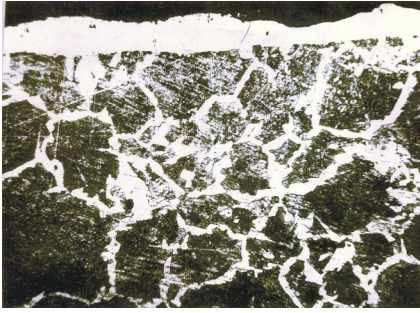


Рис. 1. Мікроструктура поверхневого шару, одержаного на сталі 20. Склад суміші газів: 92% аміаку; 8% пропан-бутану. Місткість аміаку у відходящих газах 30%. Режим ХТО 580 °С; 4 години. x200



Рис. 2. Мікроструктура поверхневого шару, одержаного на ст.3. Склад суміші газів: 96% аміаку; 4% пропан-бутану. Місткість аміаку у відходящих газах - 10%. Режим ХТО: 580 °С; 3 години. x200



Рис. 3. Мікроструктура поверхневого шару, одержаного на ст.3. Склад суміші газів: 96% аміаку; 4% пропан-бутану. Місткість аміаку у відходящих газах - 10%. Режим ХТО: 570 °С; 5 годин. x200.



Рис. 4. Мікроструктура поверхневого шару, одержаного на ст.3. Склад суміші газів: 96% аміаку; 4% пропан-бутану. Місткість аміаку у відходящих газах - 10%. Режим ХТО: 570 °С; 6 годин. x200.



Рис. 5. Мікроструктура поверхневого шару, одержаного на сталі 40X. Склад суміші газів: 94% аміаку; 6% пропан-бутану. Місткість аміаку у відходящих газах - 15%. Режим ХТО: 580 °С; 5 годин. x200.

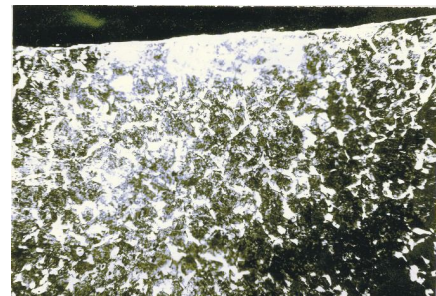


Рис. 6. Мікроструктура поверхневого шару, одержаного на сталі 40X. Склад суміші газів: 90% аміаку; 10% пропан-бутану. Місткість аміаку у відходящих газах - 15%. Режим ХТО: 580 °С; 5 годин. x200.

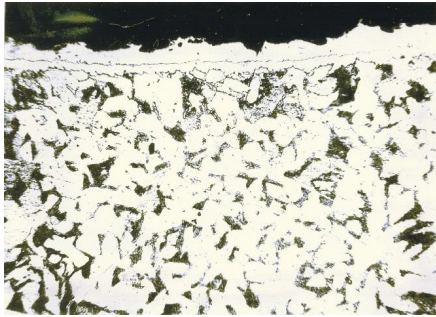


Рис. 7. Мікроструктура поверхневого шару, одержаного на ст.3. Склад суміші газів: 96% аміаку; 4% пропан-бутану. Місткість аміаку у відходящих газах - 10%. Режим ХТО: 570 °С; 10 годин. x200.



Рис. 8. Мікроструктура поверхневого шару, одержаного на сталі 40X. Склад суміші газів: 100% аміаку. Місткість аміаку у відходящих газах - 20%. Режим ХТО: 580 °С; 5 годин. x200.



Рис. 9. Мікроструктура поверхневого шару, одержаного на сталі 40X. Склад суміші газів: 92% аміаку; 8% пропан-бутану. Місткість аміаку у відходящих газах - 15%. Режим ХТО: 580 °С; 5 годин. x200.

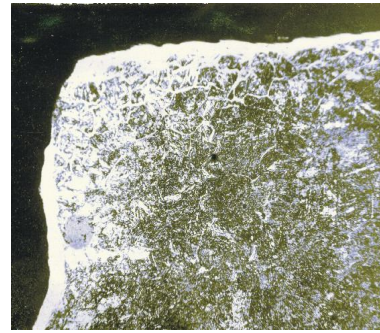


Рис. 10. Мікроструктура поверхневого шару, одержаного на сталі 38X2M10A. Склад суміші газів: 95% аміаку; 5% пропан-бутану. Місткість аміаку у відходящих газах - 35%. Режим ХТО: 580 °С; 4 години. x200.

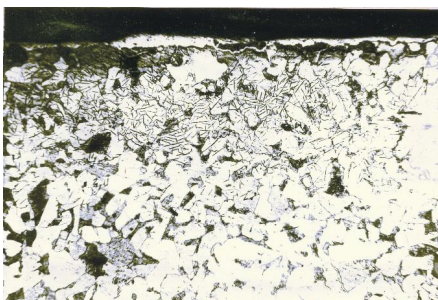


Рис. 11. Мікроструктура поверхневого шару, одержаного на ст.3. Склад суміші газів: 53% аміаку; 47% природного газу. Місткість аміаку у відходящих газах - 20%. Режим ХТО: 590 °С; 4 години. x200.

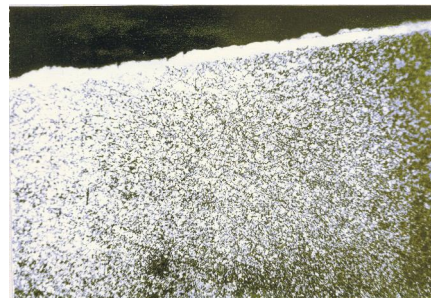


Рис. 12. Мікроструктура поверхневого шару, одержаного на сталі 30XH2BFA. Склад суміші газів: 92% аміаку; 8% пропан-бутану. Місткість аміаку у відходящих газах - 25%. Режим ХТО: 580 °С; 4 години. x200.

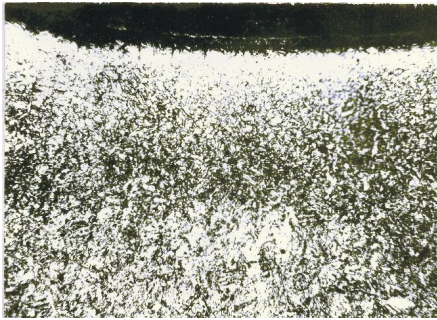


Рис. 13. Мікроструктура поверхневого шару, одержаного на сталі 30XN2BFA. Склад суміші газів: 100%. Місткість аміаку у відходящих газах - 40%. Режим ХТО: 520 °С; 48 годин. x200.



Рис. 14. Мікроструктура поверхневого шару, одержаного на сталі 30X2MЮA. Склад суміші газів: 100%. Місткість аміаку у відходящих газах - 40%. Режим ХТО: 520 °С; 48 годин. x200.

Аналізуючи мікроструктури поверхневих шарів (рис. 1–7), одержаних при різних тривалостях ХТО можна зробити висновок, що поверхневий білий карбонітридний шар може утворюватись також при невеликій тривалості процесу ХТО.

При тривалості процесу ХТО 10 годин білий шар виявляється шорстким і пористим (рис. 7). Також утворюється білий шар пористим із тріщинами при ХТО в аміаці без добавок вуглецевмісткого газу (рис. 8).

Достатньо щільним карбонітридний шар утворюється при добавці в газову суміш 8% пропан-бутану (рис. 9).

Змінюючи склад газової суміші кількістю добавки пропан-бутану і підтримуючи певну степінь дисоціації аміаку можна формувати поверхневі шари різної товщини (рис. 1–6).

Дифузійний шар, що знаходиться під поверхневим білим шаром практично під мікроскопом не виявляється. В деяких випадках він відрізняється від серцевини декілька більшим протравленням, а інколи виявляються прожилки під білим шаром нітридів (рис. 10–11).

Отже, видима в деяких випадках дифузійна зона в дійсності є лише частиною глибини дифузійного насичування.

Дослідження властивостей дифузійного шару.

Товщина дифузійного шару і розподіл твердості по його глибині досліджувались шляхом вимірювання мікротвердості приладом ПМТ-3 при навантаженні 50 г. Уколи проводились через кожні 0,02 мм по перпендикуляру від краю поверхні в глибину.

За загальну товщину дифузійного шару прийнято відстань від краю поверхні зразка до першого уколу з величиною твердості серцевини. Вимірювання мікротвердості проводилось в різних місцях на площині шліфа. На рис. 9 чітко видно сліди вимірювання мікротвердості.

Твердість поверхні вимірювалась на плоскій частині зразка за допомогою приладу ПМТ-3 при навантаженні 100 г після легкого зачищення поверхні.

В табл. 1 наведені середні значення твердості поверхні при різних складах суміші газів, яка подається в піч.

Середні значення твердості поверхні після ХТО.

Таблиця 1.

Марка сталі	Величина твердості поверхні для різних режимів ХТО, Н ₁₀₀			
	520°С, 48 год, 100% аміаку	560°С, 5 год, 94% аміаку, 6% пропан-бутану	560°С, 5 год, 90% аміаку, 10% пропан-бутану	570°С, 6 год, 53% аміаку, 47% природного газу
Ст-45	644	658	644	794
40X	734	877	824	897
20X	-	-	-	827
38X2MЮA	1200	934	897	970

Аналізуючи дані таблиці 1 для сталей 45 і 40Х слід підкреслити, що при сумісній дифузії азоту і вуглецю спостерігається підвищення значення твердості в порівнянні з процесом азотування в одному аміаку.

Більш високе значення твердості поверхні у легованої сталі 38Х2МЮА пов'язано з утворенням нітридів легованих елементів.

На рис. 15 показано, що при збільшенні тривалості процесу ХТО від 2 до 5 годин товщина дифузійного шару збільшується від 0,2 – 0,3 мм до 0,4 – 0,5 мм.

Збільшення тривалості процесу ХТО більше 6 годин не призводить до значного росту товщини дифузійного шару.

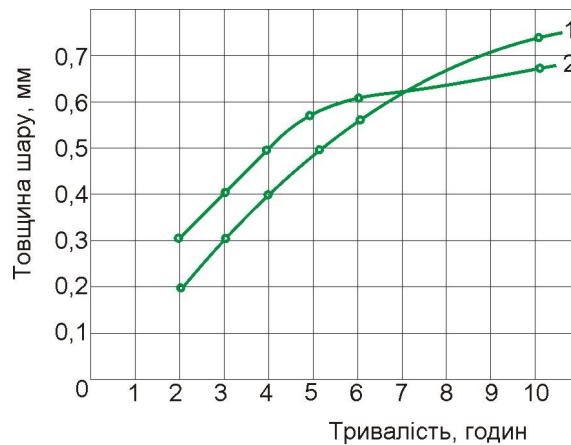


Рис. 15. Залежність товщини дифузійного шару від тривалості процесу ХТО. 1 – матеріал зразка ст.3; 2 – матеріал зразка сталь 40Х. Режим ХТО: 580°C; склад суміші газів: 92% аміаку, 8% пропан-бутану.

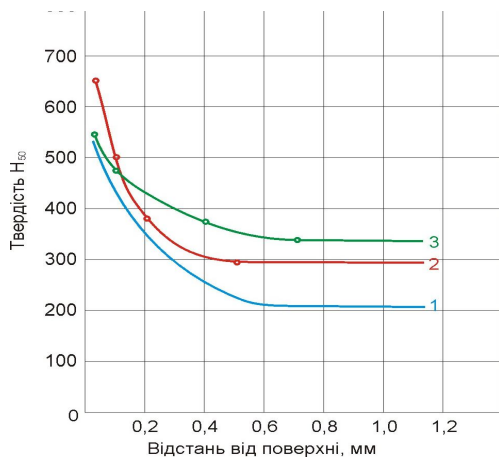


Рис. 16. Значення розподілу твердості по товщині дифузійного шару. 1 – сталь 20Х; 2 – сталь 30ХН2ВФА; 3 – сталь 38Х2МЮА. Режим ХТО: 580°C; 4 години; склад суміші газів: 92% аміаку, 8% пропан-бутану. Степінь дисоціації аміаку 8%

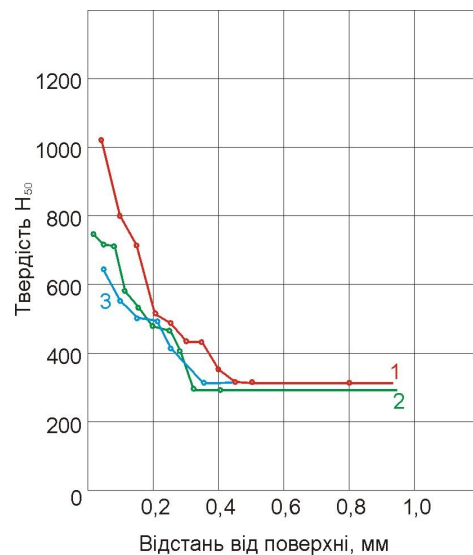


Рис. 17. Значення розподілу твердості по товщині дифузійного шару. 1 – сталь 38Х2МЮА, газове азотування в аміаці при температурі 520°C; 2 – сталь 30ХН2ВФА, режим ХТО: 580°C, 4 години, склад суміші газів: 92% аміаку, 8% пропан-бутану; 3 – сталь 38Х2МЮА, азотування в розплаві солей на основі карбоніду по режиму: 560-580°C, 5 годин.

При наявності в сталі нітридоутворюючих елементів (*Al*, *Ti*, *Cr*) одержаний при ХТО дифузійний шар має більшу твердість. Розподіл твердості по глибині дифузійного шару для сталей 40Х і 45 при різних режимах ХТО приведені на рис. 18–19.

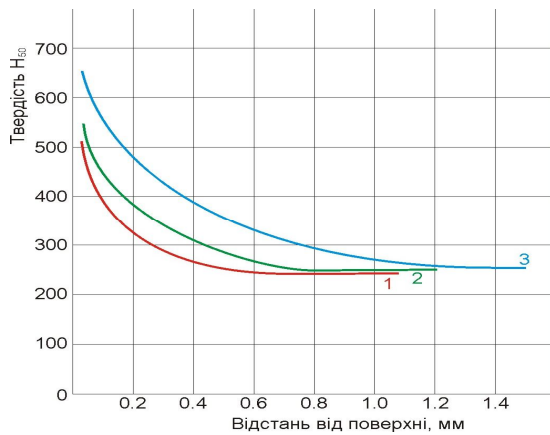


Рис. 18. Значення розподілу твердості по товщині дифузійного шару на сталі 40Х Режим ХТО: 580°C, 4 години. 1 – 96% аміаку, 4% пропан-бутану; 2 – 94% аміаку, 6% пропан-бутану; 3 – 92% аміаку, 8% пропан-бутану

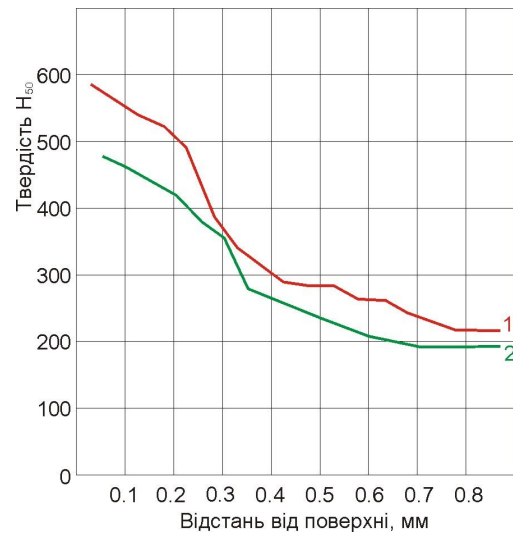


Рис. 19. Значення розподілу твердості по товщині дифузійного шару. 1 – сталь 40Х; 2 – сталь 45. Режим ХТО: 590°C, 4 години; склад суміші газів: 53% аміаку, 47% природного газу

На рис. 16–18 показаний розподіл значень твердості по товщині дифузійного шару для різних марок сталей і різних режимів ХТО.

Аналізуючи розподіл твердості по товщині дифузійного шару сталі 38Х2МЮА для різних способів зміцнення (рис. 17) можна зробити висновок, що процес досліджуваної ХТО за результатами розподілу твердості близький до процесу газового азотування і має в 10 раз меншу тривалість.

Висновок

Товщина та властивості шарів, які формуються при застосуванні технологічного процесу КХТО визначаються складом газової суміші, маркою сталі, температурою та тривалістю обробки.

Оптимальними параметрами технологічного процесу комбінованої хіміко-термічної обробки деталей точної механіки є:

температура 570-590°C; тривалість 4-6 годин.

Склад газової суміші, яка подається в робочій простір печі:

варіант 1: аміак – 90-92%, пропан-бутан – 8-10%;

варіант 2: аміак – 50%, природний газ – 50%.

1. Писаренко В.Г. Комбінована хіміко-термічна обробка як ефективний спосіб підвищення довговічності деталей точної механіки / В.Г. Писаренко // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2011. – № 2.