

В. О. МАЗУР, канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», Маріуполь

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА МІКРОСТРУКТУРИ ШВИДКОРІЗАЛЬНИХ СТАЛЕЙ ПІСЛЯ ПЛАЗМОВОГО ПОВЕРХНЕВОГО АЗОТУВАННЯ

Вивчено вплив технологічних параметрів плазмово-хімічної обробки на структуру та властивості швидкорізальних сталей після плазмового азотування. Досліджено розподіл азоту та фаз, що його містять, у зміцненій зоні в залежності від складу плазмоутворюючого газу та методу поверхневого зміцнення (без оплавлення та з оплавленням поверхневого шару). Досліджено структуру та фазовий склад сталі після плазмо-хімічного зміцнення. Отримані результати забезпечують великий ресурс для підвищення експлуатаційних властивостей швидкорізальних сталей, а через це й працездатності інструменту з цих сталей

Ключові слова: плазма, азотування, зміцнення, структура, фазовий склад, нітрид, мікротвердість, розподіл, технологія

Вступ. Одним з найбільш перспективних напрямів розвитку зміцнюючих технологій в машинобудуванні є поверхнева модифікація сталей і сплавів високонцентрованими джерелами нагріву (ВКИН) - лазерним променем, електронним променем, плазмовим струменем. Завдяки локальній і надшвидкісній тепловій дії створюються можливості набуття більш високих значень твердості, міцності, в'язкості руйнування порівняно з об'ємною обробкою або традиційними способами поверхневого зміцнення. Це обумовлено передусім утворенням в поверхневому шарі високодисперсної метастабільної структури з набагато більш високою щільністю дислокацій. Із способів зміцнення ВКИН економічнішим, продуктивнішим і доступним є плазмове зміцнення [1].

Регулюючи основні технологічні параметри плазмової обробки (величину струму плазмового струменя J , швидкість переміщення плазмотрона - швидкість обробки V), можна реалізовувати різні методи поверхневої модифікації матеріалів - поверхнєве гартування в твердому стані (обробка без оплавлення), поверхнєве гартування з рідкого стану (обробка з оплавленням).

Перспективним напрямом поверхневої плазмової обробки є її поєднання з фізичними і хімічними процесами, що протікають в поверхневому шарі при дії на нього висококонцентрованих джерел нагріву. Прикладом поєднання подібних процесів може виступати плазмохімічна обробка - плазмове азотування, плазмова нітроцементация.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження структури та властивостей швидкорізальних сталей після комплексної плазмо-хімічної обробки. Вивчення характеру розподілу структурних складових по глибині азотованого та не азотованого шарів зони плазмового впливу.

Методика експериментів. Зразки із сталі Р6М3 (0,80 - 0,88 С; 3,8 - 4,4 Сг; 5,5 - 6,5 W; 1,7 - 2,1 V; 3,0 - 3,5 Мо) після стандартної термообробки (гартування від 1220 °С, трикратний відпуск 560 °С, HRC 63-65; мікротвердість 8,5 - 9 ГПа)

піддавалися поверхневому плазмовому зміцненню з одночасним додаванням до плазмоутворюючого газу (аргон) азоту. Вміст азоту в плазмоутворюючому газі варіювався від 5 до 30 %. Глибина азотування і фазовий склад визначалися по зміні мікротвердості (прилад ПМТ-3, навантаження 50 і 100 г).

Для виконання плазмової обробки застосовувався плазмотрон непрямої дії з секціонованою міжелектродною вставкою, розроблений лабораторією плазмових технологій Приазовського державного технічного університету.

Дослідження мікроструктури швидкорізальних сталей після плазмового азотування проводили за допомогою мікроскопів МІМ 8 та Неофот 21 при збільшенні $\times 1200$.

Обговорення результатів досліджень. На даний момент плазмова хіміко-термічна обробка, в основному, проводиться в тліючому дуговому розряді. Теоретичні положення процесу азотування сформовані ученими школи Лахтіна Ю.М. і ученими німецької школи [2, 3]. Інший принцип сформульований Б.Н. Арзамасовим із співробітниками [4]. Обидві моделі засновані на русі позитивних іонів від анода до катода.

Поєднання плазмової зміцнюючої обробки з азотуванням, на відміну від вище описаного процесу, на даний момент вивчене слабо. Проте цей напрям є перспективним, оскільки дозволяє реалізувати деякі особливості процесу насичення поверхневого шару сталей азотом :

1. Підвищення легованості твердого розчину (розчинення карбідної фази при плазмовому модифікуванні) сприяє збільшенню розчинності азоту в α -фазі, що сприяє підвищенню твердості. Підвищення розчинності азоту в α -фазі гальмує утворення на поверхні шару крихких високоазотистих фаз, тим самим сприяє підвищенню міцності [5 – 8].

2. Термоциклування інтенсифікує процес розчинення карбідів і забезпечує високу концентрацію легуючих елементів в перенасиченому α -твердому розчині термообробленої сталі. Термоциклування збільшує кількість дефектів кристалічної решітки, що полегшує дифузію, активізує процес азотування і забезпечує збільшення товщини дифузійного шару. Нагрів до температури відпуску і тривала витримка в процесі азотування дозволяють створити необхідні фізико-механічні властивості основного металу зміцнюваного виробу.

3. Плазмова обробка високолегованих інструментальних сталей з високим вмістом W, V, Co, V створює передумови для отримання поверхневих шарів з високим рівнем твердості (до 12,5 ГПа).

Важливою умовою якісного азотування є правильне проведення початкової термічної обробки інструменту, належного очищення його поверхні, відсутність знеуглецювання. Швидкорізальні сталі з великим змістом W схильні до викарбування після азотування.

Як встановлено раніше [10, 11], для високолегованих швидкорізальних сталей максимальний ефект зміцнення може бути досягнутий тільки при комплексній обробці, що включає об'ємне гартування, поверхневу модифікацію і фінішний об'ємний відпуск. У цьому випадку відбувається значне підвищення і твердості і теплостійкості.

При надшвидкісному плазмовому нагріванні (10^5 °C/c) розпад мартенситу попередньо загартованої сталі по флюктуаційному механізму з утворенням феритно-

карбідної суміші не відбувається і $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення має характер зворотного мартенситного переходу по механізму зрушення. Аустеніт, що утворився при зворотному мартенситному перетворенні успадковує від вихідного мартенситу дефектну структуру, що при подальшому швидкісному гартуванні призводить до підвищення щільності дислокацій [11].

Аналіз мікроструктури показав, що на поверхні зони плазмового азотування при обробці без опалвлення формується структура мартенситу з вмістом залишкового аустеніту. Вміст залишкового аустеніту значно більше, ніж при звичайній плазмовій обробці, через вплив азоту – сильного аустенізатору (рис. 1, а). Нижче знаходиться перехідна зона плазмового гартування з твердого стану та зони де відбувається вплив азоту. Структура складається з мартенситу, залишкового аустеніту та карбідів (рис. 1, б). При обробці з опалвленням на поверхні формується шар, що складається з суміші нітридів вольфраму, молібдену та заліза, та розчину азоту в γ -залізі (рис. 1, в).

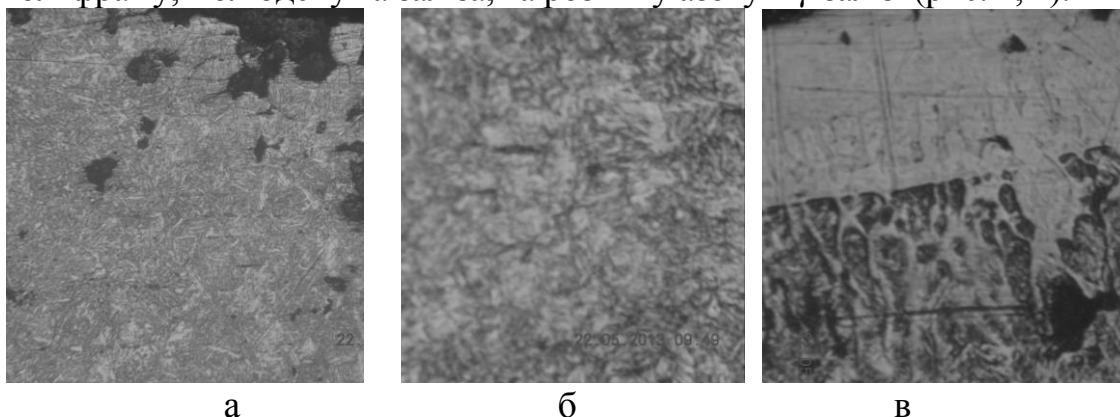


Рис. 1 – Мікроструктура сталі Р6М3 після плазмового азотування: а – обробка без опалвлення; б – перехідна зона між шаром плазмового азотування та плазмового зміцнення в твердому стані; в – зона плазмового азотування з опалвленням поверхні, х 1200

Наступний високий відпуск (550-560 °С/с) призводить до часткового розпаду залишкового аустеніту зони плазмового азотування в твердому стані (рис. 2, а). Нижче розташована зона з меншим впливом азоту на структуру (рис. 2, б). Відпуск опалвленої зони призводить до руйнування шару нітридів легуючих елементів та пересиченого азотом аустеніту. Нітриди та карбонітриди зберігаються частково (рис. 2, в).

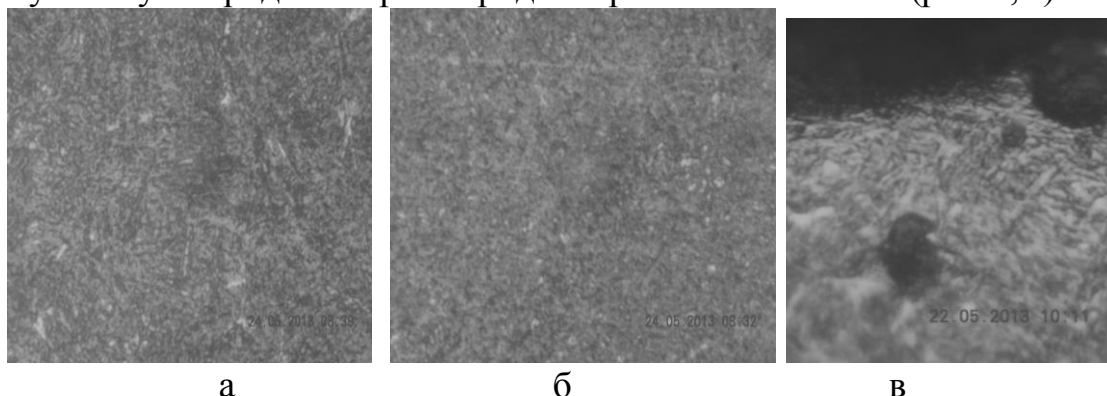


Рис. 2 – Мікроструктура сталі Р6М3 після плазмового азотування та високого відпуску: а – обробка без опалвлення; б – перехідна зона між шаром плазмового азотування та плазмового зміцнення в твердому стані; в – зона плазмового азотування з опалвленням поверхні, х 1200

Характер розподілу мікротвердостей по глибині і ширині зміцненого шару залежно від вмісту азоту в плазмоутворюючому газі показаний на рис. 3 і рис. 4.

Видно, що мікротвердість верхніх шарів, отриманих при температурах близьких до температури плавлення, менше, ніж азотованих при нижчих температурах, за рахунок розпаду ϵ -фази, що має більш високу твердість, ніж твердий розчин азоту в залізі. Нитридні фази на поверхні не створюються в помітних кількостях, і збільшення мікротвердості обумовлене головним чином утворенням твердого розчину азоту в залізі.

Характер розподілу мікротвердості по глибині обробки кардинально міняється при переході від обробки без оплавлення до плазмового мікрооплавлення. Завдяки частковому перемішуванню розплавленого шару конвективними потоками від дії плазмового струменя розподіл мікротвердості вирівнюється рис. 5.

Поступово шар плазмового азотування переходить до зони плазмового зміцнення (модифікації) яке відбувається в твердій фазі. Формується мартенсито-аустеніто-карбідна структура з вмістом залишкового аустеніту до 30%. При подальшому відпуску основними процесами, що протікають в модифікованому металі, є розпад залишкового аустеніту (збільшується вміст мартенситної фази) і дисперсійне твердіння металу зміцненої зони (збільшується вміст карбідної фази). В умовах концентраційної неоднорідності і пересичення твердого розчину в процесі відпуски виділяються високодисперсні карбідні частинки, рівномірнорозподілені в мартенситній матриці (рис. 6) [12]. Важливу роль при дисперсійному твердінні металу зміцненої зони грає і висока щільність дефектів кристалічної будови. У той же час збереження періоду кристалічної решітки при відпустці після плазмової обробки свідчить про більш високої стійкості до розпаду мартенситу плазмового гартування.

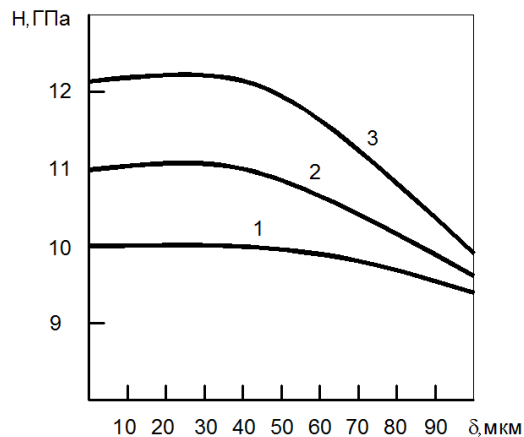


Рис. 3 – Характер розподілу мікротвердості по глибині зміцненого шару залежно від вмісту азоту в плазмоутворюючому газі: 1 – 5 % N_2 ; 2 – 15 % N_2 ; 3 – 30 % N_2 .

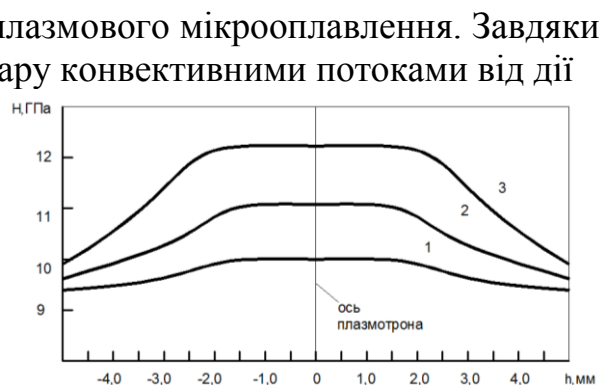


Рис. 4 – Характер розподілу мікротвердості по ширині зміцненої зони залежно від вмісту азоту в плазмоутворюючому газі: 1 – 5 % N_2 ; 2 – 15 % N_2 ; 3 – 30 % N_2 .

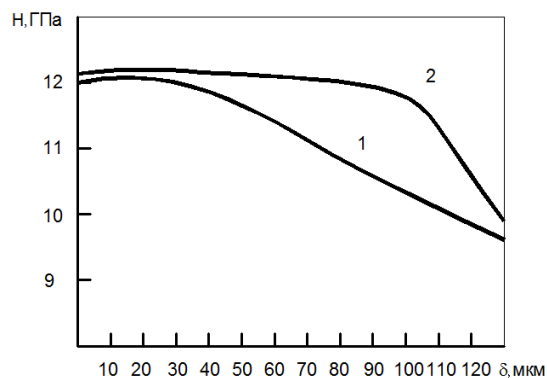


Рис. 5 – Характер розподілу мікротвердості по глибині зміцненого шару залежно від режиму обробки: 1 - плазмова обробка без оплавлення; 2 - плазмова обробка з мікрооплавленням

При відпуску дія твердорозчинного і субструктурного механізмів зміцнення послаблюється - зменшується період кристалічної решітки мартенситу і збільшується розмір блоків. У цьому випадку підвищення експлуатаційних властивостей пов'язано з додатковою дією дисперсійного і дислокаційного механізмів.



Рис. 6 – Мікроструктура сталі Р6М5 після плазмової модифікації без оплавлення з подальшим відпуском

Висновки

1. Плазмова обробка з одночасним азотуванням поверхні є перспективним напрямом підвищення працездатності різального інструменту. Завдяки високому ступеню насичення твердого розчину вуглецем і легуючими елементами, а також із-за високої щільності дислокацій, що виникає при плазмовій модифікації підвищується швидкість дифузії азоту в сталі.

2. Широкі технологічні можливості плазмової обробки дозволяють отримувати насичені азотом шари глибиною сумірною із стандартною технологією газового і рідинного азотування.

3. При плазмохімічній обробці формується багатшарова композиція, що складається з азотованого шару, та зоні плазмової поверхневої модифікації, загальною глибиною до 4,5 – 5 мм. Це забезпечує великий ресурс для підвищення експлуатаційних властивостей швидкорізальних сталей, а через це й працездатності інструменту з цих сталей.

Список літератури: 1. *Самотугин, С. С.* Плазменное упрочнение инструментальных материалов [Текст] / *С. С. Самотугин, Л. К. Лецинский* // Донецк: Новый мир, 2002. – 338 с. 2. *Лахтин, Ю. М.* Теория и технология азотирования: Монография [Текст] / *Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган, Г. Шпис, З. Бемер* // М.: “Металлургия”, 1991.– 320 с. 3. *Edenhofer, B.* Physikalische und metallkundliche Vorgänge beim Nitrieren in Plasma einer Glimmentladung [Text] / *B. Edenhofer* // *Harterei-Technische Mitteilungen*. – 1974. – Vol. Bd. 29, № 2. – P. 105-112. 4. *Арзамасов, Б. Н.* Ионная химико-термическая обработка сплавов: Монография [Текст] / *Б. Н. Арзамасов, А. Г. Братухин, Ю. С. Елисеев, Т. А. Панайоти* // М.: Изд. МГТУ им Баумана, 1999. – 400 с. 5. *Крейндель, Ю. Е.* Об азотировании анода в тлеющем разряде [Текст] / *Ю. Е. Крейндель, Л. П. Пономарёва, В. П. Пономарёв, А. И. Слосман* // *Электронная обработка материалов*. – 1983. – № 4 (118). – С. 32-34. 6. *Tibbets, G. G.* Role of nitrogen atoms in “ion-nitriding” [Text] / *G. G. Tibbets* // *Journal of Applied Physics*. – 1974. – Vol. 45, No. 11. – P. 5072-5073. 7. *Саблев, Л. П.* Двухступенчатый вакуумно-дуговой разряд: характеристики и методы создания [Текст] / *Л. П. Саблев, Н. С. Ломино, Р. И. Ступак, А. А. Андреев, А. М. Чикрыжов* // 6-я Межд. конф. “Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов”, Харьков. – 2005. – Ч. 2. – С.159–169. 8. *Коган, В. С.* Влияние вакуумных условий на формирование структуры конденсатов. Взаимодействие активных газов с металлическими плёнками [Текст] / *В. С. Коган, А. А. Сокол, В. М. Шулаев* // М.: ЦНИИАтоминформ, 1987. 9. *Лахтин, Ю. М.* Азотирование стали [Текст] / *Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган* // «Машиностроение», 1976. 256 с. с ил. 10. *Самотугин, С. С.* Поверхностное упрочнение инструментальных сталей и сплавов при нагреве высококонцентрированной плазменной струей [Текст] / *С. С. Самотугин, О. Ю. Нестеров, В. А. Мазур, Д. А. Черевко, О. М. Шеремета* // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. – №3. – С. 23 – 28. 11. *Самотугин, С. С.* Плазменная обработка инструментальных материалов / *С. С. Самотугин* // Автоматическая сварка. – 1996. – №8. – с.3-8. 12. *Самотугин, С. С.* Плазменное микро- и наноструктурирование поверхности инструментальных сталей [Текст] / *С. С. Самотугин, В. А. Мазур* // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. - № 4. – С.29 – 37.

Bibliography (transliterated): 1. *Samotugin, S. S.* (2002). Plasma hardening of tool materials. Donetsk, New World, 338. 2. *Lahtin, Y. M., Kogan, J. D., Spiess, G., Boehmer, H.* (1991). Theory and technology of nitriding: Monograph. "Metallurgy", 320. 3. *Edenhofer, B.* (1974). Physikalische und metallkundliche Vorgänge beim Nitrieren in Plasma einer Glimmentladung. Harterei-Technische Mitteilungen, Vol. Bd. 29, № 2, 105-112. 4. *Arzamasov, B. N., Bratukhin, A. G., Yeliseyev, Y. S., Panayotov, T. A.* (1999). Ionic chemical heat treatment of alloys: Monograph. Bauman MSTU, 400. 5. *Kreindel, Y. E., Ponomarev, L. P., Ponomarev, V. P., Slosman, A. I.* (1983). About nitriding anode glow discharge. Electronic data processing materials, № 4 (118), 32-34. 6. *Tibbets, G. G.* (1974). Role of nitrogen atoms in "ion-nitriding". Journal of Applied Physics, Vol. 45, № 11, 5072-5073. 7. *Sablev, L. P., Lomin, N. S., Stupak, R. I., Andreev, A. A., Chikryzhov, A. M.* (2005). The two-stage vacuum-arc: Characteristics and methods of creation 6th Int. Conf. "Equipment and technology of thermal processing of metals and alloys", Kharkov, Part 2, 159-169. 8. *Kogan, V. S., Sokol, A., Shulaev, V. M.* (1987). Effect of vacuum conditions on the structure of the condensates. The interaction of active gases with metal films: Review, CNIAtominform. 9. *Lahtin, Y. M., Kogan, J. D.* (1976) Nitriding steel, "Engineering", 256. 10. *Samotugin, S. S., Nesterov, O. Y., Mazur, V. A., Cherevko, D. A., Sheremeta, O. M.* (2005). Surface hardening of tool steels and alloys by heating the plasma jet of high concentration. Strengthening technology and coatings, 3, 23 - 28. 11. *Samotugin, S. S.* (1996) The plasma processing tool materials. Automatic welding, 8, 3-8. 12. *Samotugin, S. S., Mazur, V. A.* (2013). Plasma micro and nanostructuring of surfaces of tool steels. Strengthening technology and coatings, 4, 29 - 37.

Надійшла (received) 27.04.2015

УДК 691.32

А. А. ПЛУГІН, д-р техн. наук, проф., зав. каф., УкрДУЗТ, Харків;

О. В. РОМАНЕНКО, канд. техн. наук, доц., УкрДУЗТ, Харків;

О. А. КАЛІНІН, канд. техн. наук, доц., УкрДУЗТ, Харків;

О. А. ПЛУГІН, канд. техн. наук, доц., УкрДУЗТ, Харків;

О. В. АФАНАСЬЄВ, канд. техн. наук, доц., УкрДУЗТ, Харків

ВПЛИВ ДОБАВОК СУПЕРПЛАСТИФІКАТОРІВ І ПРИСКОРЮВАЧІВ ТВЕРДІННЯ НА КІНЕТИКУ НАБОРУ МІЦНОСТІ ЦЕМЕНТНИМ КАМЕНЕМ

В результаті експериментальних досліджень встановлено кінетику набору міцності цементного каменю з добавками суперпластифікаторів і прискорювачів твердіння за різних температур. Виконано аналіз впливу добавок суперпластифікаторів і прискорювачів твердіння на кінетику набору міцності цементним каменем. Обрано комплекс добавок, який забезпечує найбільший приріст міцності в рані строки твердіння, що дає змогу використовувати його для виробництва залізобетонних шпал та отримати найбільшу економію енергоресурсів через скорочення режиму тепловологісної обробки.

Ключові слова: залізобетонна шпала, бетон, цементний камінь, добавки, суперпластифікатор, прискорювач твердіння, температура твердіння

Вступ. Виробництво залізобетонних шпал надто енергоємне, тому розробка складів бетону з добавками, які дозволяють мінімізувати тепловологісну обробку (ТВО) залізобетонних виробів або навіть відмовитись від неї, залишається надто актуальною.

Мета роботи – встановити вплив добавок і температури твердіння на кінетику набору міцності цементним каменем, обрати комплекси добавок для подальших досліджень, спрямованих на розробку складу бетону залізобетонних шпал,