

УДК 621.793

## ВПЛИВ НАКОЧУВАННЯ НА МІКРОТВЕРДІСТЬ ШАРУВАТОГО ДИФУЗІЙНОГО ПОКРИВУ ТА ПРОЦЕСИ ТЕКСТУРОУТВОРЕННЯ В НЬОМУ

О. В. Манько

Українська академія друкарства,  
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

*Розглянуто результати металографічного аналізу та аналізу мікротвердості багатошарового дифузійного покриття із зовнішньою композиційною зоною після процесу накочування. З'ясовано вплив різних режимів процесу ППД на мікротвердість та текстурування.*

*Показано, що накочування сприятливо впливає на показники мікротвердості зон, із яких складається дифузійний шар, що дає змогу підняти кількісні показники мікротвердості цих зон, а також згладити рельєф фізичної поверхні. Отже, це дасть змогу зменшити рівень концентраторів, знизити шкідливі напруження на поверхні, через які вона пришвидшено руйнується, зменшити небезпеку просідання зміцненого покриття в процесі експлуатації, передчасного зносу пари тертя, а тому і до зменшення ресурсу зміцненої пари тертя.*

**Ключові слова:** *накочування, хіміко-термічна обробка, пара тертя, мікротвердість, дифузійний шар, діаметральний зазор, нагартування, текстура.*

**Постановка проблеми.** Працездатність покриття, отриманого методами хіміко-термічної обробки або іншими комбінованими методами, залежить не тільки від показників шорсткості фізичної поверхні, яка буде впливати на процес приробки і процеси зношування під час експлуатації (пришвидшене абразивне зношування). Значний вплив на працездатність матиме фактор контактної міцності отриманого покриття, який може призвести до завчасного виходу з ладу через активні втомні процеси, а також до різкого зростання діаметрального зазору в результаті так званого просідання покриття під дією контактного тиску від контртіла. Унаслідок порушується геометрія контакту пари «валик – втулка», особливо в умовах реверсивного режиму тертя, що спричинить пришвидшення ударно-абразивне зношування пари тертя загалом. Виникає необхідність усунення цієї небезпеки шляхом зміцнення покриття повністю через ППД.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Незважаючи на відзначену низкою дослідників перспективність комбінованих методів зміцнення, внаслідок яких отримують зміцнені шари підвищеної працездатності [1, 2, 3, 4], вкрай незначними залишаються приклади отримання дифузійних покриттів значної товщини [5]. Як показують ці праці, такі покриття підвищеної товщини, отримані методами хіміко-термічної обробки, часто мають завищену шорсткість та ослаблену

підкладку, через активну дифузію вуглецю назовні, де він зв'язується у хімічні сполуки з карбідотворюючими елементами.

Приклади застосування поверхнево-пластичного деформування (ППД) для зміцнення поверхневих шарів дифузійних покривів і їх підкладки ми не відстежували в науковій періодиці, оскільки зміцнені шари переважно мали сформовану поверхневу зону з хімічних сполук невеликої товщини, що, власне кажучи, не дає змоги застосовувати накочування, хіба що як калібрування [6]. Мікротвердість зовнішнього шару водночас несуттєво зростала (наприклад, показник твердості по Вікерсу для середньовуглецевої конструкційної сталі 45 зріс від 17,5 ГПа до 19,9 ГПа).

Покриття, яке ми отримали, властива композиційна будова (шаруватість покриття), висока шорсткість фізичної поверхні та знеуглецьована підкладка, яка може бути причиною деформації (просідання) профілю поверхні тертя (рис. 1). Отож з метою оптимізації показників працездатності, зокрема мікротвердості покриття загалом, ми запропонували провести накочування отриманого покриття.

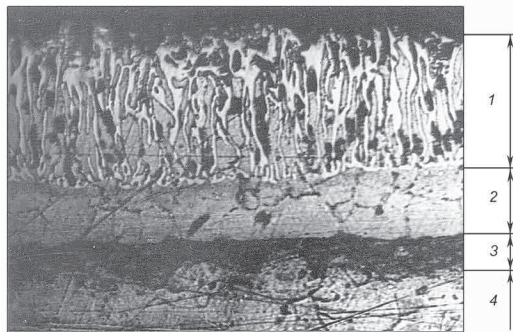


Рис. 1. Будова дифузійного покриву, сформованого на сталі 45 після хімічного покриття та хромування, 600<sup>x</sup>

**Мета статті** — оцінка впливів накочування покриття із композиційною будовою на показники мікротвердості кожної із зон багатозарового покриття на його підкладку, а також на текстурування останніх (покриття формувались на зразках із конструкційної сталі 30 і 45). Процес розкочування здійснювався сконструйованим для отворів пристроєм для діаметру 20 мм із можливістю регулювання діаметру в межах допуску. Для обкочування застосовувався трироликівий пристрій охоплюючого типу. Фотографії здійснювалися на металографічному мікроскопі МИМ-8М. Глибину нагартування після ППД, а також сумарну величину мікротвердості композиційної зони визначали вимірюванням мікротвердості на приладі Т1К2-ПМТ-3 за навантаження 0,5 Н.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Із метою визначення оптимальних режимів накочування (поверхнево-пластичної деформації) для отримання найбільш зміцненого та працездатного покриття було проведено металографічний аналіз розкочених із різними натягами зразків, а також вплив накочування на мікротвердість та текстурування різних зон покриття.

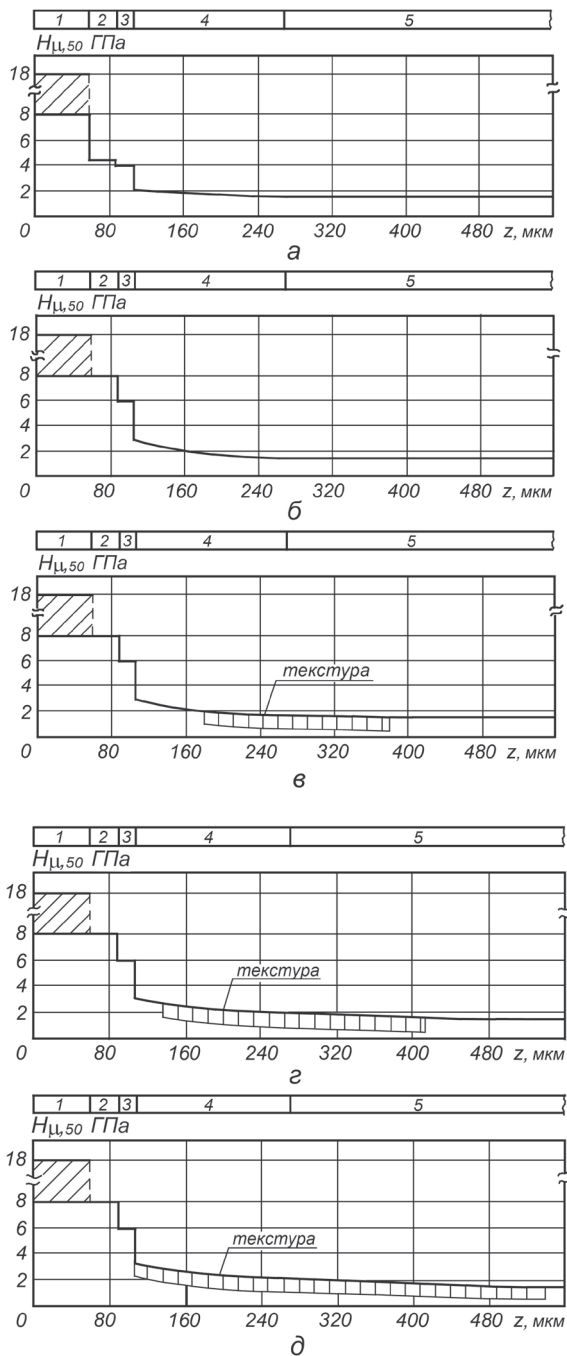


Рис. 1. Мікротвердості зон дифузійного шару, отриманого на сталі 45:  
 а) — до розкочування; б), в), г), д) — після розкочування з натягами 0,05; 0,1; 0,15 і 0,20 мм

У процесі розкочування мікроструктура та мікротвердість поверхневого шару зазнають суттєвих змін. Характер цих змін для сталей 30 і 45 якісно аналогічний, тому достатньо розглянути перебіг процесу ППД для однієї з вибраних сталей, а саме для сталі 45. Під час ППД цієї сталі процеси деформації в ній будуть розвиватися динамічніше завдяки малій товщині знеуглецьованої зони.

Як видно з рис. 1а, для знеуглецьованої зони 4 (підкладки) нерозкоченого зразка характерна зміна мікротвердості з 2,3 ГПа (в місцях, прилеглих до евтектоїдної зони 3) до 1,6 ГПа на глибині 240 мкм від фізичної поверхні. Такий монотонний спад величин мікротвердості свідчить про наявність у цій зоні напруж стиску, що є сприятливим чинником, оскільки зменшується перепад у значеннях мікротвердостей у зонах 3 і 4, а отже, зменшується імовірність зародження там підповерхневих тріщин.

Поверхнєве розкочування з мінімальним натягом  $i = 0,05$  мм призводить до підвищення в 1,8–2 рази мікротвердості гомогенної зони 2; в 1,5 раза мікротвердості евтектоїдної зони 3. Зростає також мікротвердість знеуглецьованої зони 4 (підкладки) з 2,3 до 2,8 ГПа в місцях, прилеглих до зони 3 з подальшим монотонним спадом мікротвердості на глибину. Під час накочування з натягом  $i = 0,10$  мм у знеуглецьованій зоні 4 з'являються ознаки текстуровання (рис. 1б).

Показано, що, незважаючи на зростання деформаційного зусилля (натягу), сумарна мікротвердість композиційної зони 1 не змінюється і дорівнює 12–13 ГПа для сталі 45 та 9–10 ГПа для сталі 30. Це пов'язано з її структурою, бо стовпчасті карбідні зерна, спрямовані нормально до фізичної поверхні, забезпечують їй високу жорсткість і нечутливість до деформації в цьому інтервалі натягів. Щодо гомогенної зони 2, то, починаючи з мінімального натягу, мікротвердість її зростає до 8 ГПа і далі не збільшується. Аналогічний процес відбувається в евтектоїдній зоні 3, і її мікротвердість, незважаючи на збільшення, зростає тільки до 6 ГПа. І тільки в знеуглецьованій зоні 4, тобто в підкладці, зафіксовано невпинне зростання мікротвердості, особливо в ділянках, прилеглих до зони 3, що є наслідком активного текстуроутворення в цій зоні. Причому із збільшенням натягу текстуроутворення розповсюджується і на частково знеуглецьовану зону, результатом чого є підвищення її мікротвердості за феритовою складовою (рис. 1, 2).

Активне текстуровання зони 4 свідчить про те, що саме ця зона сприймає основну частку деформаційної енергії, досягаючи водночас високого ступеня нагартування. Як вказує Криштал М. Я. [8, с. 122], за наявності високих статичних викривлень кристалічних ґраток хромованих шарів, обумовлених легуванням, зростання викривлень, що спричинені деформуванням, буде меншим. Отже, зрозуміло, що насамперед нагартуванню підлягатимуть ті зони, які мають менші кристалічні викривлення, ніж композиційна зона, яка набула їх у процесі формування карбідної колонії під час дифузійного хромування. Вони будуть нагартуватися настільки інтенсивно, наскільки дасть їм змогу запас в'язкості. Знеуглецьована зона 4 виявилася найбільш придатною для демпфування та розсіювання енергії деформації.

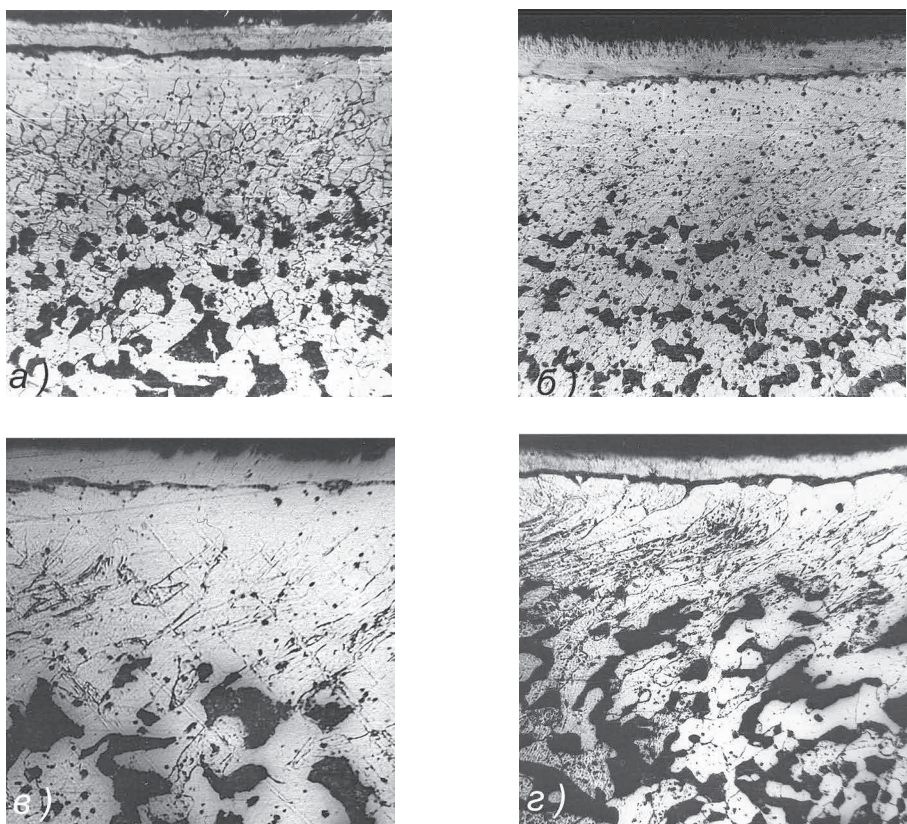


Рис. 2. Мікроструктура поверхневого шару хромованої сталі 45:

- а) — нерозкочений зразок (відсутність текстури у зоні 4);  
 б), в), г) — після розкочування з натягами відповідно  $\epsilon = 0,10; 0,15; 0,20$  мм

Однак композиційна зона 1 все-таки зазнає деформації (рис. 3): нагартуванню (і перенагартуванню) підлягає зовнішня колонія карбідів, сформована на горбкуватій поверхні, а також сама горбкувата поверхня (рис. 4). Внаслідок накопчування утворюються своєрідні ансамблі плато.

Це сприяє різкому покращенню опорної кривої профілю, але ще не означає, що в період приробки інтенсивність зношення цієї деформованої зони буде невисокою, оскільки перенагартвані вершини горбочків із вичерпаним запасом в'язкості (результатом чого є релаксаційні тріщини по їх периметру (рис. 4)) будуть швидко руйнуватися і, потрапляючи в зону тертя, слугуватимуть абразивним середовищем, що, зрештою, пришвидшить приробку пари тертя. Це теж можна вважати перевагою процесу ППД. Крім того, западини рельєфу, які все ж таки залишаються, слугуватимуть своєрідними «кишенями», де будуть, з одного боку, накопичуватися продукти зносу в період приробки, а з другого — в западинах зберігатиметься мастило, що покращуватиме процес змащування пари тертя в той же період приробки, в такий спосіб полегшуючи його.



Аналіз графіків мікротвердості, а також металографічний аналіз мікроструктури дають підставу стверджувати, що композиційна гетерогенна зона 1 з досить високою мікротвердістю її карбідної складової й одночасно пластичною складовою матриці і частково зона 2 є основними робочими зонами отриманого дифузійного шару. Тоді як знеуглечена зона 4 буде виконувати функцію демпфування, що дозволить розсіювати зайву деформаційну енергію в момент зміни вектора чи знаку навантажень.

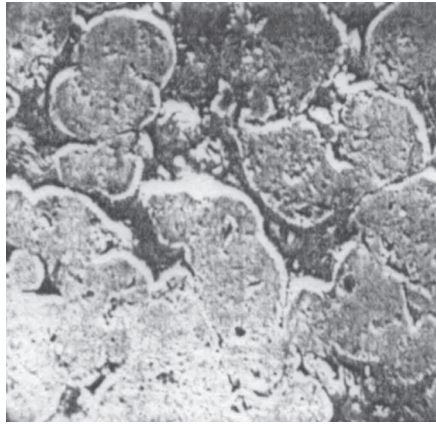


Рис. 3. Фізична поверхня зразка після розкочування, 600 $\times$

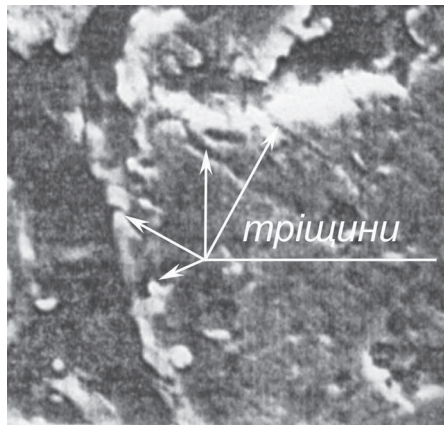


Рис. 4. Перенагартована вершина горбочка з релаксаційними тріщинами по периметру,  $\times 3000$

Щодо текстуроутворень у дифузійних шарах, сформованих на сталях 30, то початок процесу текстуровання настає там при  $i = 0,10$  мм, що пояснюється більшою шириною знеуглеченої зони, а отже, більшою можливістю розсіювати енергію деформації до повного вичерпання запасу в'язкості в місцях, прилеглих до зони 3.

### **Висновки.**

1. Висвітлено процеси ППД багатошарового дифузійного покриття після комбінованої зміцнювальної обробки, наслідком якої є зростання мікротвердості у зонах дифузійного шару та поява текстури у підкладці.

2. Показано, що після проведення ППД насамперед зростає мікротвердість знеуглецьованої зони 4 (підкладки) з 2,3 ГПа до 2,8 ГПа. Зростають також показники мікротвердості для зон 2 і 3, в 1,8–2 рази та в 1,5 раза, відповідно.

3. Мікротвердість композитної зони 1 через її специфічну будову не деформується, за винятком горбкуватого рельєфу на фізичній поверхні.

4. Отриманий після ППД рельєф фізичної поверхні є сприятливим для перебігу приробки.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Балтер М. А. Упрочнение деталей машин. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Машиностроение, 1978. 184 с.
2. Папшев Д. Д. Состояние и перспективы развития обработки поверхностным пластическим деформированием. Кузнечно-штамповое производство. 1985. № 8. С. 32–33.
3. Дроздов Ю. Н., Усов С. В. Использование комбинированных технологических методов для повышения износостойкости деталей машин. Вестник машиностроения. 1985. № 10. С. 9–11.
4. Одинцов Л. Г. Комплексные и комбинированные способы упрочнения как одно из направлений развития методов ППД. Новые технологические процессы и оборудование для поверхностной пластической обработки материалов : Всесоюзная научно-техническая конференция : тез. докл. (Брянск, 21–23 окт. 1986 г.). С. 50.
5. Манько О. В., Стецько А. Є. Дослідження впливу попереднього хімічного покриття (ХП) на процес формування композиційної зони при комбінованій зміцнюючій обробці (КЗО). Машинознавство. 2005. № 3. С. 37–41.
6. Стецьків О. П., Арабский Р. С. Раскатывание хромированных поверхностей. Вестник машиностроения. 1987. № 11. С. 67–71.
7. Манько О. В., Паламар О. О., Стецько А. Є. Прояв ефекту пристосовуваності при трибологічному дослідженні покриття, отриманого методом комплексної зміцнюючої обробки. Наукові записки [Української академії друкарства]. 2018. № 1 (56). С. 61–70.
8. Криштал М. А., Выбойщиков М. А., Александров В. М. Изучение физических факторов, определяющих упрочнение диффузионных хромированных покрытий в процессе пластической деформации. Физико-химическая механика материалов. 1976. Т. 12. № 6 С. 67–71.

### **REFERENCES**

1. Balter, M. A. (1978). Uprochnenie detalei mashin. Moskva : Mashinostroenie (in Russian).
2. Papshev, D. D. (1985). Sostoianie i perspektivy razvitiia obrabotki poverkhnostnym plastiicheskim deformirovaniem: Kuznechno-shtampovoe proizvodstvo, 8, 32–33 (in Russian).
3. Drozdov, Iu. N., & Usov, S. V. (1985). Ispolzovanie kombinirovannykh tekhnologicheskikh metodov dlia povysheniia iznosostoikosti detalei mashin: Vestnik mashinostroeniia, 10, 9–11 (in Russian).

4. Odintcov, L. G. Kompleksnye i kombinirovannye sposoby uprochneniia kak odno iz napravlenii razvitiia metodov PPD. Novye tekhnologicheskie protsessy i oborudovanie dlia poverkhnostnoi plasticheskoi obrabotki materialov : Vsesoiuznaia nauchno-tekhnicheskaiia konferentsiia : tez. dokl. (Briansk, 21–23 okt. 1986 g.), 50 (in Russian).
5. Manko, O. V., & Stetsko, A. Ye. (2005). Doslidzhennia vplyvu poperednoho khimichnogo pokryttia (KhP) na protses formuvannia kompozytsiinoi zony pry kombinovanii zmitsniuuchii obrobtisi (KZO): Mashynoznavstvo, 3, 37–41 (in Ukrainian).
6. Stetckiv, O. P., & Arabskii, R. S. (1987). Raskatyvanie khromirovannykh poverkhnostei: Vestnik mashinostroeniia, 11, 67–71 (in Russian).
7. Manko, O. V., Palamar, O. O., & Stetsko, A. Ye. (2018). Proivav efektu prystosovuvanosti pry trybo lohichnomu doslidzhenni pokryttia, otrymanoho metodom kompleksnoi zmitsniuuchoi obrobyky: Naukovi zapysky [Ukrainskoi akademii drukarstva], 1 (56), 61–70 (in Ukrainian).
8. Krishtal, M. A., Vyboishchikov, M. A., & Aleksandrov, V. M. (1976). Izuchenie fizicheskikh faktorov, opredeliaiushchikh uprochnenie diffuzionnykh khromirovannykh pokrytii v protsesse plasticheskoi deformatcii: Fiziko-khimicheskaiia mekhanika materialov, 12, 6, 67–71 (in Russian).

doi: 10.32403/0554-4866-2019-1-77-30-38

## THE INFLUENCE OF SURFACE PLASTIC DEFORMATION (ROLLING FINISHING) ON THE MICROHARDNESS OF THE LAMINATE DIFFUSION LAYER AND ON THE TEXTURIZATION PROCESS IN IT

O. V. Manko

*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pid Holoskom, St., Lviv, 79020, Ukraine  
oleksiymancko@gmail.com*

*The results of the metallographic analysis and analysis of the microhardness of the multilayer diffusion layer with the external composite zone after the rolling finishing process have been considered, and the effect of different modes of this process on the microhardness and texturing has been investigated.*

*At the same time, the influence of plastic deformation is first of all manifested in zones with lower microhardness characteristics, despite the fact that they lie deeper. The parameters of microhardness after the influence of the rolling finishing process increase in all zones except for the outer composition zone 1, the total microhardness of which remains unchanged. In zone 2 with a homogeneous structure of a solid solution of chromium in  $\alpha$ -iron, microhardness immediately increases from 4,4 GPa to 8 GPa and remains this despite the growth of tensions. Similarly, in eutectoid zone 3 microhardness increases from 4,0 GPa to a maximum of 6 GPa. Only in the decarburized zone 4 the microhardness increases with increasing tension.*



*The beginning of texture of the decarburized zone 4 is observed at the value of tension  $i = 0.10$  mm and above. The expressive texture of the decarburized zone 4, which gives the strengthening effect, is formed at tensions from 0,15 to 0,20 mm.*

*The suggested technological coating operation of the resulting coating will reduce the stresses of stress concentrators, which can lead to accelerated surface destruction, reduce the risk of deformation of the coating during operation and the premature wear of friction pairs, which can lead to a shortened service life of the hardened friction pair.*

**Keywords:** *rolling, chemical and thermal treatment, microhardness, diffusion layer, diametrical gap, stress concentrators, cold-hardening, texture.*

*Стаття надійшла до редакції 23.01.2019.*

*Received 23.01.2019.*