

УДК 620.178.167.+ 621.785

О.В. Манько, к.т.н., доц.

Ю.Б. Стецько, аспір.

Українська академія друкарства

М.Л. Білявський, студ.

Житомирський державний технологічний університет

УТВОРЕННЯ БІЛОГО ШАРУ ПРИ ФРИКЦІЙНО-ЗМІЦНЮЮЧІЙ ОБРОБЦІ ТОНКИХ ПЛАСТИН

Розглянуто характерні для поліграфії умови роботи інструментів, зокрема поліграфічні ножі, висічні лінійки і т.ін., які, працюючи у специфічних умовах, піддаються інтенсивному ударно-абразивному зношенню. Для підвищення зносостійкості різальних крайок запропоновано застосування фрикційно-зміцнюючої обробки на пластинах зі сталі У8А, яка в порівнянні з використовуваними закордонними сталями є значно дешевішою та їй притаманна висока зносостійкість. На практиці розроблено оптимальні режими зміцнення (глибина врізання (натяг), подовжся подача, частота обертання зміцнюючого диска) з метою програмованого одержання потрібних параметрів оптимізації (мікротвердості та товщини утвореного білого шару).

Аналіз публікацій. На сьогоднішній день вирішення питання про підвищення довговічності виробів призвело до створення та застосування нових більш міцних і довговічніших матеріалів і сплавів, удосконалення існуючих та створення нових технологічних процесів виготовлення та зміцнення деталей.

Виходячи із необхідності створення зміцнюючих технологій, метою яких є розширення ресурсу роботи різноміцних деталей, слід звернути увагу на ряд специфічних деталей, котрі працюють в режимах сухого тертя та ударно-абразивного зношування. До такого типу деталей слід віднести різноманітні паперорізальні, текстильні різальні ножі, які внаслідок багатоциклової дії піддаються різкому зношенню різальних крайок.

Ці інструменти повинні володіти високою зносостійкістю різальних крайок у процесі різання паперу, картону, шкіри, тканини тощо. Крім цього слід зазначити необхідність забезпечення низької собівартості вихідного матеріалу та технології зміцнення, що сприятиме спрощенню впровадження нових методів підвищення зносостійкості. Особливістю роботи таких інструментів є ударний характер прикладених навантажень. Останні зростають і спадають за

надзвичайно короткий проміжок часу, по суті носять імпульсний характер, що призводить до утворення в зоні контакту хвиль напружень стиску і розтягу, які поширюються по об'єму інструментів [1].

Останнім часом завдяки значним досягненням у розвитку лазерних, електронно- та іоннопроменевих, електроімпульсних процесів, ультразвукової обробки, зміцненням за допомогою вибуху створені та все більше застосовуються на практиці нові імпульсні методи обробки металів і сплавів. Характерною особливістю цих методів є те, що при прикладеній високій питомій енергії та імпульсному її впливу на відносно малі об'єми твердого тіла відбувається швидке охолодження останніх з високими швидкостями. Такий процес також супроводжується одночасною пластичною деформацією поверхневого шару. Комплексна їх дія призводить до різкої зміни структури, фізико-механічних властивостей і напруженого стану металу.

Приймаючи до уваги низку фундаментальних досліджень у галузі імпульсних технологій, виконаних у 80-х роках [2], [3], [4], фізична суть багатьох аспектів імпульсної обробки ще не розкрита. Як відомо, внаслідок імпульсної дії в зоні контакту спряжених поверхонь при певних режимах та умовах виникають специфічні структури, котрим притаманні високі твердість та міцність, в'язкість, низька протравлюваність та структура, близька за властивостями до аморфної. Такі структури називають білим шаром (БШ) [5]. За таких умов відбувається спрямований перенос елементів з більш холодних у гарячі шари металу в процесі зміцнення, а також їх перерозподіл після зміцнення.

На основі дослідів, проведених професором Бабеєм Ю.І., велика швидкість дифузії вуглецю й інших елементів в БШ при імпульсному зміцненні може пояснюватися виникненням в результаті впливу високих імпульсних температур і тисків, близько 0,1–10 ГПа, sp^3 – гібридних електронних систем і їх активною взаємодією між собою. Атоми, які мають таку конфігурацію, посилено дифундують назустріч один одному, що різко пришвидшує масоперенос. Такі електронні системи можуть виникати в результаті високої активації s – оболонки і $s \rightarrow p$ електронного переходу [1], [3]. Максимальне, порівняно з іншими елементами, збільшення вмісту вуглецю в БШ пояснюється тим, що він є легким елементом, який має менший атомний радіус, ніж залізо, і утворює з ним твердий розчин проникнення. Незважаючи на суттєве пришвидшення дифузії при імпульсній обробці, процес дифузії і окремих (особливо легких) елементів на великі відстані за малі

проміжки часу (10^{-3} – 10^{-2} с) важко пояснити класичними механізмами дифузії.

Характерною особливістю процесу дифузії при імпульсній обробці є те, що він мало залежить від температури і від способу навантаження. Більший вплив на дифузію має швидкість деформації, яка проходить як по об'єму, так і по границях зерен і є більш інтенсивною в металах зі щільною кристалічною ґраткою.

Цією проблематикою займалось чимало відомих вчених, великий вклад в теорію цього питання внесли Н.Н. Давиденков, Г.В. Курдюмов, Б.Д. Грозін, Д.А. Драйгор, П.С. Палатник, В.А. Кислик, Г.В. Самсонов, Н.Н. Сухаріна, Ю.І. Бабей, В.М. Голубець, Пашечко М.І. та інші. Але природа утворення таких структур не достатньо зрозуміла і на сьогодні.

Отже, БШ являє собою механічну суміш двох фаз (мартенсит + залишковий А_у), який утворюється внаслідок імпульсного впливу на поверхню контакту, де мають місце одночасна комплексна дія поверхнево-пластичної деформації та загартування. Утворений шар володіє специфічними властивостями, зокрема низькою протравлюваністю, високою в'язкістю при достатній твердості. Тому БШ привертають увагу щодо подальшого дослідження умов утворення та службових характеристик з метою застосування їх в машинобудівній практиці.

Методи дослідження. Значна кількість дослідів з вивчення різних режимів лезової та абразивної обробки показали, що їх результатом є технологічний вплив на структуру, фізико-механічні властивості, опір втомі й корозійній втомі матеріалу. Накопичені результати дозволили розробити декілька методів утворення БШ. Встановлено, що при високих швидкостях нагрівання, які пов'язані в основному із зворотним мартенситним перетворенням [1], можна одержати структури, які не можуть бути створені стандартними видами термообробки [1], [2]. Такими видами термообробки є методи імпульсних технологій. Їх аналіз показує, що перспективним методом, котрому притаманна простота та низька собівартість є фрикційно-зміцнююча обробка (ФРЗО).

Суть ФРЗО полягає в тому, що внаслідок примусового тертя взаємних поверхонь при миттєвому їх контакті виникають високі температури, які призводять до зміни фізичних властивостей поверхневого шару матеріалу, внаслідок чого утворюється БШ.

Схема роботи методу наступна: замість шліфувального круга на шпинделі шліфувального верстата встановлюють зміцнюючий

металевий диск, а обробку деталі здійснюють аналогічно шліфуванню (рис. 1).

Як вихідний матеріал для досліджень структурних перетворень застосовуємо вуглецеву інструментальну сталь марки У8А. Встановлено, що при ударі по закріпленому, незакріпленому монокристалічному абразиву максимальна зносостійкість притаманна вуглецевим сталям з вмістом вуглецю 0,7–0,8 % С [5].

Зміна хімічного складу БШ залежить від вихідного структурного стану матеріалу заготовки. В БШ, одержаних на метастабільних структурах (загартування, загартування + низький відпуск), спостерігається більше збільшення вмісту елементів, ніж на рівноважних структурах. Грубі (зернисті, пластинчасті) перлітно-феритні структури, в порівнянні з гомогенними, затруднюють перенос і вирівнювання концентрації елементів у аустеніті, й тому погіршуються умови утворення якісних БШ. Ці умови покращуються при підвищенні температури імпульсної обробки.

Важливим фактором також є збільшення швидкості розчинення карбідів у аустеніті. Підвищення вмісту вуглецю у вихідній сталі, не залежно від її структурного стану, призводить до збільшення вмісту залишкового аустеніту в БШ, що в подальшому, на наш погляд, вплине на вязкість крайки леза. Суттєве його збільшення спостерігається в БШ, одержаних ФРЗО, оскільки при цьому відбувається найбільше науглецювання шару із зовнішнього середовища [1]. Цей факт позитивно впливатиме на службові характеристики інструментів.

Досліди проводились на пластинах різної товщини (0,5...5 мм) з метою імітації до різнотипних різальних інструментів. Матеріал зразків – стрічка У8А ГОСТ 2283-79. Обробка здійснювалася на плоскошліфувальному верстаті моделі ЗД722. Для зміцнення використовувався зміцнюючий круг з швидкорізальної сталі Р6М5 діаметром Ø 150 мм.

Вказаному методу притаманна наступна особливість: для ФРЗО як інструмент використовують диски, як із звичайних вуглецевих, так і з інструментальних сталей (навіть незагартованих). Це пояснюється тим, що диск у процесі обробки зміцнюється. Даний спосіб дає можливість зміцнення не тільки тіл обертання і плоских зразків, але і різнопрофільних деталей, в т.ч. різі.

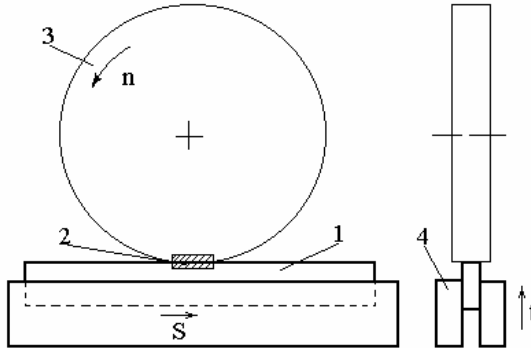


Рис. 1. Схема зміцнення ФРЗО: 1 – зміцнююча пластина; 2 – зона контакту; 3 – зміцнювальний диск; 4 – опорні елементи пристрою

Проведений мікроструктурний аналіз показав, що утворюються БШ з різними товщинами. Залежно від факторів зміцнення на дослідних зразках здійснювались при наступних елементах режимів зміцнення: глибини врізання (t), товщини пластини (b), поздовжньої подачі (S) та частоти обертання зміцнюючого диска (n). При варіюванні цих факторів спостерігається різний характер впливу на процес утворення БШ, зокрема на товщину шару та його мікротвердість. При окремому аналізі кожного з факторів спостерігається різний характер їх впливу на утворення білого шару. Особливу увагу привертає мікротвердість вихідної заготовки, а отже і її структура. Щоб проаналізувати характер її впливу для зразків проводилось два варіанти термічної обробки. У першому варіанті здійснюємо нагрів сталі до температури $850\text{ }^{\circ}\text{C}$, загартування у воду з наступним високим відпуском ($650\text{ }^{\circ}\text{C}$). Мікротвердість зразка становить $2,7\text{ ГПа}$. В другому – нагрів сталі до температури $850\text{ }^{\circ}\text{C}$, загартування у воду з наступним низьким відпуском ($200\text{ }^{\circ}\text{C}$). Мікротвердість зразка становить 7 ГПа . У першому варіанті утворюється структура – перліт, а в другому – троостит відпуску (рис. 2).

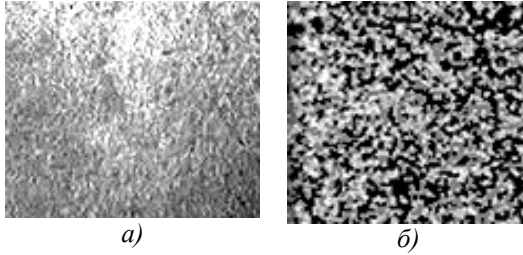


Рис. 2. Структури термічно оброблених зразків:
(а) – за першим варіантом; (б) – за другим варіантом

На основі проведених досліджень встановлено, що великий вплив на процес утворення БШ у сталі має мікротвердість вихідної заготовки. Досліди показали, що збільшення мікротвердості вихідної заготовки від 2,7 до 7 ГПа сприяє збільшенню мікротвердості БШ, його товщини, а також – зменшується ефект сплющування (рис. 3). Такий ефект має місце в матеріалах з низькою вихідною мікротвердістю при обробці ФРЗО. Результатом обробки є утворення розвалів на бокових поверхнях зразків. Це можна пояснити тим, що зразки з низькою мікротвердістю, а отже високою пластичністю, при імпульсній дії в зоні обробки внаслідок високої температури поверхневий матеріал стає ще еластичнішим і не встигає утримуватись на бокових стінках. При підвищенні мікротвердості зразка від 2,7 до 7 ГПа цей ефект не спостерігається при застосуванні аналогічних режимів зміцнення.

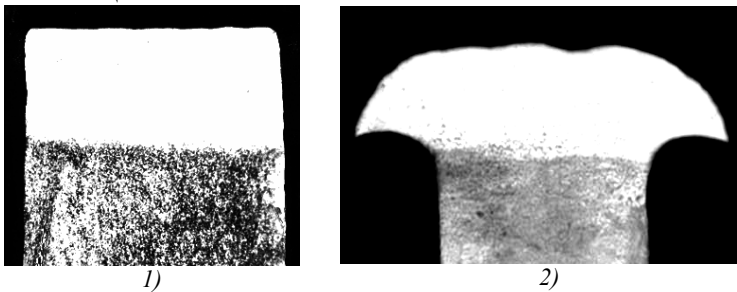


Рис. 3. Структура зміцненого зразка:
1 – мікротвердість зразка становить $H_{\mu} = 7$ ГПа;
2 – мікротвердість зразка становить $H_{\mu} = 2,7$ ГПа

Внаслідок зміцнення ФРЗО утворюється структура мартенситу та залишкового аустеніту. Мікротвердість становить 5–11,5 ГПа.

Вплив різних факторів на мікротвердість та товщину БШ носить різний характер. Застосувавши метод математичного моделювання, одержали лінійну залежність параметрів оптимізації. Результати дослідження представлено далі.

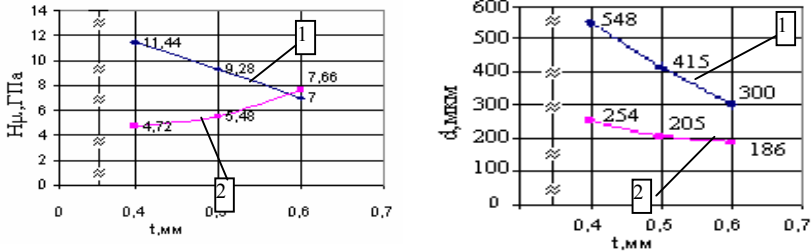


Рис. 4. Вплив глибини врізання на мікротвердість та товщину утворення БШ:
 1 – товщина зразка $b = 1,2$ мм; 2 – товщина зразка $b = 0,5$ мм
 (режими зміцнення ($n = 2240$ хв⁻¹; $S = 60$ мм/хв; $t = 0,4 \dots 0,6$ мм))

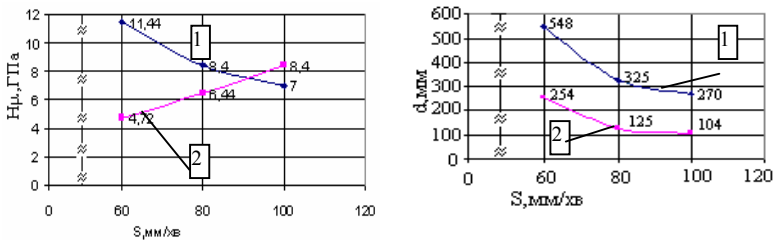


Рис. 5. Вплив повздовжньої подачі на мікротвердість та товщину утворення БШ:
 1 – товщина зразка $b = 1,2$ мм; 2 – товщина зразка $b = 0,5$ мм
 (режими зміцнення ($n = 2240$ хв⁻¹; $S = 60$ мм/хв; $t = 0,4 \dots 0,6$ мм))

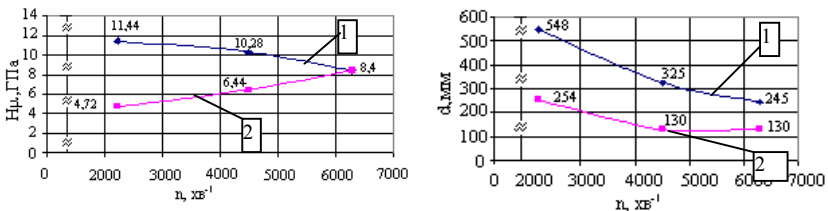


Рис. 6. Вплив частоти обертання зміцнюючого диска на мікротвердість та товщину БШ
 1 – товщина зразка $b = 1,2$ мм; 2 – товщина зразка $b = 0,5$ мм
 (режими зміцнення ($n = 2240$ хв⁻¹; $S = 60$ мм/хв; $t = 0,4 \dots 0,6$ мм))

На основі наведених графіків спостерігається різний характер впливу режимів зміцнення на процес утворення БШ:

1. Характерним є вплив повздовжньої подачі (S) та глибини врізання диска (t) на пластинки різної товщини. Частота обертання зміцнюючого диска на мікротвердість та утворення БШ істотного впливу не має (рис. 6).

2. Навпаки значення t та S суттєво впливають на величину параметрів оптимізації (рис. 4, 5). На товщині зразків 0,5 мм при збільшенні глибини врізання диска та повздовжньої подачі спостерігається різке зростання мікротвердості зміцненого шару, але зниження його товщини. Це можна пояснити тим, що при зростанні повздовжньої подачі та глибини врізання диска в зоні контакту відбувається тертя, яке підвищує температуру (близька до температури плавлення металу). Мала товщина БШ утворюється тому, що при збільшенні цих факторів тепла енергія не встигає сконцентруватись на поверхні тертя і основна її частина проходить в тіло зразка. Відбувається значне пластичне деформування поверхні тертя, внаслідок чого розплавлений метал видавлюється по бокових стінках зразка. Зменшення глибини врізання та повздовжньої подачі призводить до підвищення концентрації теплової енергії, проходить миттєвий нагрів та швидке охолодження, що сприяє зростання товщини БШ. При збільшенні частоти обертання зміцнюючого диска відбувається підвищення мікротвердості зміцненої поверхні за рахунок підвищення концентрації тепла. Підвищення мікротвердості пояснюється тим, що в зоні контакту встигають пройти фазові перетворення і зразок такої товщини різко охолоджується за рахунок того, що тепло швидко відводиться в тіло зразка.

На товщині зразків 1,2 мм спостерігається дещо зворотний процес. При зменшенні глибини врізання диска та повздовжньої подачі спостерігається зростання мікротвердості зміцненого шару та збільшення його товщини. Це пояснюється тим, що внаслідок контакту з диском утворена температура розподіляється між контактуючими тілами (між зразком та інструментом), тепла енергія миттєво нагріває поверхню контакту і дещо акумулює енергію, що призводить до збільшення кількості залишкового аустеніту, за рахунок чого збільшується товщина БШ. Підвищення мікротвердості спостерігається тому, що збільшується тривалість імпульсу, проходить швидке фазове перетворення, яке різко охолоджується за рахунок розподілу тепла.

При підвищенні частоти обертання створюється надлишкова теплова енергія, внаслідок чого утворений БШ розтікається по бокових поверхнях і охолодження відбувається повільніше, оскільки інструмент знаходиться довше в зоні контакту. Це призводить до зниження мікротвердості утвореного БШ і відповідно його товщини.

Висновки:

1. Розроблено режими зміцнення (глибина врізання, повздовжня подача, частота обертання зміцнюючого диска) для сталі У8А, які дозволили стабільно одержувати на поверхні БШ прогнозованої товщини.

2. Аналізувався вплив структури вихідного зразка на мікротвердість та товщину утвореного БШ.

3. Проведені вимірювання мікротвердості (поперечний переріз зразка) дають можливість проаналізувати характер утворення зміцненого шару. Досліди показали, що максимальна товщина одержаного БШ досягає 500–600 мкм.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Бабей Ю.И.* Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна. – Киев : Наук. думка, 1988. – 240 с.
2. *Карпенко Г.В., Бабей Ю.И., Карпенко И.В., Гутман Э.М.* Упрочнение стали механической обработкой. – Киев: Наук. думка, 1966. – 204 с.
3. *Степанов В.Т., Шавров А.И.* Высокоэнергетические и импульсные методы обработки металлов. – Л.: Машиностроение, 1975. – 280 с.
4. *Ишлинский А.Ю., Крагельский И.В., Алексеев Н.М.* и др. Проблемы изнашивания твёрдых тел в аспекте механики // Трение и износ. – 1986. – № 2. – Т. 7. – С. 330–341.
5. *Стецьків О.П., Сторошук В.А.* Дослідження кінетики старіння зміцненого леза висічних лінійок в процесі ударно-втомного зношення // Проблеми трибології. – 2001. – № 2. – С. 8–13.
6. *Стецьків О.П.* Практикум з металознавства. – Л.: Українська академія друкарства, 1995. – 95 с.
7. *Ивоботенко Б.А., Ильинский Н.Ф., Копылов И.П.* Планирование эксперимента в электромеханике. – М.: Энергия, 1975. – 184 с.
8. *Кірик М.* Силова взаємодія при зміцненні тонких ножів для фрезерування деревини // Машинознавство. – 1998. – № 8. – С.

24–28.

МАНЬКО Олексій Васильович – кандидат технічних наук, завідувач кафедри технології матеріалів та поліграфічного машинобудування Української академії друкарства.

Наукові інтереси:

- матеріалознавчі аспекти трибології;
- зміцнюючі технології для швидкозношуваних пар тертя;
- тертя та зношування в машинах.

СТЕЦЬКО Юрій Богданович – аспірант кафедри технології матеріалів та поліграфічного машинобудування Української академії друкарства.

Наукові інтереси:

- обробка та зміцнення металів фрикційно-зміцнюючою обробкою;
- моделювання теплових процесів, які виникають при ФРЗО.

БІЛЯВСЬКИЙ Максим Леонідович – студент факультету інженерної механіки Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- дослідження роботи машин та механізмів;
- високошвидкісне різання.

Подано 12.05.05

The terms of work of instruments characteristic for a polygraphy are considered authors, in particular (polygraphy knives carving rules, etc.), which working in specific terms, is exposed to the intensive shock-abrasive wear. For the increase of wearproofness cutting-edge application is offered friction - consolidating treatments on plates from steel of V8A, which by comparison to used imported steels is considerably cheaper and her inherent high wearproofness. In practice the optimum modes of consolidating (depth of cutting (pull) in, longitudinal serve frequency of appeal of consolidating disk) are developed with the purpose of the programmed receipt of necessary parameters of optimization (micro hardness and thickness of well-educated white layer).