

УДК 621.787

І.Гурей, канд. техн. наук, Т.Гурей, Л.Плахтій

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ВПЛИВ ФРИКЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ НА ТОВЩИНУ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЧАВУНУ

Дослідження показали, що при фрикційному зміцненні сірого чавуну з використанням як технологічного середовища поверхневоактивної полімерамісної мастильно-охолоджувальної рідини та диску з нарізаними поперечними пазами на робочій частині суттєво збільшується товщина зміцненого шару порівняно із зміцненням у мінеральному мастилі.

Фрикційне зміцнення належить до технологій поверхневого зміцнення висококонцентрованими потоками енергії. Висококонцентрований потік енергії утворюється в зоні контакту при високошвидкісному терті металевого інструменту-диску по оброблюваній деталі. При цьому відбувається одночасне швидкісне зсувне деформування. Швидкість нагрівання сягає $10^5 \dots 10^6$ К/с. Поверхневі шари металу нагріваються до температур вищих від точки фазових перетворень (A_{c3}) і охолоджуються з великою швидкістю за рахунок тепловідливу вглиб деталі. При звичайному гартуванні фіксується певний нерівноважний стан металу і відповідна структура, а при високошвидкісному охолодженні часу для формування таких структур і фаз замало. У результаті такого охолодження фіксується стан, при якому із твердого розчину ще не встигає виділитися окремі фази або це виділення не встигло повністю завершитися. При високій швидкості охолодження вуглець не встигає виділитися у вигляді цементитних утворень і залишається у розчині або частково переходить в тетраедричні пори Fe_4C , в результаті чого утворюється мартенсит. Вміст вуглецю в мартенситі значно більший відконцентрації, яка відповідає точці мартенситного перетворення [1, 2]. При цьому в поверхневому шарі деталей машин формується специфічний структурно-напружений стан металу - білий шар, структура якого є високодисперсним мартенситом, залишковим аустенітом і дуже дисперсними карбідами [3].

Фрикційне зміцнення плоских поверхонь виконували на модернізованому плоскошліфувальному верстаті моделі SPC-20a. Замість абразивного круга встановили металевий диск, виготовлений із сталі 45 у нормалізованому стані, діаметром 200 мм, з шириною робочої частини – 14-16 мм. Для зменшення биття і відповідно вібрації шпиндельного вузла диск встановили на конусі шпинделя верстата. Робочу поверхню диску заправляли абразивним каменем, а потім доводили її абразивним бруском (M20). З обох боків робочої поверхні диску виводили радіуси 2-3 мм для поліпшення заходження і виходу інструмента, а також зниження шорсткості оброблюваної поверхні при зміцненні. Шорсткість робочої поверхні диску була не більшою, ніж $R_a = 0,32$ мкм, радіальне биття - до 0,03 мм.

Як технологічне середовище при фрикційному змiцненні використовували мінеральне мастило «Індустріальне - 20А» та поверхнево активну полімерсмісну мастильно-охолоджувальну рідину типу МХО-64а. Для подання технологічного середовища в зону змiцнення використовували систему подання мастильно-охолоджувальної рідини верстата.

Досліди показали, що режими змiцнення, застосовуване технологічне середовище та форма робочої поверхні змiцнювального диску суттєво впливають на товщину змiцненого шару. Так, при фрикційному змiцненні сірого чавуну СЧ 20 з використанням як технологічного середовища мінерального мастила збільшення вертикальної подачі від $t=0,1$ до $0,3$ мм при поперечній подачі $S = 4$ мм/дв.хід товщина змiцненого шару δ збільшується від 60 мкм до 100 мкм (рис.1). Дальше збільшення вертикальної подачі приводить до зростання складових сили змiцнення, що перевищують допускові навантаження на підшипники шпиндельного вузла верстату. Також починає погіршуватися якість змiцненої поверхні.

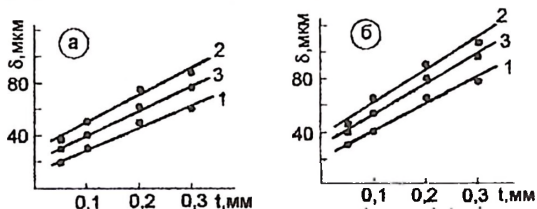


Рис.1. Залежність товщини змiцненого шару δ від вертикальної подачі t (технологічне середовище - мінеральне мастило, диск з гладкою робочою частиною) а - $S = 2$ мм/дв.хід; б - $S = 4$ мм/дв.хід: 1 - $V_{cm} = 2$ м/хв; 2 - $V_{cm} = 4$ м/хв; 3 - $V_{cm} = 6$ м/хв.

Суттєво впливає на формування змiцненого шару поперечна подача. При малих поперечних подачах ($S \leq 2$ мм/дв.хід) білий шар отримується невеликої товщини. Так, при збільшенні подачі до $S = 4,0$ мм/дв.хід товщина білого шару досягає максимального значення. При дальшому збільшенні поперечної подачі товщина змiцненого шару зменшується (рис. 2). При однаковій ширині робочої частини змiцнювального диску і різній поперечній подачі диск проходить одне і те ж місце різну кількість разів. Оптимальною, з точки зору отримання рівномірного, суцільного білого шару найбільшої товщини, кількістю проходження змiцнювального диску одним і тим же місцем є 3-4 подвійних проходів стола верстата. Отже, треба вибирати поперечну подачу залежно від ширини робочої поверхні змiцнювального диску.

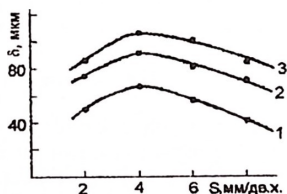


Рис.2. Залежність товщини змiцненого шару δ від поперечної подачі S (технологічне середовище - мінеральне мастило, диск з гладкою робочою частиною): 1 - $V_{cm} = 2$ м/хв, $t = 0,2$ мм; 2 - $V_{cm} = 4$ м/хв, $t = 0,2$ мм; 3 - $V_{cm} = 4$ м/хв, $t = 0,3$ мм.

Залежність товщини білого шару від швидкості переміщення стола верстата, як і від поперечної подачі, має екстремальний характер (рис. 3). При невеликій швидкості переміщення стола верстата ($V_{cm} \leq 2$ м/хв) нагріваються поверхневі шари металу в зоні їх контакту до температур плавлення. При нагріванні металу до температур близьких до температури плавлення, різко знижується границя міцності матеріалу. У результаті

цього частина зміщеного шару знімається і його товщина зменшується. При великій швидкості переміщення стола верстата ($V_{cm} \geq 6,0$ м/хв) час дії теплового потоку на одиничну площу контакту різко зменшується, у результаті чого прогрівається невеликий об'єм металу і товщина зміщеного шару є незначною. Найтовщий білий шар отримується при переміщенні стола верстата $V_{cm} \approx 4$ м/хв.

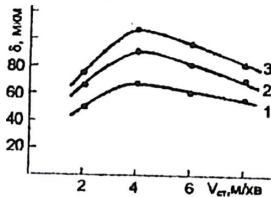


Рис.3. Залежність товщини зміщеного шару δ від швидкості переміщення стола верстата V_{cm} (технологічне середовище – мінеральне мастило, диск з гладкою робочою частиною):
1 - $S = 2$ мм/дв.хід, $t = 0,2$ мм; 2 - $S = 4$ мм/дв.хід, $t = 0,2$ мм; 3 - $S = 4$ мм/дв.хід, $t = 0,3$ мм.

При фрикційному зміщенні з використанням як технологічного середовища поверхневоактивної полімервмісної мастильно-охолоджувальної рідини типу МХО-64а товщина зміщеного шару зростає порівняно зі зміщенням з використанням мінерального мастила. Із збільшенням вертикальної подачі t товщина зміщеного шару зростає і при $t = 0,3$ мм становить $\delta = 130$ мкм (рис. 4). При цьому при тих самих режимах зміщення отримуємо товстіший зміщений шар, а також прикладаємо менші складові зусилля зміщення. Так, при фрикційному зміщенні з використанням мінерального мастила при режимах, які дають максимальну товщину білого шару, складові сили зміщення P_y та P_z становлять відповідно 698 Н і 59 Н. При тих же режимах фрикційного зміщення з використанням поверхневоактивної полімервмісної мастильно-охолоджувальної рідини типу МХО-64а складові сили зміщення P_y та P_z становлять відповідно 572 Н і 48 Н. Мікротвердість білого шару становила $H_\mu = 6,5$ ГПа при зміщенні у мінеральному мастилі та $H_\mu = 8,6$ ГПа при зміщенні у МХО-64а при мікротвердості основного металу $H_\mu = 2,0$ ГПа.

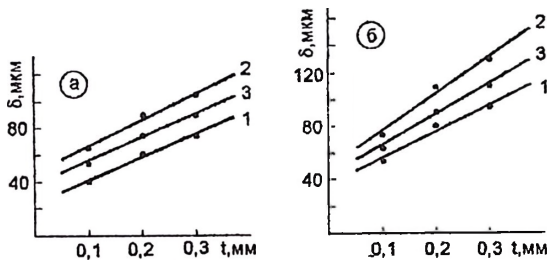


Рис.4. Залежність товщини зміщеного шару δ від вертикальної подачі t (технологічне середовище - МХО-64а, диск з гладкою робочою частиною) а - $S = 2$ мм/дв.хід; б - $S = 4$ мм/дв.хід: 1 - $V_{cm} = 2$ м/хв; 2 - $V_{cm} = 4$ м/хв; 3 - $V_{cm} = 6$ м/хв.

Залежність товщини білого шару від швидкості переміщення стола верстата (рис. 5) та від поперечної подачі (рис. 6) має екстремальний характер як і при зміщенні у мінеральному мастилі. Максимальний зміщений шар отримується при зміщенні з поперечною подачею $S = 4,0$ мм/дв.хід та швидкістю переміщення стола верстата $V_{cm} = 4$ м/хв.

Поверхневоактивна полімервмісна мастильно-охолоджувальна рідина типу МХО-64а під впливом високих температур і тисків розкладається на іони C^{2+} , H^+ , Cl^{2-} , O^{2-} , N^{3-} та інші, що адсорбуються на ювенільних поверхнях і дифундують у поверхневі шари зміцнюваного металу. Відомо [4, 5], що при гартуванні $Fe-H$ і $Fe-C-H$ сплавів при наявності водно знижується температура мартенситного перетворення, зменшується критична швидкість охолодження при гартуванні і стає можливим утворення мартенситу навіть у безвуглецевому залізі при звичайних швидкостях охолодження. Водень пластифікує поверхневий шар металу. При цьому послаблюється міжатомна взаємодія, змінюється електронна структура, зменшується модуль пружності, полегшується процес пластичної деформації, посилюються зсувні процеси і захоплюються більші об'єми металу. Тому при зменшенні складових сили зміцнення зростає товщина зміцненого шару.

Як показали експерименти [3], температура нагрівання поверхневих шарів не є основним визначальним фактором утворення якісних білих шарів. Надмірно висока температура небажана, вона підвищує пластичність поверхневого шару і частково його знімає. При низькій температурі фазові перетворення неповні і шар формується неякісний. На формування зміцненого шару більше впливають зсувні деформації поверхневого шару. Відомо [6], що при зсувній деформації $\dot{\epsilon} = 10 \dots 10^2 \text{ с}^{-1}$ і нагріванні поверхневих шарів до температур, вищих від точки фазових перетворень швидкість дифузії різко зростає і сягає таких значень, як у рідкому стані.

Для поліпшення якості поверхні оброблюваної деталі при шліфуванні використовують перервне шліфування [7]. При перервному шліфуванні знижується температура в зоні різання, зменшуються складові сили різання P_y і P_z , набагато зменшується P_x , поліпшується якість шліфованої поверхні.

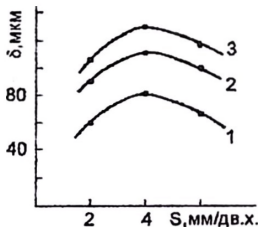


Рис. 5. Залежність товщини зміцненого шару δ від поперечної подачі S (технологічне середовище - МХО-64а, диск з гладкою робочою частиною):
1 - $V_{cm} = 2 \text{ м/хв}$, $t = 0,2 \text{ мм}$; 2 - $V_{cm} = 4 \text{ м/хв}$, $t = 0,2 \text{ мм}$; 3 - $V_{cm} = 4 \text{ м/хв}$, $t = 0,3 \text{ мм}$.

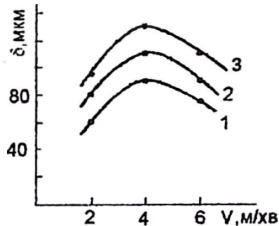


Рис. 6. Залежність товщини зміцненого шару δ від швидкості переміщення стола верстата V_{cm} (технологічне середовище - МХО-64а, диск з гладкою робочою частиною): 1 - $S = 2 \text{ мм/дв.хід}$, $t = 0,2 \text{ мм}$; 2 - $S = 4 \text{ мм/дв.хід}$, $t = 0,2 \text{ мм}$; 3 - $S = 4 \text{ мм/дв.хід}$, $t = 0,3 \text{ мм}$.

Оскільки процес фрикційного зміцнення аналогічний шліфуванню, то цей метод було застосовано і у нашому випадку. З метою зниження температури на поверхні і збільшення зсувної деформації у поверхневому шарі оброблюваної деталі на робочій поверхні зміцнювального диску були нарізані поперечні пази. Ширина паза забезпечувала повний вихід із контакту диску з деталлю, а їх крок забезпечував нагрівання до температур, вищих від точки фазових перетворень. У даному випадку відбувається перервне фрикційне зміцнення. У зоні контакту діють імпульси теплової енергії, а також накладаються ударні зсувні деформації. Циклювання теплової енергії і зсувного деформування при фрикційному зміцненні диском з поперечними пазами на

робочій поверхні збільшує товщину білого шару порівняно із зміцненим диском з гладкою робочою поверхнею.

Досліди показали, що при фрикційному зміцненні з використанням полісрвмісної мастильно-охолоджувальної рідини МХО-64а диском з нарізаними поперечними пазами на робочій частині диску зі збільшенням вертикальної подачі t товщина зміцненого шару зростає і при $t = 0,3$ мм становить $\delta = 150$ мкм (рис. 7). Складові сили зміцнення P_y та P_z становлять відповідно 477 Н і 45 Н. При тих самих режимах зміцнення маємо найменші складові зусилля зміцнення, а товщина зміцненого шару найбільша. Так, нормальна складова сили зміцнення P_y зменшилася у 1,5 раза, тангенціальна складова P_z - у 1,3 раза порівняно із зміцненням з використанням мінерального мастила. Залежності товщини зміцненого шару від поперечної подачі (рис. 8) та від швидкості переміщення стола верстата (рис. 9) мають також експоненціальний характер. Зміцнений шар найбільшої товщини і мікротвердості, яка становила $H_\mu = 9,1$ ГПа, отримуються при зміцненні з поперечною подачею $S = 4,0$ мм/дв.хід та швидкістю переміщення стола верстата $V_{cm} = 4$ м/хв.

Залежно від вимог, які ставлять до оброблюваних поверхонь деталей, ми маємо можливість керувати якістю зміцненого шару. Змінюючи технологічне середовище, яке використовується при зміцненні, режими обробки, форму робочої частини та матеріал зміцнювального диску, можемо змінювати товщину зміцненого шару. Його

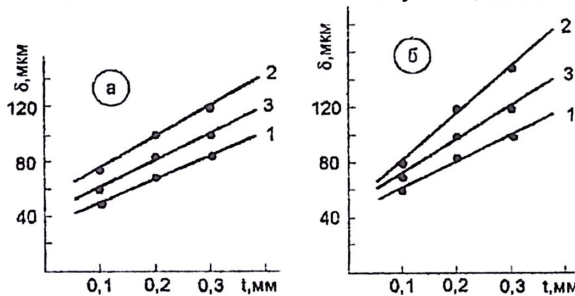


Рис. 7. Залежність товщини зміцненого шару δ від вертикальної подачі t (технологічне середовище - МХО-64а, диск з насічками на робочій частині) а - $S = 2$ мм/дв.хід; б - $S = 4$ мм/дв.хід: 1 - $V_{cm} = 2$ м/хв; 2 - $V_{cm} = 4$ м/хв; 3 - $V_{cm} = 6$ м/хв.

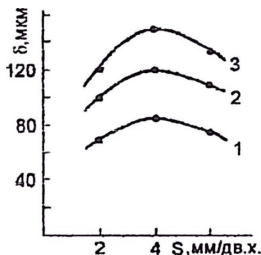


Рис. 8. Залежність товщини зміцненого шару δ від поперечної подачі S (технологічне середовище - МХО-64а, диск з насічками на робочій частині): 1 - $V_{cm} = 2$ м/хв, $t = 0,2$ мм; 2 - $V_{cm} = 4$ м/хв, $t = 0,2$ мм; 3 - $V_{cm} = 6$ м/хв, $t = 0,3$ мм.

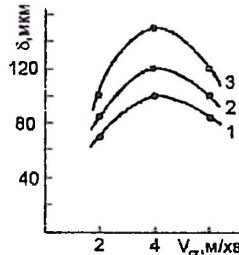


Рис. 9. Залежність товщини зміцненого шару δ від швидкості переміщення стола верстата V_{cm} (технологічне середовище - МХО-64а, диск з насічками на робочій частині): 1 - $S = 2$ мм/дв.хід, $t = 0,2$ мм; 2 - $S = 4$ мм/дв.хід, $t = 0,2$ мм; 3 - $S = 4$ мм/дв.хід, $t = 0,3$ мм.

Researches show that the friction hardening of grey cast iron essentially increases the thickness of hardenable layer with uses surface active polymer content lubricant MHO-64a and of disk with cutting sideways notches in the running part in comparison with hardening in oil.

Література.

1. Гриднєв В.А., Трефілов В.И. Фазовые и структурные превращения и метастабильное состояние в металлах. - Киев : Наукова думка, 1988. - 264 с.
2. Лариков Л.Н., Исайчев В.И.. Структура и свойства металлов и сплавов. Диффузия в металлах и сплавах: Справочник. - Киев : Наукова думка, 1987. - 510 с.
3. Гурей І.В. Вплив технологічних середовищ та матеріалу інструменту на параметри фрикційного змищення // Машинознавство. - 1998. - № 11/12. - С. 30-34.
4. Шаповалов В.И. Водород как легирующий элемент // Металловедение и термическая обработка материалов - 1985. - № 8. - С. 13-17.
5. Шаповалов В.И. Влияние водорода на структуру и свойства железоуглеродистых сплавов. - М.: Металлургия, 1982. - 232 с.
6. Лариков Л.Н., Исайчев В.И. Структура и свойства металлов и сплавов. Диффузия в металлах и сплавах : Справочник : - Киев : Наукова думка, 1987. - 510 с.
7. Якимов А.В. Прерывистое шлифование. - Киев - Одеса : Вища школа, 1986. - 175 с.

Статтю подав до друку докт. техн. наук, проф. С.Г.Нагорняк