

ВПЛИВ КІЛЬКОСТІ ВУГЛЕЦЮ В СТАЛЯХ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ПІД ЧАС ЗМІЦНЮВАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИМ ТЕРТЯМ

Для дослідження впливу кількості вуглецю на процес зміцнювання високошвидкісним тертям використовувались сталі 10, 20, 45, 65Г та У8А у нормалізованому стані. Даний метод відноситься до термо-механічних методів зміцнювання, тому кількість вуглецю в сталі відіграє важливу роль у формуванні зміцнених шарів. У ряді досліджень вказується, що гартуванню піддаються сталі із вмістом вуглецю більше 0,3%. Нами показано, що зміцнені шари можна отримати навіть на сталі із вмістом вуглецю 0,1% за методики зміцнювання із шарнірно закріпленим інструментом-диском відносно заготовки. Так на сталі 10 отримано зміцнені шари товщиною 0,5 мм і мікротвердістю 7 ГПа. Схожі результати отримано на сталі 20. На сталі 45 отримано зміцнений шар товщиною 0,9 мм з мікротвердістю більше 10 ГПа, а на сталі 65Г товщина зміцненого шару з мікротвердістю 11 ГПа становить 1,1 мм. На інструментальній сталі У8А мікротвердість зміцненого шару 14 ГПа спостерігається на глибині до 0,9 мм, а на глибині 1,1 мм вона зменшується до 10 ГПа. Також на сталях 65Г та У8А спостерігається підвищення мікротвердості до 5...6 ГПа на глибині 1,4 мм. Зміцнювання сталі 10 та сталі 20 високошвидкісним тертям може застосовуватись для покращення фізико-механічних та триботехнічних показників елементів технологічного обладнання. Фізико-механічні властивості зміцнених шарів, отриманих на конструкційних сталях із вмістом вуглецю більше 0,4% близькі до характеристик інструментальних сталей, що дозволяє використовувати сталі 45 та 65Г для виготовлення дереворізального інструменту, а зміцнювання сталі У8А дозволяє замінити операцію об'ємного гартування під час виготовлення інструменту.

Ключові слова: зміцнення; високошвидкісне тертя; термомеханічні методи; концентрація вуглецю; зміцнений шар.

Аналіз проблеми. Метод зміцнювання високошвидкісним тертям відноситься до термо-механічних методів. Кількість вуглецю є одним із основних факторів, що впливає на ефективність дії термічної складової процесу зміцнювання. Конструкційні сталі різних марок мають різну концентрацію вуглецю у своєму складі, тому необхідно дослідити вплив кількості вуглецю на параметри отриманих зміцнених шарів. Фактором, що впливає на характеристики отриманих під час зміцнювання шарів є методика проведення високошвидкісного тертя, а саме спосіб закріплення зміцнювального інструмента-диска відносно заготовки.

¹ Капраль Юрій Романович, канд. техн. наук, асистент, кафедра деревообробного обладнання та інструментів. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-44-04, +38-098-257-06-07. Email: yura-kapral@i.ua

² Поберейко Богдан Петрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-097-398-82-87.

³ Дуфанець С.М. – студент. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна.

⁴ Дівчур Ю.В. – студент. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна.

⁵ Кухар Р.О. – студент. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна.

Аналіз останніх досліджень. Автори роботи [1] проводять ряд експериментальних досліджень і стверджують, що для ефективного зміцнювання за допомогою термічної складової кількість вуглецю повинна бути не менше ніж 0,2% для вуглецевих сталей при зміцнюванні високошвидкісним тертям. Збільшення кількості вуглецю призводить до збільшення товщини зміцненого шару з вищою твердістю. Максимальний рівень зміцнювання та глибина шару отримано на сталях із вмістом вуглецю 0,60...0,65 %. Експериментально встановлено, що подальше збільшення кількості вуглецю (X12M) спричиняє зниження твердості. Зниження твердості автори пояснюють появою структури залишкового аустеніту.

Схожа залежність спостерігається у роботі [2]. Збільшення кількості вуглецю від 0,2 % до 0,8 % спричиняє збільшення товщини і твердості зміцненого шару, проте навіть з використанням в якості технологічного середовища полімервмісної мастильно-охолоджуючої рідини, товщина зміцненого шару не перевищує 350 мкм. В роботі [1] товщина шару на сталі 65Г не перевищує 0,7 мм при мікротвердості близько 8 ГПа. Більшість досліджень проводились за методикою із жорстким закріпленням інструмента-диска, за якою змінним чинником зміцнювання є поперечна подача диска (подача на врізання) [3]. У роботі [4] описана установка для зміцнювання, в якій інструмент-диск закріплений шарнірно відносно заготовки, а змінним чинником зміцнювання є сила притискання диска до заготовки. За такої методики зміцнювання автор роботи [5], використовуючи попутний напрямок подачі заготовки відносно прямого обертання диска, отримали зміцнений шар на сталі 45 товщиною близько 1,2 мм із твердістю 11 ГПа.

Метою статті є дослідити вплив кількості вуглецю в сталі на фізико-механічні характеристики отриманих під час зміцнювання високошвидкісним тертям шарів із шарнірно закріпленим відносно заготовки інструментом-диском.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження впливу кількості вуглецю на процес зміцнювання високошвидкісним тертям використовувались сталі 10, 20, 45, 65Г та У8А. У таблиці 1 подано хімічний вміст досліджуваних сталей. Усі сталі досліджувались у нормалізованому стані.

Таблиця 1. Хімічний склад сталей дослідних зразків (Вміст елементу, %)

Сталь	C	Si	Mn	Ni	S	Cr	Cu
10	0,07-0,14	0,17-0,37	0,35-0,65	<0,25	<0,04	<0,15	<0,25
20	0,16-0,23	0,17-0,37	0,35-0,65	<0,25	<0,04	<0,25	<0,25
45	0,42-0,5	0,17-0,37	0,5-0,8	<0,25	<0,04	<0,25	<0,25
65Г	0,62-0,7	0,17-0,37	0,9-1,2	<0,25	0,035	<0,25	<0,2
У8А	0,76-0,83	0,17-0,33	0,17-0,28	<0,2	0,018	<0,2	<0,2

Зміцнювання зразків здійснювалось на експериментальній установці за методикою, описаною у роботі [4]. Під час дослідження застосовувались наступні режими зміцнювання: тиск в зоні контакту інструмента-диска та заготовки $P=800$ Н; швидкість подавання заготовки $v_s=0,5$ м/хв.; лінійна швидкість диска $v=75$ м/с; матеріал диска – сплав ВТ 1-0, попутний напрямок подавання, технологічне середовище – повітря. Заміри мікротвердості проводились на мікротвердомірі ПМТ-3 на різній глибині від поверхні заготовки: 250 мкм, 550 мкм; 850 мкм; 1150 мкм; 1450 мкм; 1750 мкм. З отриманих результатів побудовано графік залежності мікротвердості від кількості вуглецю (рис. 1). З графіка видно, що збільшення кількості вуглецю викликає підвищення мікротвердості на всій глибині зміцненого шару, що добре узгоджується з дослідженнями [1, 2]. На сталі марки 10 із вмістом вуглецю близько 0,1% підвищення мікротвердості спостерігається на глибині 250 мкм та 550 мкм від поверхні на рівні 7 ГПа. Незначне підвищення мікротвердості до 4,1 ГПа спостерігається на глибині 850 мкм від поверхні в порівнянні з початковою мікротвердістю 3,2 ГПа. Схожі результати спостерігаються при зміцню-

ванні сталі марки 20 із вмістом вуглецю близько 0,18%. Максимальна мікротвердість на глибині 250 мкм від поверхні становить 8,1 ГПа, далі йде поступове зниження. Під час дослідження сталі 45 із вмістом вуглецю близько 0,45% найвища стабільна мікротвердість спостерігається на глибині 250 мкм і 550 мкм від поверхні і становить близько 13,6 ГПа. Далі на глибині 850 мкм та 1150 мкм йде поступове зниження мікротвердості до 10,0 ГПа та 6,3 ГПа відповідно. На глибині 1450 мкм від поверхні заготівки зміцнювання не спостерігається. Під час дослідження сталі 65Г із вмістом вуглецю близько 0,66% найвищу мікротвердість 14,6 ГПа отримано на глибині 550 мкм від поверхні. На глибині 250 мкм мікротвердість становила 13,4 ГПа. Такий результат можна пояснити тим, що поверхневі шари зміцненого високошвидкісним тертям шару внаслідок дії тиску отримують велику кількість дефектів, тому на глибині до 200 мкм може спостерігатись незначне зниження мікротвердості. Таке зниження мікротвердості можна спостерігати у дослідженнях [6]. Також зниження мікротвердості в поверхневих шарах можна пояснити дією найвищих температур під час тертя і більшим часом відведення тепла в порівнянні з іншою частиною зміцненого шару. На глибині 850 мкм та 1150 мкм від поверхні спостерігається незначне зниження мікротвердості до 12,4 ГПа та 11,4 ГПа відповідно. На глибині 1450 мкм мікротвердість становить 5,7 ГПа, що не сильно відрізняється від початкової мікротвердості 5,0 ГПа. На сталі У8А із вмістом вуглецю близько 0,79% найвища мікротвердість близько 14,1 ГПа спостерігається на глибині до 850 мкм. На глибині 1150 мкм та 1450 мкм від поверхні мікротвердість знижується до 9,9 ГПа та 5,7 ГПа відповідно. Далі зміцнювання не спостерігається, початкова мікротвердість становить 4,1 ГПа.

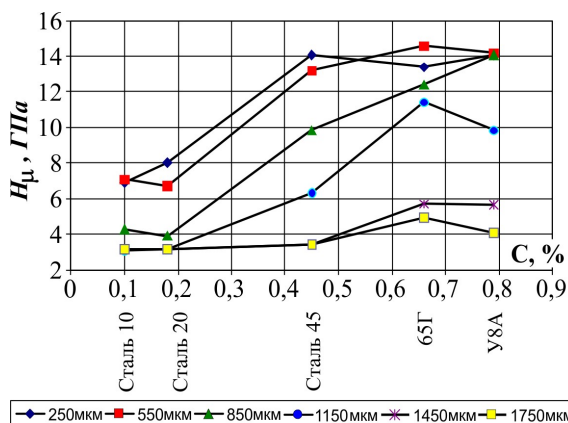


Рис. 1. Вплив кількості вуглецю в сталі на мікротвердість змцненого шару за різної глибини від поверхні ножа під час змцнювання високошвидкісним тертям

Аналіз впливу кількості вуглецю показав, що процес змцнювання відбувається навіть за концентрації вуглецю в сталі близько 0,1%. Зміцнювання сталі 10 та сталі 20 високошвидкісним тертям може застосовуватись для покращення фізико-механічних та трибо-

технічних показників елементів технологічного обладнання. На сталі У8А отримано шар з фізико-механічними властивостями, що відповідають показникам інструментальних сталей. Зміцнювання високошвидкісним тертям нормалізованої сталі У8А дозволяє замінити операцію об'ємного гартування під час виготовлення інструмента, що добре узгоджується із дослідженнями [7, 8]. Сталі марок 45 та 65Г є поширеними на ринку чорної металургії, вміст вуглецю дозволяє отримати змцнений шар з характеристиками близькими до інструментальних сталей. Зміцнювання високошвидкісним тертям конструкційних сталей марок 45 та 65Г дозволяє використання їх для виготовлення інструменту, зокрема дереворізального.

Висновки. Зміцнювання високошвидкісним тертям дозволяє отримати змцнені шари на сталях із вмістом вуглецю 0,1%. Кількістю вуглецю прямопропорційно впливає фізико-механічні характеристики змцнених шарів, а на конструкційних сталях із вмістом вуглецю більше 0,4% можна отримати шари з характеристиками, близькими до інструментальних сталей.

Література

1. **Volkov O.O., Kulik G.G., Pogribny M.A., Sizy Yu.A.** (2010): *Doslidzhennia roli teplovyh yavlyshch u formuvanni struktur ta vlastyvostey staley riznyh marok pry zmichnenni metodom TFO* [Research of the role of thermal phenomena in the formation of structures and properties of steels of different grades during hardening by the TFO method]. – Kharkiv: KhPI. – No. 54, (in Ukrainian).
2. **Gurey I.V., Gurey A.T.** (2011): *Vplyv kilkosti vuglecyu v staliah na formuvannia poverhnevogo шарu pry frykciynomu zmichnenni* [Influence of the amount of carbon in steels on the formation of the surface layer during friction hardening]. – Lviv: Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". – No. 713, (in Ukrainian).
3. **Gurey T.A., Kirillov, V.I., Shtayura S.T.** (2009): *Eksperymentalni doslidzhennia vplyvu rezhymiv frykciynoi obrobky na skladovi syly tertya u zoni kontaktu instrument-detal* [Experimental studies of the influence of friction treatment modes on the components of friction forces in the tool-part contact zone]. – Lviv: Bulletin of the University "Lviv Polytechnic". – No. 642, (in Ukrainian).
4. **Kirik M.D., Rud A.Ye.** (2009): *Ustanovka dlia poverhnevogo zmichnyuvannia stalevyh detaley shlyahom obroblennya vysokoshvydkisnym tertyam* [Installation for surface hardening of steel parts by high-speed friction treatment]. – Lviv: Scientific bulletin of UNFU. – No. 19(04), (in Ukrainian).
5. **Rud A.Ye.** (2009): *Osoblyvosti zmichnennya vysokoshvydkisnym tertyam z poputnoyu podacheyu zagotivky* [Peculiarities of high-speed friction hardening with concomitant workpiece feed]. – Lviv: Scientific bulletin of UNFU. – No. 19(03), (in Ukrainian).
6. **Rud A.Ye.** (2010): *Polipshennya ekspluatatsiynykh harakterystyk vidcentrovyyh struzhkovykh verstativ zmichnenniam ih byl vysokoshvydkisnym tertyam* [Improving the performance of centrifugal chip machines by strengthening them with high-speed friction]. – Dis. PhD. – Lviv, (in Ukrainian).
7. **Voloshinsky A.A.** (1988): *Povyshenye stoykosti tonkih frezernykh nozhey iz maloleyrovanykh instrumentalnykh staley* [Increase of durability of thin milling knives from low-alloyed tool steels]. – Dis. PhD. – Lviv, (in Ukrainian).
8. **Kirik M.D.** (1996): *Tehnologichni osnovy pidvyshchennia stiykosti proty spracyuvannya derevorizalnogo instrumentu z vysokovuglecevykh ta nyzkolegovanykh instrumentalnykh staley* [Technological bases of increase of resistance against operation of the wood-cutting tool from high-carbon and low-alloy tool steels]. – Dis. Dr. of Science: 05.05.07. – Lviv, (in Ukrainian).

UDC 621.787

*Assist. Yu.R. Kapral, Prof. B.P. Pobereyko, Stud. S.M. Dufanets,
stud. Yu.V. Divchur, stud. R.O. Kuhar – UNFU*

The influence of the amount of carbon in steels on the physicomechanical characteristics of surface layers during hardening by high-speed friction

Steels C10, C20, C45, 66Mn4 and C80W1 in the normalized state were used to research the influence of the amount of carbon on the process of hardening by high-speed friction. This method refers to thermo-mechanical methods of hardening so the amount of carbon in the steel plays an important role in the formation of hardened layers. Several studies indicate that steels are hardened with a carbon content of more than 0.3%. We have shown that hardened layers can be obtained even on steels with a carbon content of 0.1% by the method of hardening with a hinged tool-disk regarding the workpiece. In this way, on steel C10 the strengthened layers in the thickness of 0,5 mm and microhardness of 7 GPa are received. Similar results were obtained on steel C20. On steel C45 a reinforced layer with a thickness of 0.9 mm with a microhardness of more than 10 GPa was obtained, and on steel 66Mn4, the thickness of the reinforced layer with a microhardness of 11 GPa is 1.1 mm. On C80W1 tool steel the microhardness of the hardened layer of 14 GPa is observed at a depth of up to 0.9 mm, and at a depth of 1.1 mm it decreases to 10 GPa. Also steel 66Mn4 and C80W1 an increase of microhardness up to 5...6 GPa is observed at a depth of 1.4 mm. Reinforcement of steel C10 and steel C20 by high-speed friction can be used to improve the physicomechanical and tribological performance of elements of technological equipment. Physicomechanical properties of hardened layers obtained on structural steels with a carbon content of more than 0.4% are close to the characteristics of tool steels that allow the use of steel C45 and 66Mn4 for the manufacture of wood cutting tools, and hardening steel C80W1 allows to replace the volume hardening at the time operation tool making.

Keywords: strengthening; high-speed friction; thermomechanical methods; carbon concentration; reinforced layer.