

УДК 621.787: 620.178

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.91.0.144

## УСТАНОВЛЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ КУТОМ ЗАГОСТРЕННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА Й ЕФЕКТИВНІСТЮ ЙОГО ТЕРМОФРИКЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ (ТФЗ)

Волков О.О., Федоренко Г.А.,  
Національний технічний університет «ХПІ»

***Анотація.** У статті вирішене актуальне завдання, присвячене встановленню взаємозв'язку між кутом загострення різального інструмента та ефективністю його термофрикційного зміцнення (ТФЗ). У роботі виконана науково обґрунтована розробка технологічного комплексу оброблення сталі з використанням методу ТФЗ, що дозволило забезпечити підвищення її поверхневої твердості та зносостійкості удвічі-тричі. Поверхневе зміцнення досягається формуванням «білого шару», що підтверджено вимірюванням мікротвердості.*

***Ключові слова:** термофрикційне зміцнення (ТФЗ), кут загострення, «білий шар», мікротвердість.*

### Вступ

Актуальною проблемою є необхідність підвищувати роботоздатність різального інструмента, зокрема деревообробного.

Оскільки різальна частина деревообробних ножів, як правило, має форму клина, тепло та деформація в процесі оброблення розподіляється нерівномірно. Тому доцільно визначити оптимальні технологічні умови для проведення ТФЗ саме таких виробів та встановити взаємозв'язок між кутом загострення плоских ножів та ефективністю їхнього ТФЗ.

Актуальність теми та її доцільність обумовлені необхідністю підвищення поверхневої міцності деталей та інструмента з конструкційних та інструментальних сталей.

### Аналіз публікацій

Термофрикційні технології оброблення матеріалів досліджуються вже декілька десятиріч. Останнім часом акцент зроблено на актуальності створення та використання маловитратних технологій зміцнення матеріалів.

В останні роки написано багато наукових праць з приводу термофрикційного оброблення та зміцнення матеріалів з його використанням, але загалом цей процес вивчений недостатньо повно у зв'язку з великою кількістю різних підходів до його реалізації.

Так, наприклад, уже в 90-ті рр. у НТУ «ХПІ» під керівництвом Ю.А. Сизого проведені дослідження фрикційного розрізання [1, 2], які дозволили більш повно зрозуміти фізику процесу та використати ці знання для

створення технологічного процесу зміцнення з використанням ТФЗ.

Б.А. Костецький вважав, що основна ідея зовнішнього тертя полягає в пружно-пластичному деформуванні, яке обумовлює появу низки вторинних явищ у зоні контакту, що досліджено недостатньо [3].

Також відомі інші технологічні методи формування поверхневого зміцнення в металах та сплавах [4]. Так, механо-імпульсне оброблення високо-швидкісним тертям, на відміну від інших методів інтенсивного деформування, дає змогу створювати дрібнодисперсні структури на поверхні деталі, виготовленої не тільки з м'яких сталевих матеріалів, а також із високоміцних та тих, що важко деформуються. Деформований шар під час фрикційного зміцнення утворюється безпосередньо на поверхні матеріалу деталі та релаксується на певній глибині. Це відрізняє високошвидкісне тертя від обкочення або ударного зміцнювального оброблення, які ініціюють зони максимального контактного напруження на деякій глибині від поверхні, що може призводити до утворення підповерхневих тріщин.

Показано, що енергія тертя використовується з різним ступенем інтенсивності та для вирішення різних технологічних питань [5, 6]. До того ж може відбуватися зміна механічних властивостей за перерізом [7], що пояснюється високотемпературним розігріванням із подальшим охолодженням з певною швидкістю. Також наголошено, що зміна механічних властивостей може бути викликана і деформацією певних структурних елементів [8]. Відзначено, що для зміцнення поверхні

застосовуються також інші альтернативні джерела, наприклад, плазмове оброблення, що дозволяє змінювати структуру поверхнього шару виробів, які обробляються [9], однак цей метод є більш витратним. Розглядається питання про те, що поверхнєве оброблення із застосуванням тертя та інших джерел енергії часто приводить до утворення в сталях та інших сплавах так званих поверхневих білих шарів [10]. Однак досі не існує однакової думки щодо особливостей їхнього утворення.

Описано, що внаслідок фрикційного впливу на поверхні термічно зміцнених вуглецевих і швидкорізальних сталей можуть формуватися нанокристалічні структури, які в низці випадків забезпечують унікальне поєднання міцності та трибологічних властивостей [11].

Отже, тертя, яке забезпечує перетворення механічної енергії в теплову в процесі оброблення поверхні металевим диском, дозволяє досягати швидкого розігрівання поверхневих шарів виробів за умови їхнього термофрикційного зміцнення ТФЗ з використанням термофрикційного оброблення (ТФО). Варто зауважити, що в умовах ТФЗ відбувається складний вплив на оброблюваний об'єкт, який містить термічну, деформаційну, формоутворювальну та інші складові [12, 13, 14].

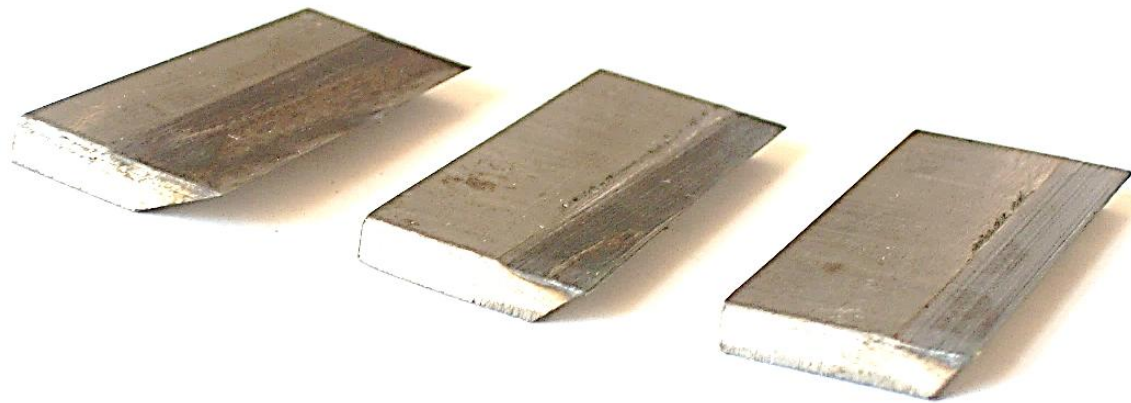
Важливим аспектом цього процесу є швидкість протікання ТФЗ, що вносить певні корективи та вигідно відрізняє цей метод від багатьох стандартних способів термічного та механічного зміцнення поверхонь [15]. Також запропонована технологія, яка передбачає використання стандартного плоскошліфувального обладнання без будь-якої модернізації з використанням металевого інструмента-диска, що створюється спеціально для такого обладнання з урахуванням його конструкційних особливостей замість стандартних абразивних кругів [16].

#### Мета і постановка завдання

Метою цієї роботи є встановлення взаємозв'язку між кутом загострення різального інструмента й ефективністю його термофрикційного зміцнення (ТФЗ).

#### Установлення взаємозв'язку між кутом загострення різального інструмента й ефективністю ТФЗ

Вивчали три зразки із сталі 50 розмірами 20x12x2,5 мм з різним кутом загострення (30 °, 45 °, 60 °) після попереднього гартування та низькотемпературного відпускання, які представлені на рис. 1.



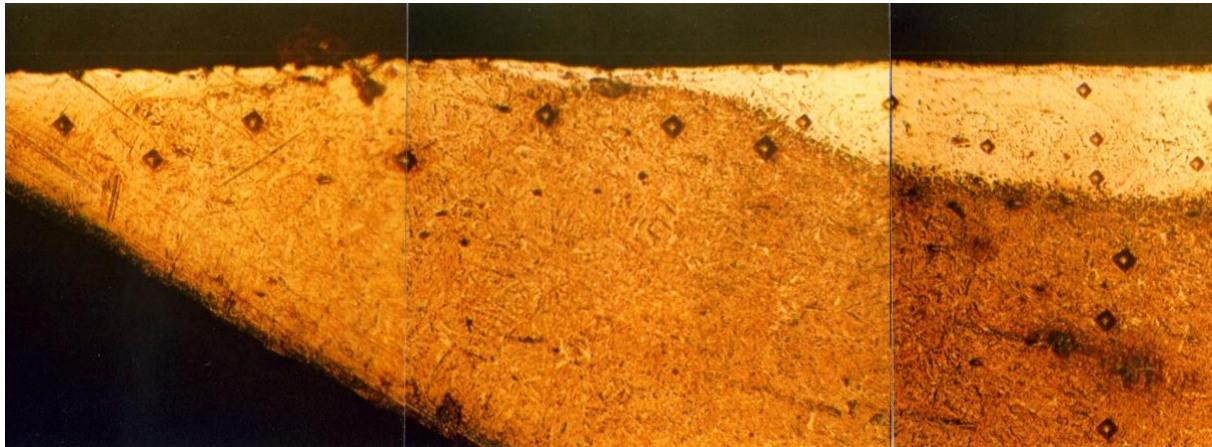
x 2

Рис. 1. Зразки – деревообробні ножі із сталі 50 з кутом загострення 30 °, 45 °, 60 ° після ТФЗ робочої частини

Цей режим термічного оброблення є класичним для формування властивостей у подібному різальному інструменті та забезпечує максимальний рівень зміцнення, який можна отримати шляхом термічного оброблення. Однак у цьому дослідженні, яке виконано на кафедрі «Матеріалознавство» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», показана мо-

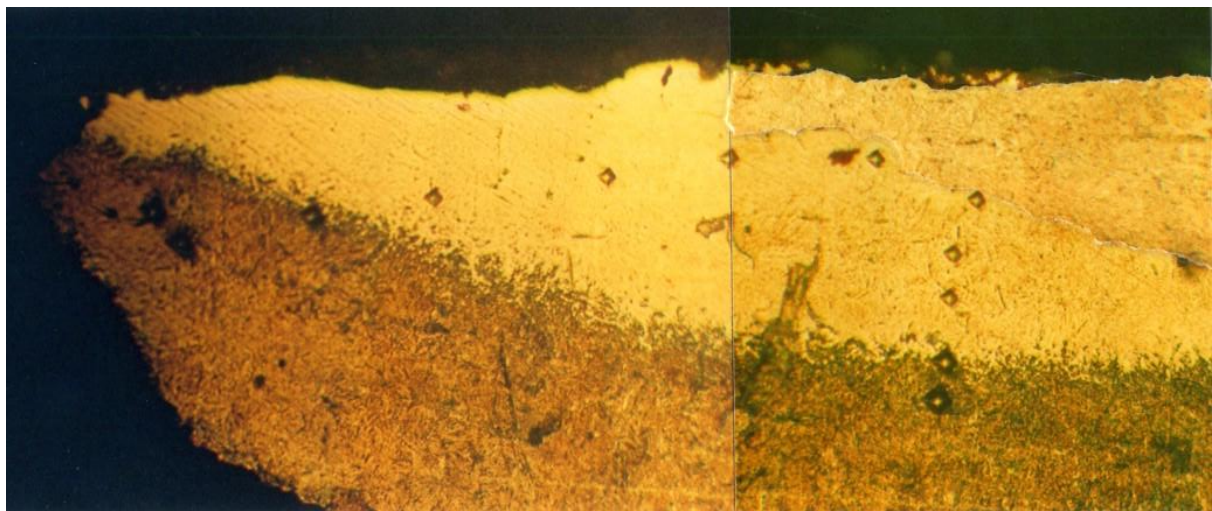
жливність додаткового зміцнення інструмента, що є запорукою підвищення ресурсу його роботи. Оскільки зразки мали невелику товщину – 2,5 мм, був використаний режим ТФЗ ( $S = 30$  мм/с,  $t = 0,5$  мм) з метою мінімізації процесу жолоблення під час ТФЗ.

Мікроструктури зазначених зразків після ТФЗ представлені на рис. 2–4, а основні результати зміцнення – у табл. 1.



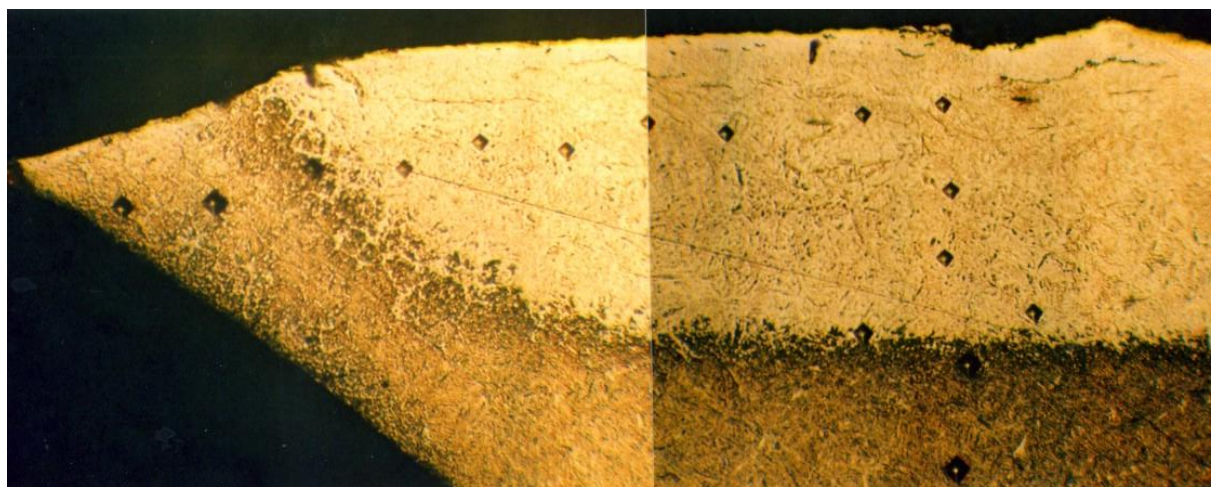
× 200

Рис. 2. Мікроструктура зразка – деревообробного ножа з кутом загострення 30 ° після ТФЗ



× 200

Рис. 3. Мікроструктура зразка – деревообробного ножа з кутом загострення 45 ° після ТФЗ



× 200

Рис. 4. Мікроструктура зразка – деревообробного ножа з кутом загострення 60° після ТФЗ



Таблиця 1 – Характеристики зміцнення зразків – деревообробних ножів із сталі 50 після їхнього ТФЗ

Режим ТФЗ	Кут загострення зразка – деревообробного ножа, °	Мікротвердість, МПа			Глибина зміцнення, мкм	Відстань від краю до зміцненого шару, мкм
		зона зміцнення	зона знезміцнення	зона основного металу		
Швидкість подачі S = 30 мм/с Глибина різання t = 0,5 мм	30	11140	4500	5500	150	650
	45	11660	4200	5500	250	300
	60	12870	4000	5500	300	200

Також важливо відзначити, що отримані «білі поверхневі шари» приблизно однаково, повільно, піддавалися протравлюванню, тому виглядають достатньо світлими. Однак фрагменти перерізів, які протравилися достатньою мірою, дозволяють характеризувати мікроструктуру «білого поверхневого шару», як більш дрібнодисперсну порівняно з глибокими шарами перерізів. До того ж мікроструктура основного тіла ножа має голчасту форму і відповідає мартенситу відпускання, утворення якого викликано попереднім термічним обробленням.

Отримана мікроструктура поверхневого зміцненого шару відповідає деформованому зернистому мартенситу з частинками  $\epsilon$ -карбиду, що було виявлено в попередніх дослідженнях [4]. А однорідність її розташування та властивостей забезпечує ефективну та надійну роботу інструмента впродовж тривалого часу.

Однак візуально помітно, що глибина та розташування «білого поверхневого шару» щодо різального краю неоднакові. Так, у процесі зазначеного дослідження було виявлено, що зміцнений «білий поверхневий шар» утворюється не по всій ширині дотику зміцнювального диска з поверхнею клина ножа, а тільки в її частині. Тому виникає необхідність порівняльної оцінки впливу кута загострення ножів на характеристики їхнього зміцнення.

З табл. 1 видно, що найкращі результати зміцнення (мікротвердість – 12870 МПа, глибина зміцнення – 300 мкм на відстані від краю – 200 мкм) досягнуті в зразку з кутом загострення 60°. Мінімальний ефект зміцнення спостерігається в зразку з кутом загострення 30°. Це можна пояснити тим, що цей зразок під час ТФЗ зазнає вищого рівня пружної деформації, яка пом'якшує режим ТФЗ. У зв'язку з цим знижується і ступінь розігрівання поверхні клина, і ступінь її пла-

стичного деформування. Цей чинник сприяє зміцненню області формування «білого поверхневого шару» в бік від різального краю ножів на різну відстань зворотно пропорційно куту їхнього загострення. Тобто, зі зменшенням кута загострення ножа збільшується відстань від різального краю до шару зміцнення та зменшується глибина й рівень зміцнення.

Отже, експериментально доведено, що максимальна мікротвердість та глибина зміцненого шару спостерігається в зразку – деревообробному ножі, який має найбільший з розглянутих кутів загострення – 60° (рис. 3). Однак, залежно від порід деревини, що обробляються, та умов оброблення необхідно враховувати різальні властивості такого інструмента, імовірно, що для нежорстких умов оброблення деревини, або для м'яких її порід цілком достатньо використовувати ножі, які після ТФЗ мають меншу глибину поверхневого зміцнення та з іншим кутом загострення для забезпечення необхідної ефективності роботи.

### Висновки

1. Максимальні характеристики зміцнення у межах проведеного експерименту досягнуті на зразку – деревообробному ножі, який має найбільший кут загострення – 60°.
2. Важливою експериментальною перевагою є спорідненість отриманого поверхневого шару з основним тілом інструмента, оскільки мікроструктурні перетворення в процесі розробленої технології ТФЗ відбуваються тільки за рахунок теплодеформаційного впливу за відсутності будь-яких додаткових речовин та середовищ.
3. Проведене пояснення взаємозв'язку між кутом загострення зразків різального інструмента та ефективністю їхнього зміцнення під час ТФЗ.

4. Показано, що для різних умов роботи та типів матеріалу, що оброблюється, існує можливість вибору різального інструмента з необхідними характеристиками.

### Література

1. Сизый Ю. А., Погребной Н. А., Волков О. А. Упрочение поверхности из стали 15Х11МФ при помощи термофрикционной обработки. *Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства «Підвищення надійності відновлюваних деталей машин. Фізичні та комп'ютерні технології»*. Харків, 2002. 10. С. 44–48.
2. Сизый Ю. А., Погребной Н. А., Волков О. А. Температурное поле на входе и выходе с поверхности упрочняемой трением. *Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства «Підвищення надійності відновлюваних деталей машин»*. Харків, 2003. 18. С. 84–93.
3. Волков О. А. Исследование влияния ТФО на напряженное состояние в стали 15Х11МФ. *Вестник национального технического университета «ХПИ»*: сб. науч. тр.: темат. вып. / Харьковский политехнический ин-т, нац. техн. ун-т. Вып. 12: Технологии в машиностроении. Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. С. 84–88.
4. Volkov O. A. Study of heat deformation influence in surface strain hardening of steel by thermofriction processing. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2016. 2. 5 (80). P. 38–44.
5. Спосіб зміцнення поверхні. Патент № 90192 У Україна: МПК С2 UA. Волков О. О. а200808153; заявл. 17.06.2008; опубл. 12.04.2010. Бюл. № 7.

### References

1. Sizyj YU. A., Pogrebnoj N. A., Volkov O. A. (2002). Uprochenie poverhnosti iz stali 15H11MF pri pomoshchi termofrikcionnoj obrabotki. *Visnik Harkivs'kogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva «Pidvishchennya nadijnosti vidnovlyuemih detalej mashin. Fizichni ta komp'yuterni tekhnologii»*, Harkiv, 10, 44–48. [in Ukrainian]
2. Sizyj YU. A., Pogrebnoj N. A., Volkov O. A. (2003). Temperaturnoe pole na vhode i vyhode s poverhnosti uprochnyaemoj treniem. *Visnik Harkivs'kogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva «Pidvishchennya nadijnosti vidnovlyuemih detalej mashin»*, Harkiv, 18, 84–93. [in Ukrainian]
3. Volkov O. A. (2005). Issledovanie vliyaniya TFO na napryazhennoe sostoyanie v stali 15H11MF. *Vestnik nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta «HPI»*: sb. nauch. tr.: temat. vyp. / Har'kovskij politekhnicheskij in-t, nac. tekhn. un-t. Vyp. 12: Tekhnologii v mashinostroenii /

Har'kov: NTU «HPI», 84–88. [in Ukrainian]

4. Volkov O. A. (2016). Study of heat deformation influence in surface strain hardening of steel by thermofriction processing. *Eastern-European journal of enterprise technologies*, 2, 5 (80), 38–44. [in Ukrainian]
5. Sposib zmichennya poverhni. Patent № 90192 U Ukraïna: MPK S2 UA. Volkov O. O. a200808153; zayavl. 17.06.2008; opubl. 12.04.2010. Byul. no.7. [in Ukrainian]

**Волков Олег Олександрович**, старший викладач, кафедра матеріалознавства, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002, телефон 093-95-08-539, volkovoleg1978@gmail.com.

**Федоренко Ганна Анатоліївна**, інженер I категорії, кафедра матеріалознавства, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002, телефон 097-331-38-04, ann161169@gmail.com.

### Establishing the relationship between the angle of sharpening of the cutting tool and the efficiency of its thermofriction hardening (TFH)

**Abstract.** In this article, an actual problem is solved, which is devoted to establishing the relationship between the angle of sharpening of the cutting tool and the efficiency of its thermofriction hardening (TFH). In this paper, a scientifically based for processing steel using the method of thermofriction hardening was carried out, which made it possible to provide a significant increase in their surface hardness and wear resistance by 2-3 times. The work was performed at the Department of Materials Science of the National technical university «Kharkiv polytechnic institute». The relevance of the topic and its expediency are due to the need to increase the surface strength of parts made of structural and tool steels. During the research, methods of metallographic analysis using optical microscopy were used, and durometric studies were performed. To assess the increase in the performance of steels after tfz, industrial tests were carried out on full-scale samples of woodworking tools. The study was carried out by calculation and experiment.

Experimental studies were carried out on the basis of a detailed study of the influence on the final characteristics of steel of external and internal factors during their processing. In order to ensure effective hardening, TFH conditions were optimized. To ensure effective hardening of the samples. The photographs of microstructures, which show changes over the cross section of the samples are presented. The presence of surface-hardened «white layer» with increased hardness is obvious, as evidenced by the prints of micro-hardness measurements. The data showed that the deformation mechanism of harden-

ing in a short-term heating of the hardenable surface is predominant at TFH. It is also noted that the «deformed grained martensite» and  $\epsilon$ -carbide structure is formed, the hardness of which is more than twice the hardness of the martensite structure obtained in classical hardening of the proposed steels and can be considered as a type of nanostructure. TFH is recommended for industrial use and implementation when strengthening such or similar tools and parts.

**Key words:** thermofriction processing (TFP), thermofriction hardening (TFH), stress state, «white layer», «deformed granular martensite»,  $\epsilon$ -carbide, nanostructure.

**Volkov Oleg**, Senior lecturer the department of materials science, tel. 093-95-08-539, volkovoleg1978@gmail.com, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kirpichova str., 2, Kharkov, Ukraine, 61002.

**Anna Fedorenko**, category I engineer, the department of materials science, tel. 097-331-38-04, ann161169@gmail.com, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kirpichova str., 2, Kharkov, Ukraine, 61002.

**Установление взаимосвязи между углом заточки режущего инструмента и эффективностью его термофрикционного упрочнения (ТФУ)**

**Аннотация.** В данной статье решена актуальная задача, которая посвящена установлению взаимосвязи между углом заострения режущего инструмента и эффективностью его термофрикционного упрочнения (ТФУ). В работе выполнен научно обоснованный комплекс обработки стали с использованием метода ТФУ, что позволило обеспечить повышение её поверхностной твердости и износостойкости в 2–3 раза. Поверхностное упрочнение достигается формированием «белого слоя», что подтверждено измерением микротвердости.

**Ключевые слова:** термофрикционное упрочнение (ТФУ), угол заострения, «белый слой», микротвердость.

**Волков Олег Алексеевич**, старший преподаватель кафедры материаловедения, тел. 093-95-08-539, volkovoleg1978@gmail.com, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичёва, 2, Харьков, 61002, Украина.

**Федоренко Анна Анатольевна**, инженер I категории кафедры материаловедения, тел. 097-331-38-04, ann161169@gmail.com, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичёва, 2, Харьков, 61002, Украина.