

З.А. Дурягіна, С.О. Ольшевська, В.Я. Підкова, М.Р. Романишин
ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕРЕВООБРОБНОГО ІНСТРУМЕНТУ ІЗ
СТАЛІ 6ХС

Після іонного азотування очікуються підвищення зносостійкості, міцності, різальних властивостей та терміну експлуатації інструменту. Проведені дослідження мікроструктури поверхневих шарів ножів із сталі 6ХС. Виявлено, за допомогою сканувального електронного мікроскопа, мікроструктуру поверхневих шарів зразків – троостит відпуску. Запропоновано провести відновлення та зміцнення різального інструменту методами інженерії поверхні, а саме іонним азотуванням.

Ключові слова: мікроструктура, деревообробні ножі, поверхневі шари, сталь 6ХС, металографічні дослідження, іонне азотування.

Форм. 4. Табл. 1. Рис.9. Літ. 4.

З.А. Дурягина, С.О. Ольшевская, В.Я. Пидкова, М.Р. Романышин
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО
ИНСТРУМЕНТА ИЗ СТАЛИ 6ХС

После ионного азотирования ожидается повышения износостойкости, прочности, режущих свойств и срока эксплуатации инструмента. Проведенные исследования микроструктуры поверхностных слоев ножей из стали 6ХС. Обнаружено, с помощью сканирующего электронного микроскопа, микроструктуру поверхностных слоев образцов - троостит отпуска. Предложено провести восстановление и укрепление режущего инструмента методами инженерии поверхности, а именно ионным азотированием.

Ключевые слова: микроструктура, деревообрабатывающие ножи, поверхностные слои, сталь 6ХС, металлографические исследования, ионное азотирование.

Z. Duriagina, S. Olshevska, V. Pidkova, M. Romanyshyn
THE WAYS OF INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF WOODWORKING KNIFE 6XC
STEEL

After ionic azotization the wear resistance, mechanics, cutting properties and lifetime of the instrument are expected to increase.

The analysis of microstructure of surface layers of knives of 6KHS steel was conducted. The study revealed that the microstructure of surface layers of micro test specimen include tempered troostite. The suggestion is made to conduct the reduction and strengthening of the cutting instrument by means of surface engineering and ionic azotization, in particular.

Keywords: microstructure, woodworking knives, surface layers, steel 6XC, metallographic studies, ionic azotization.

Постановка проблеми. Найбільша стійкість багатьох інструментів (особливо для обробки твердої деревини або при швидкому нарізанні) досягається при застосуванні напівтеплостійких сталей, в тому числі стійких і до дії корозії.

Нетеплостійкі, особливо леговані сталі, що придатні для виготовлення з них інструментів, котрі експлуатуються за умов підвищених ударних навантажень (молоти, фрези багатьох типів тощо). Також довгі, з малою товщиною ножі і пили, які виготовляються з листів чи стрічок і обробляються на твердість 45 ... 50 HRC для підвищення пружних властивостей. Вуглецеві сталі для таких інструментів не використовуються.

Довгі і тонкі ножі для різання фанери тощо, частіше виготовляють з двохшарової сталі. Це забезпечує зменшення деформації при гартуванні, полегшує правку і дає можливість отримати вищу твердість ріжучої кромки (54 ... 62 HRC).

Ножі для фрезерування і стругання повинні мати високу зносостійкість і твердість, які б не знижувалися при заточуванні [4].

З точки зору техніко-економічних показників оптимальний варіант технологічного процесу вибирають шляхом порівняння собівартості різних варіантів. Собівартість визначають сумою витрат на сировину і напівфабрикати, заробітної плати персоналу, витрачених ресурсів на роботу обладнання та його амортизацію, витрати на експлуатацію інструментів, утримання виробничих будівель, а також їх освітлення та обігрів.

Порівняльний аналіз слід проводити окремо для кожної операції залежно від технологічної собівартості, в яку входять не усі витрати пов'язані з процесом обробки, а лише ті, які впродовж нього змінюються.

За умов, коли задана річна програма виробництва, порівняльний аналіз зводиться до співставлення наведених величин кожного варіанту. Показником економічної ефективності є мінімальні витрати. Наведені витрати на кожен варіант являють собою суму поточних витрат C , капітальних витрат K , зведених до однакової розмірності у відповідності з нормативним коефіцієнтом ефективності E_n . Формула записується так:

$$C_{\text{в}} = C + E_{\text{н}} \cdot K \quad (1)$$

Найбільш економічно вигідним є варіант, який має найменшу кількість витрат і описується рівнянням:

$$C_1 + E_{\text{н}} \cdot K_1 <> C_2 + E_{\text{н}} \cdot K_2, \quad (2)$$

звідки

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{(C_1 + C_2) \cdot N}, \quad (3)$$

де $T_{\text{ок}}$ – період окупності капітальних витрат (роки);
 C_1 і C_2 – відповідно початкова і нова собівартість;
 $C_{\text{в}}$ – сума поточних витрат виробництва;
 N – річна програма інструменту;
 K – капітальні витрати.

Коефіцієнт ефективності капітальних витрат визначається так:

$$E_{\text{еф}} = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1}, \quad (4)$$

де K_1 і K_2 – капітальні затрати за порівняльними варіантами, приведені до однакового об'єму виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для вибору сталей і термообробки ножів для нарізання паперу, шкіри, табака тощо поширюються аналогічні рекомендації, що й для деревообробних інструментів.

Висока стабільність розмірів необхідна різальним інструментам, які повинні зберігати їх незмінними протягом тривалого терміну (в тому числі і при зберіганні), особливо, якщо вони мають велику довжину при малій товщині [4].

У деревообробній промисловості, в якості інструменту, використовують різноманітні за розмірами і конфігурацією ножі (рис. 1) для проведення таких операцій як фрезерування, різання, дрібна порізка для виготовлення соломки з дерева в сірникової промисловості тощо. Ці інструменти мають стандартні розміри згідно із ГОСТом 6567-75.

Згідно з цим стандартом, ножі повинні виготовляти двох типів (з прорізами та без них) із тих марок сталей, які забезпечують стійкість інструменту у відповідності до вимог даного стандарту. Мікроструктура ножів після термообробки повинна складатися із мартенситу, троостомартенситу і дрібних карбідів. Карбідна неоднорідність не має перевищувати 4 балів за шкалою з ГОСТу 5950. Твердість ножів повинна бути в діапазоні 57 ... 61 HRC. На поверхні ножів недопустимі сліди корозії, тріщин, зазубрень тощо. Різучі кромки повинні бути рівно загостреними і без завалів. За критерій затуплення ножа приймають збільшення параметра шорсткості поверхні більше 200 мкм. Також у стандарті висунуті жорсткі умови до контролю інструментів та методів їх випробувань. Випробування ножів на середній і встановлений термін стійкості повинно проводитися на верстатах із механічною подачею при фрезеруванні заготовок із хвойних порід деревини вологістю до 10 – 12 %. Режими фрезерування при цьому повинні бути такими: швидкість різання – 44 м/с, подача на ніж – 0,5 мм, товщина зрізаного шару – 2 мм. На кожному ножі повинні бути чітко вказані марка сталі, вид ножа, товарний знак підприємства. Пакування, транспортування і зберігання здійснюється відповідно до ГОСТу 18088 [6].

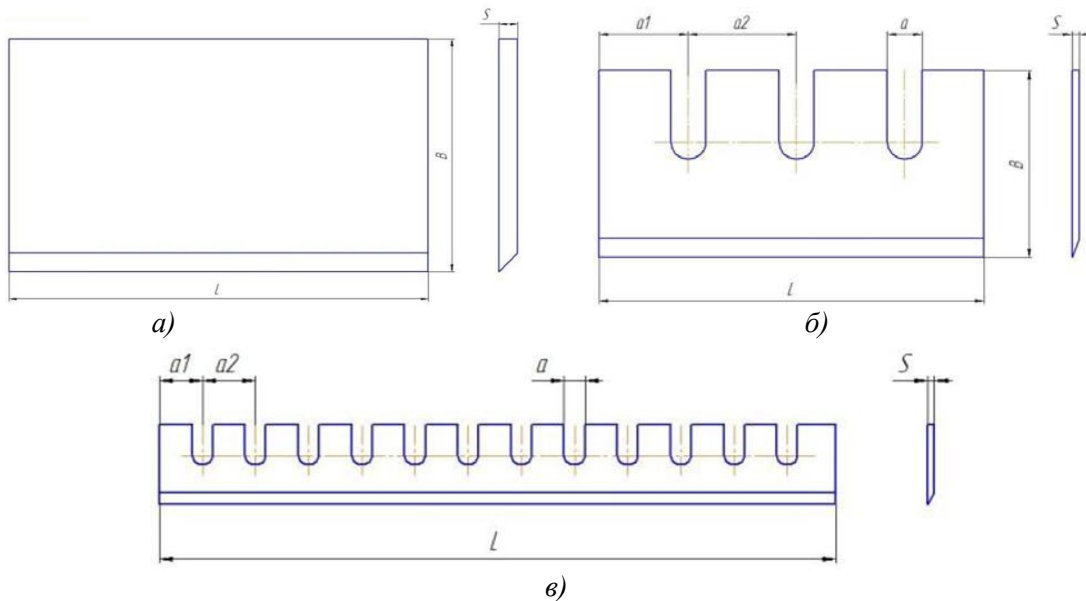


Рис. 1. Креслення різних за конфігурацією деревообробних ножів: а – ніж гільйотинних ножниць для різання шпону; б – ніж для дрібної порізки деревини в сірниковій промисловості; в – ніж для фрезерування деревини з прямолінійною кромкою

Виробничі характеристики ножів такі:

- Сумарна довжина прорізу до затуплення:
на верстатах типу СПР5 - 1600 м;
на верстатах типу СПД - 2000 м.
- Середній період стійкості до перезагострення ножа становить:
32 години при різанні шпону вздовж волокон;
7 годин при різанні шпону поперек волокон.



а)



б)

Рис. 2. Загальний вигляд ножів для деревообробки: а) для різання шпону, зрізання кори з дерева; б) з прямолінійною кромкою для фрезерування

Ножі гільйотинних ножиць для різання шпону (рис. 2, А), застосовуються в деревообробній промисловості також для зрізання кори з дерев. Вони призначені для чистів різання струганого та лущеного шпону вздовж і впоперек волокон. З їх допомогою шпон ріжеться на листи необхідного розміру на гільйотинних ножицях.

Ножі виготовляються відповідно до ТУ14-19-102-90 із сталі 6ХС твердістю 52 ... 58 HRC.

Ножі для фрезерування з прямолінійною кромкою (рис. 2, Б) використовується у деревообробній промисловості. Вони є ріжучими елементами збірних фрез і ножових валів фрезерних, стругальних, фуговальних, рейсмусових верстатів.

Ножі виготовляються без прорізів згідно з ГОСТ 6567-75 з високолегованої інструментальної сталі 6ХС. Твердість сталі 52 ... 58 HRC.

Метою роботи є дослідження мікроструктури поверхневих шарів ножів із сталі 6ХС.

Основні результати дослідження

Дослідження деревообробних ножів із сталі 6ХС провели методом макро- та мікроскопічного аналізу.

Макроскопічним аналізом зразків (рис. 3.) виявлено численні пошкодження ріжучої кромки як одного, так і другого ножа.

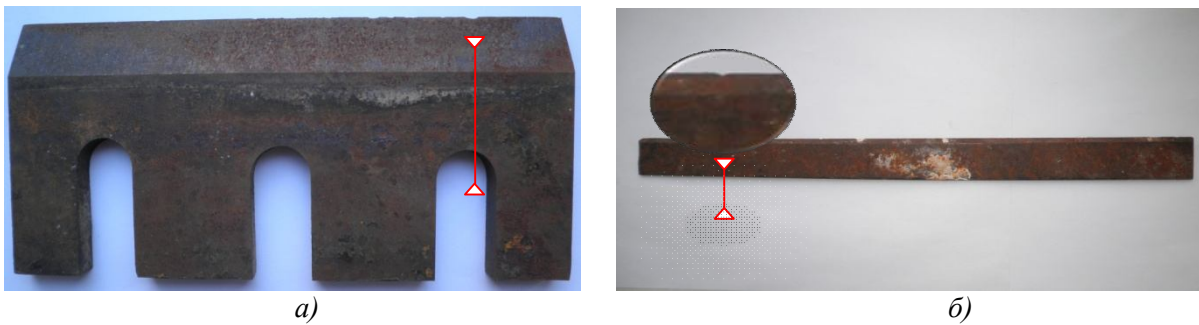


Рис. 3. Загальний вигляд деревообробних ножів (червоною лінією вказане місце вирізання зразків): а) для різання шпону (далі «ніж №1»); б) – з прямолінійною кромкою для фрезерування (далі «ніж №2»)

Ці пошкодження мають характерний вигляд заглибин (ямки) глибиною до 3 мм вздовж усієї ріжучої кромки (рис. 4). Вони є типовими ознаками спрацювання ножів (внаслідок тривалого експлуатування), неоднорідної твердості деревини в об'ємі чи недостатньо очищеної від домішок або сторонніх предметів сировини (можливе при використанні ножів на деревопереробних підприємствах).

На рис. 3 (Б) чітко видно відхилення від пропорційності геометричних розмірів ножа №2, спричинене невдалим повторним загостренням виробу для подальшого експлуатування.

Необхідно також звернути увагу на зовнішній вигляд «тіла» ножа. Наявні сліди процесу корозії вказують на те, що інструмент зберігали протягом довготривалого часу без змащування. Тому для відновлення властивостей ножів методом іонного азотування необхідно заздалегідь зняти шар іржі, провести підготовчу термічну обробку тощо. Після іонного азотування очікується значне підвищення довговічності і поверхневої твердості інструменту..

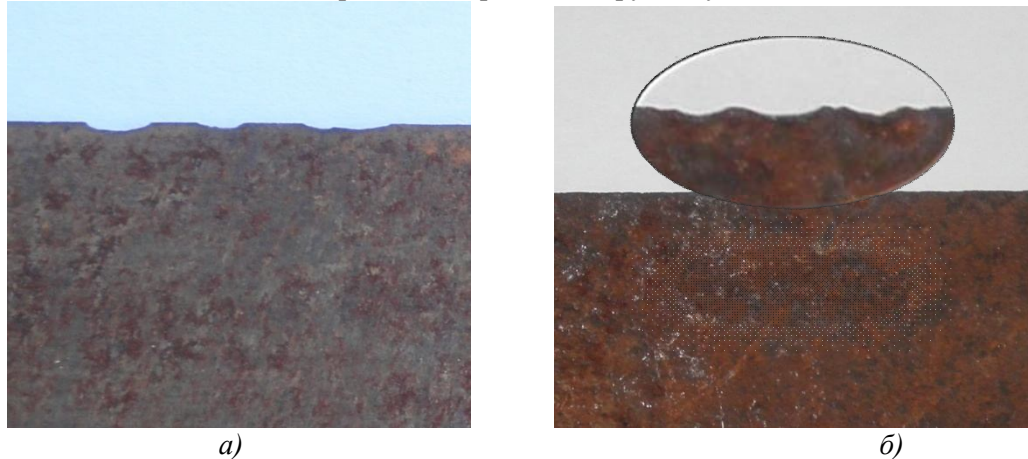


Рис. 4. Макрофотографія пошкодження ріжучої кромки ножа №1 (а) та ножа №2 (б)

Ознайомившись із будовою, призначенням та наявними пошкодженнями різального інструменту, дослідження продовжено методом мікроскопічного аналізу.

Дане дослідження було проведене із використанням оптичного металографічного («Метам Р-1») та скануючого електронного мікроскопа («ZEISS EVO 40XVP») з системою рентгенівського мікроаналізу INCA Energy.

Після приготування шліфів був проаналізований стан ріжучої кромки ножів у місцях вирізування (рис. 3.). Мікрофотографії нетравленої поверхні мікрошліфів (рис. 5) ілюструють мікродефекти виробів, а саме такі:

1) рис. 5 (а) – мікроструктура деревообробного ножа №1 (див. рис. 3, А), вістря якого – затуплене. Такий тип спрацювання ріжучої кромки вказує на характер напруженого стану при експлуатуванні даного ножа.

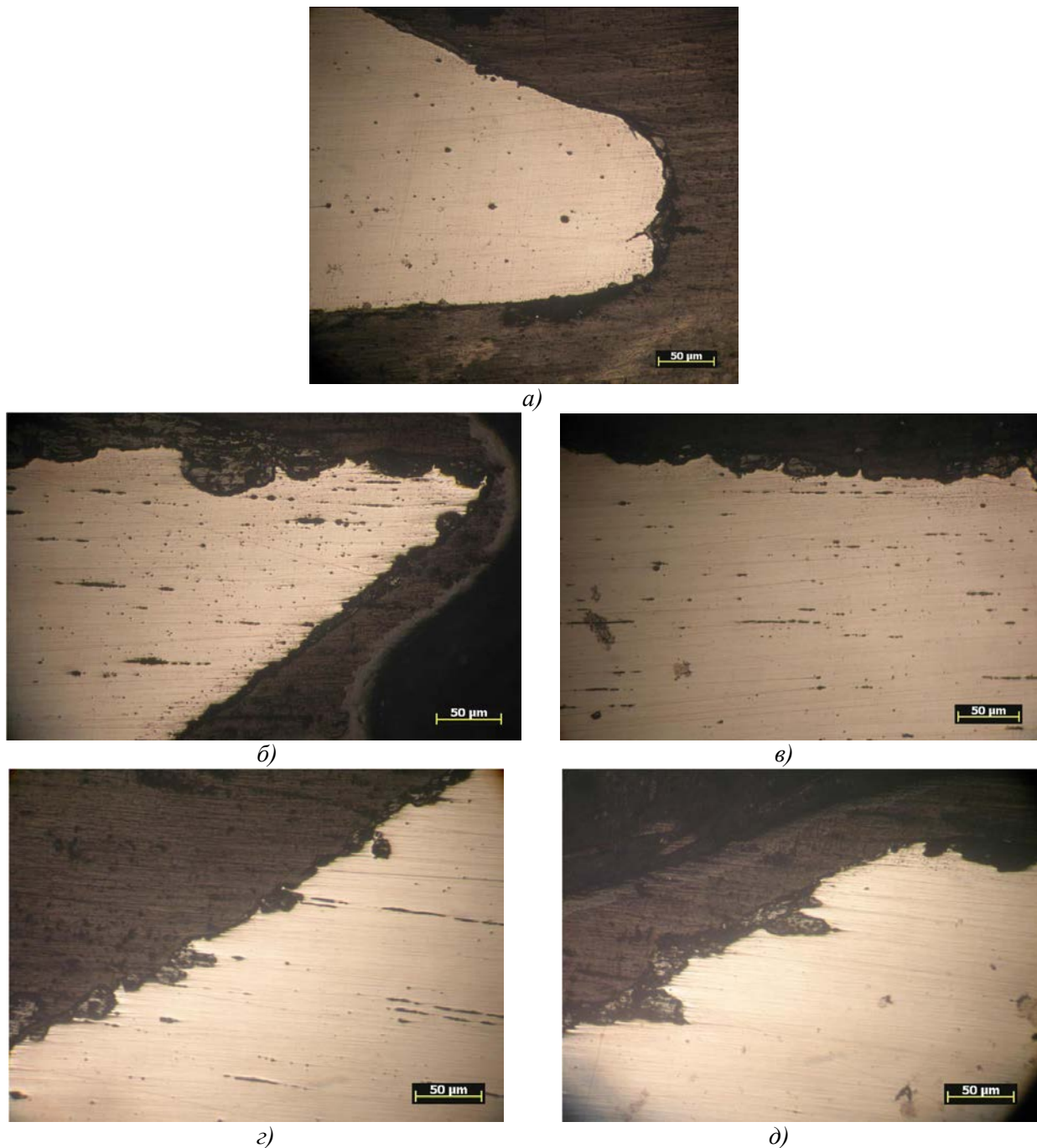


Рис. 5. Мікрофотографії ріжучої кромки деревообробних ножів (нетравлений стан) №1 (а) та №2 (б, в, г, д)

Припустімо, що інструмент використовували для різання шпону протягом тривалого часу і без активного чи пасивного охолодження. Ріжуча кромка нагрівалась до високих температур. За таких умов можливе проходження процесу самовідпуску у поверхневому шарі кромки. Це призводить до пом'якшення структури і, відповідно, спричинює місцеве знеміцнення матеріалу, внаслідок якого і відбулося спрацювання вістря ріжучої кромки ножа. Провівши вимірювання мікротвердості за отриманими результатами можна буде визначити чи дійсно самовідпуск є причиною утворення даного дефекту.

Крім цього в мікроструктурі наявні й інші дефекти, зокрема відколи, розташовані вздовж поверхні ріжучої кромки. В об'ємі ножа можна ідентифікувати пори та дрібні включення карбідів. На вістрі ріжучої кромки – незначне відшарування та, можливо, корозійна тріщина. Детальніше дослідити ці дефекти можна буде з допомогою аналізу даного мікрошліфа на електронному мікроскопі.

2) рис. 5 (б, в, г, д) – мікроструктура деревообробного ножа №2 (див. рис. 3, Б). На відміну від попереднього, вістря даного інструменту не спрацьоване, а гостре (рис. 5, б). Проте

воно містить велику кількість виривів, причиною утворення яких є наявність твердих включень у структурі, які при відділенні від основного металу виривають із собою його частину. В об'ємі досліджуваного зразка помітні скупчення сульфідів середніх за величиною (3 бал) згідно із ГОСТом 1778-70 [22] (рис. 5, б, в, г). Також вздовж поверхні ріжучої кромки є численні сколи, відшарування та вириви (рис. 5, в, г, д). Місцями помітні сліди піттингової корозії – місцева корозія металу у вигляді окремих невеличких точкових уражень (підвид точкової корозії) [23]. Поверхневу мікротвердість ріжучої кромки деревообробних ножів вимірювали на приладі ПМТ-3М під навантаженням 0,49 Н.

Проаналізувавши результати мікротвердості поверхневого шару ріжучої кромки деревообробного ножа №1 можна стверджувати, що в даному випадку на його зношування вплинуло місцеве знеміцнення матеріалу. Рухаючись від поверхні в об'єм зразка твердість зростає. Виключенням є результати на відстані, відповідно, 60 і 300 мкм від поверхні. Причиною цього може бути попадання індентора у пору (див. рис. 6, в) або інший дефект.

Мікротвердість ріжучої поверхні зразка №2 змінюється по-іншому. На поверхні і в об'ємі зразка вона коливається у вузькому діапазоні значень.

Мікроструктуру поверхневих шарів деревообробних ножів досліджували на «прямих» шліфах, використовуючи металографічний мікроскоп «Метам Р-1» з відеокамерою для фіксації зображення у цифровому вигляді (рис. 6).

Дзеркальну поверхню готового мікрошліфа піддали травленню азотною, а потім пікриною кислотою для кращого ефекту виявлення мікроструктури. Проте мікроструктура зразків із сталі 6ХС виявилася настільки дрібною, що навіть за найбільшого корисного збільшення металографічного мікроскопа її не вдалося ідентифікувати (див. рис. 6, б, в, г). Натомість помітнішими стали дефекти та несучільності структури зразків, зокрема пори (рис. 6, в) та корозійні тріщини.

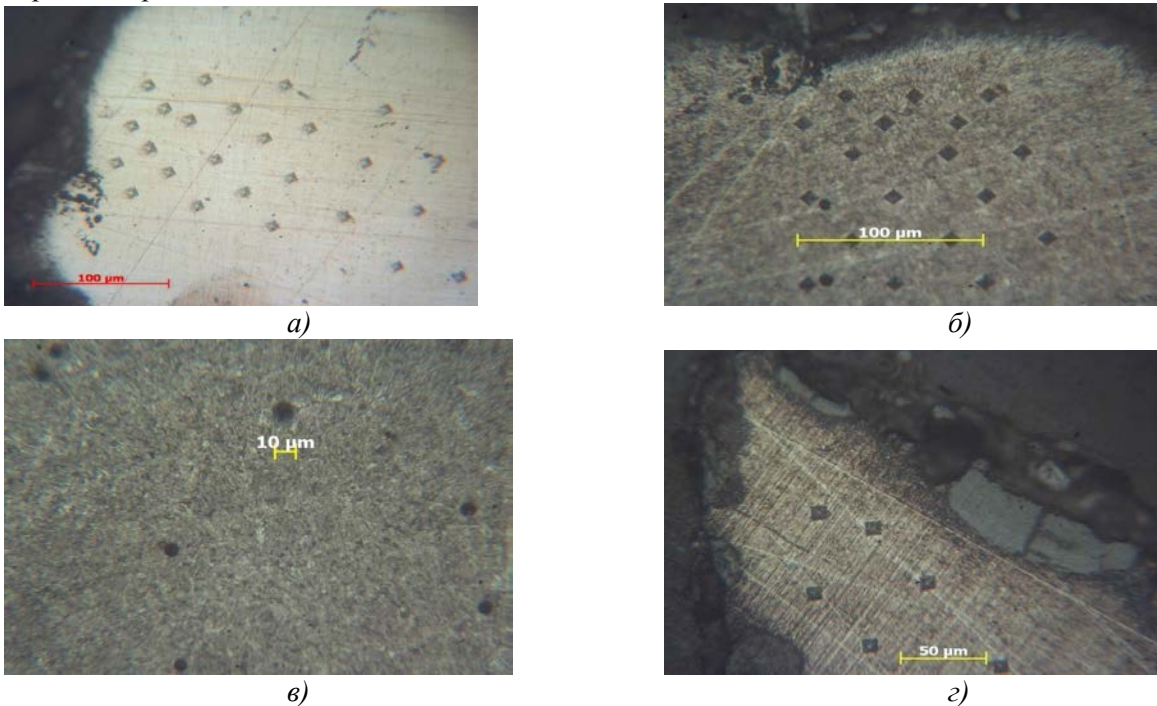
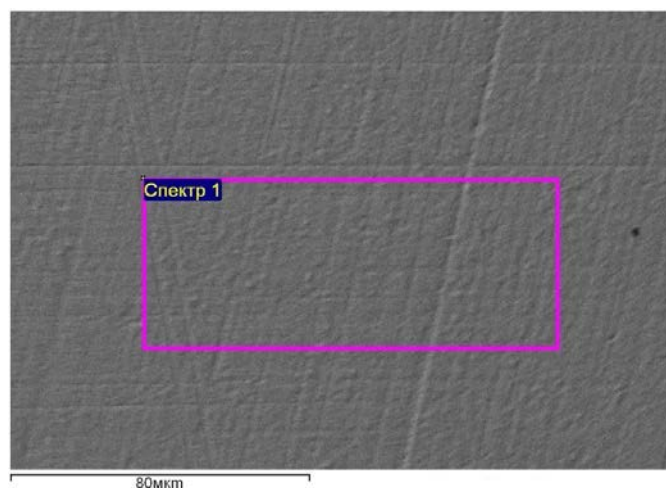


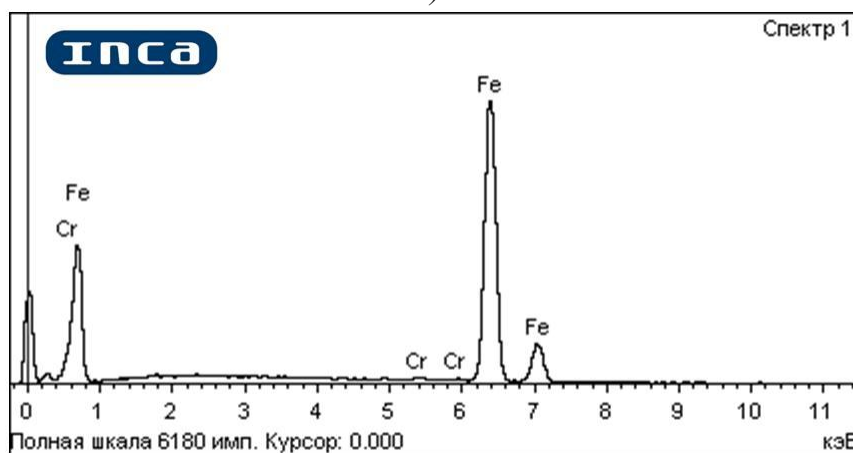
Рис. 6. Мікрофотографії поверхні зразків деревообробних ножів після вимірювання мікротвердості: а – нетравлена поверхня мікрошліфа ножа №1; б, в – травлена поверхня мікрошліфа ножа №1; г – травлена поверхня мікрошліфа ножа №2.

Наступним кроком дослідження є аналіз мікрошліфів за допомогою сканувального електронного мікроскопу ZEISS EVO 40XVP з системою рентгенівського мікроаналізу INCA Energy.

Для проведення рентгеноструктурного аналізу вибрано випадковий спектр зразка із сталі 6ХС, який названо «Спектр 1» (див. рис. 7, а). Результати даного дослідження наведені у табл. 1 та на рис. 7 (б).



а)



б)

Рис. 7. Результати спектрального аналізу зразка із сталі 6ХС: а) аналізований спектр на поверхні зразка, виділений прямокутником; б) – графічне представлення результатів дослідження

Таблиця 1. Результати спектрального аналізу

№	Хімічний елемент	Вагова частка, %	Атомна частка, %
1	Fe	0,64	0,69
2	Cr	99,36	99,31
Всього	–	100,00	100,00

Результати даного дослідження включають лише два елементи, а саме Залізо та Хром (як основний легувальний елемент). Інші хімічні елементи, які містяться у даній сталі – виключені.

Останнім етапом дослідження мікроструктури за допомогою електронного мікроскопа (рис. 8).

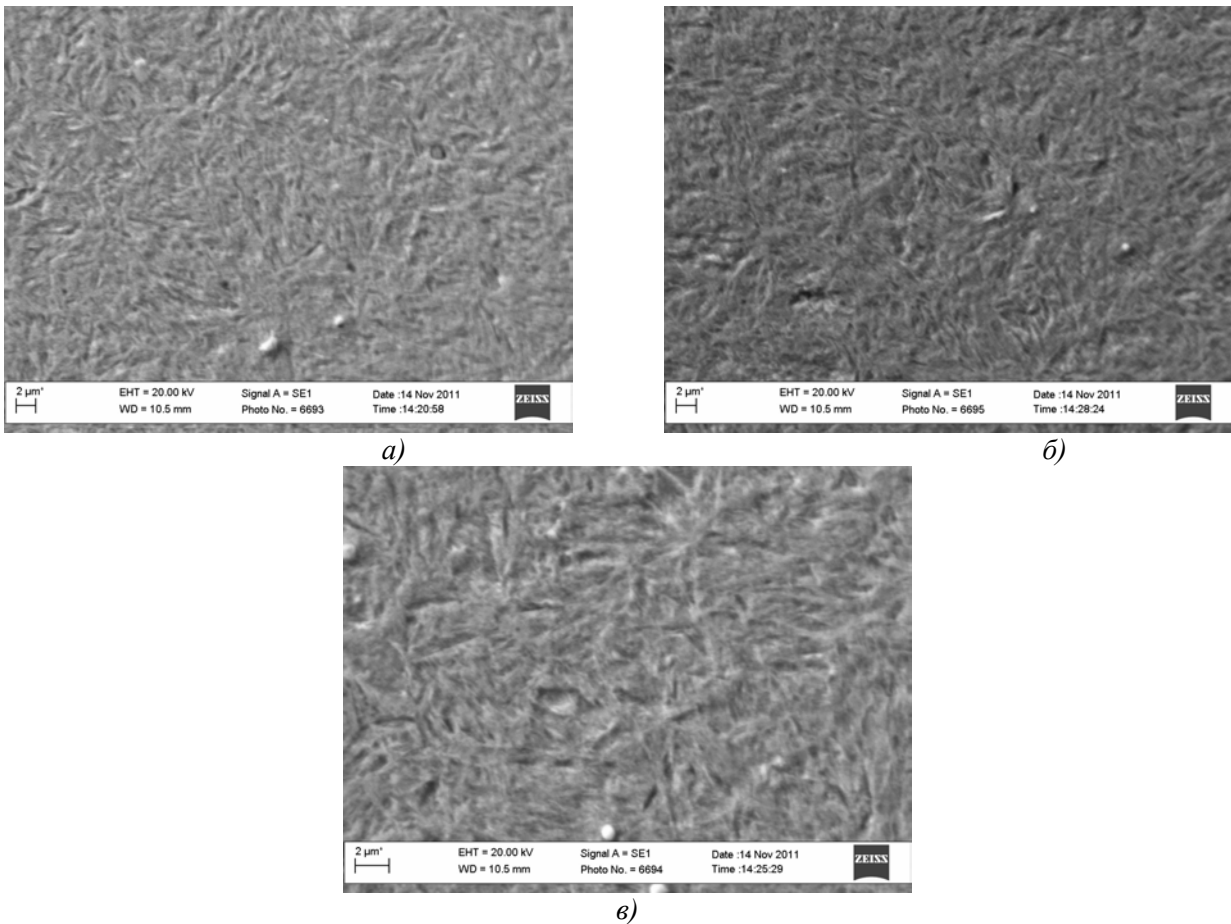


Рис. 8. Мікроструктура зразків із сталі 6ХС за різних збільшень:
а) $\times 1000$; б) $\times 2000$; в) $\times 3500$

Отриману металографічним мікроскопом мікроструктуру неможливо було ідентифікувати, оскільки вона була надто дисперсною (рис. 6). Порівнявши її із одержаними фотографіями мікроструктури на електронному мікроскопі можна оцінити переваги останнього приладу. Отримані за трьох різних збільшень мікроструктури сталі 6ХС (рис. 8) дають змогу ідентифікувати лінзоподібну структуру трооститу.

Виявлена структура інструментальної сталі була отримана внаслідок кінцевої термічної обробки деревообробних ножів із сталі 6ХС на стадії їх виготовлення. Режим такої термообробки – гартування із низьким відпуском, внаслідок якого утворюється структура мартенситу відпуску.

Повертаючись до аналізу дефектів деревообробних ножів на рівні мікроскопічного аналізу з допомогою електронного мікроскопу необхідно звернути увагу на дефекти ріжучої кромки зразка №1 (див. рис. 5, а) зображених на рис. 9.

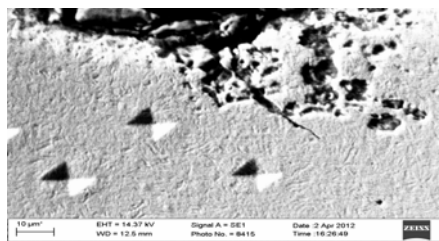


Рис. 9. Дефекти поверхні ріжучої кромки зразка №1

Внутрішні відшарування та інші пустоти вістря ножа роблять структуру пористою. Це сприяє легкому відшаруванню металу основи і подальшому руйнуванню матеріалу зразка під дією корозії.

Чітко виражена тріщина, утворена внаслідок одночасної дії корозійного (агресивного) середовища та втомних навантажень, має схильність до поширення в «тіло» зразка (ножа). Це слугуватиме передумовою до його кінцевого руйнування при експлуатації.

© З.А. Дурягіна, С.О. Ольшевська, В.Я. Підкова, М.Р. Романишин

Отже, дані деревообробні ножі не можна вводити в експлуатацію. Їх потрібно відновити методами інженерії поверхні (ІП) для відновлення різальних властивостей і підвищення періоду експлуатації та зберігання.

Висновки. Макроскопічним аналізом виявлено численні пошкодження вздовж ріжучих кромки деревообробних ножів, що є типовими ознаками різання твердих порід деревини і, в кінцевому випадку, зношуванням інструменту.

1. Мікроструктурним аналізом поверхневих шарів зразків виявлено вириви, відколи, відшарування, тріщини, піттинги та інші сліди корозії в поверхневих шарах, а також вириви та пори – в об'ємі зразків.

2. Доведено, що деревообробні ножі, в даному стані, не можна експлуатувати. Перш за все потрібно провести відновлення поверхні інструменту методами ІП.

3. Для відновлення поверхні виробів обрано метод іонного азотування, оскільки він найбезпечніший, найекономічніший та може забезпечити поверхню інструменту необхідним спектром властивостей.

1. Инструментальные стали. 5-е изд. Геллер Ю. А. М., «Металлургия», 1983. – 527 с.
2. ГОСТ 6567-75. Ножи плоские с прямолинейной режущей кромкой для фрезерования древесины. Технические условия. – Взамен ГОСТ 6567-61; Введ.: 01.07.92. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 14 с.
3. ГОСТ 1778-70. Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений. – Взамен ГОСТ 1778-62; Введ.: 29.12.70. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 42 с.
4. ГОСТ 5272-68. Коррозия металлов. Термины. – Взамен ГОСТ 5272-50; Введ.: 01.01.69. – М.: Изд-во стандартов, 1968. – 24 с.