

УДК 621.923

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯКОСТІ ОБРОБЛЕННЯ НАПЛАВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ

*В. В. КОЛОМІЄЦЬ, Р. В. АНТОЩЕНКОВ, В. М. ЛУК'ЯНЕНКО,
Р. В. РІДНИЙ, С. О. ХАРЧЕНКО, І. А. ФАБРИЧНИКОВА,
С. А. БОГДАНОВИЧ, О. А. СВІРГУН*

Державний біотехнологічний університет, Харків

Досліджено характеристики якості чистового оброблення наплавлених матеріалів різцями з твердого сплаву і надтвердого матеріалу (гексаніту-Р). Встановлено, що низька шорсткість обробленої поверхні є за обробки різцями із гексаніту-Р. Ця характеристика залежить від подачі, швидкості різання, форми вершини різця, його зносу і твердості наплавленого шару. Глибина наклепу обробленого шару більша за точіння наплавлених матеріалів невеликої твердості. Під час точіння різцями із гексаніту-Р у поверхневому шарі з'являються залишкові напруження стиску, які поліпшують експлуатаційні характеристики деталей.

Ключові слова: *оброблення, наплавлені матеріали, якість, шорсткість, деталі машин.*

The quality characteristics of the finishing treatment of deposited materials with cutting wires made of hard alloy and super hard material (hexanite-R) are investigated. It has been established that during finishing turning of the deposited parts, the low roughness of the machined surface is achieved when machining with hexanite-R cutters. The roughness of the machined surface depends on the feed the optimum cutting speed, the shape of the tool tip and its wear. The depth of the surface hardening of the machined layer with cutters is greater when turning the weld materials of low hardness. When turning with hexanite-R cutters, compressive residual compression stresses are formed in the surface layer, which improve the performance characteristics of parts.

Keywords: *treatment, dopped materials, quality, roughness, machine parts.*

Вступ. Довговічність сучасних машин залежить від якості виготовлення деталей і їх відновлення за експлуатації. Якість оброблення поверхневого шару деталей визначають за шорсткістю та за внутрішніми фізико-механічними характеристиками поверхневого шару після обробки [1]. До таких характеристик належать: зміна його структури, зміцнення під час обробки (наклеп) і залишкові напруження, які впливають на експлуатаційні характеристики деталей машин [2].

Встановлено, що на шорсткість обробленої поверхні та її хвилястість за оптимальної швидкості обробки впливають зміна подачі (S), структура оброблюваного матеріалу та інструмента. Для отримання потрібної шорсткості поверхні необхідно за зміни подачі змінювати форму вершини інструмента [3]. Умови обробки впливають на поверхнєве зміцнення обробленого наплавленого шару і залишкові напруження. Це необхідно враховувати для отримання необхідних властивостей в обробленому шарі, які і призведуть до підвищення експлуатаційних характеристик відновленої деталі [4–6].

Матеріали та методика. Для досліджень вибрали три наплавлювані матеріали, які відрізнялись за хімічним складом, фізико-механічними властивостями, способом наплавлення і неоднорідністю відновленого покриття. Це наплавлювані дроти Нп-30ХГСА (HRC 32...36); Нп-12Х18Н9Т (HRC 32...36), їх наплавляли

Контактна особа: В. В. КОЛОМІЄЦЬ, e-mail: kolomietsvlad1@ukr.net

під шаром флюсу Ан-348А, а порошковий дріт ПП-Нп-10Х14Т (HRC 46...52) – відкритою дугою.

Під час досліджень характеристик якості оброблення в лабораторних умовах використовували зразки зі сталі 40Х \varnothing 50 і завдовжки 150 mm. Деталі тракторів Т-150 і Т-40 (зношені вали, кронштейни, кардани і гальмівні барабани) наплавляли за оптимальних режимів у виробничих умовах ремонтних підприємств. Для наплавлення в лабораторних умовах застосовували напівавтомат типу А825М, змонтований на токарно-гвинторізному верстаті. Наплавляли в один шар. Джерелом струму слугував зварювальний перетворювач ПСГ-500.

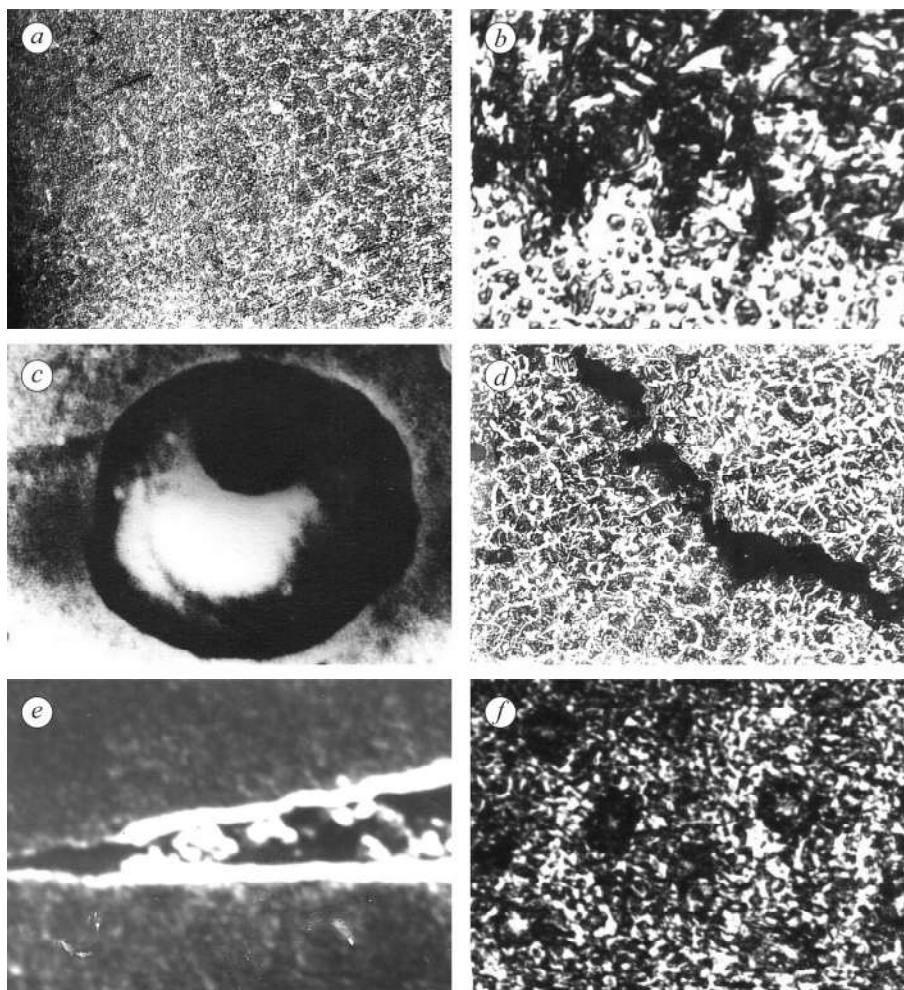


Рис. 1. Мікроструктура в зоні кристалізації присадного матеріалу (а) та перехідної зони (b), а також дефекти наплавлених шарів: пора (c); тріщина (d); раковина (e); включення (f) (a, b – $\times 400$; c, e – $\times 1000$; d – $\times 3000$; f – $\times 500$).

Fig. 1. Microstructure in crystallization zone of adding material (a) and transition zone (b), and also the defects of the deposited layers: pore (c); crack (d); cavity (e); inclusion (f) (a, b – $\times 400$; c, e – $\times 1000$; d – $\times 3000$; f – $\times 500$).

Неоднорідність наплавлених шарів визначали за методикою [2], встановили такі коефіцієнти неоднорідності після чорнової обробки: Нп-30ХГСА – 2; Нп-12Х18Н9Т – 2,4; ПП-Нп-10Х14Т – 3,6. Матеріал, наплавлений порошковим дротом ПП-Нп-10Х14Т, має найбільшу неоднорідність. Мікроструктуру наплавлених шарів оцінювали за глибиною наклепаного шару h . За наплавлення порошковим дротом ПП-Нп-10Х14Т вона складається із зерен трооститу, оточених тон-

кими феритними прожилками. Вузька перехідна зона має мартенситну структуру. Структура основного наплавленого металу – трооститно-сорбітна з мікротвердістю $H_{100} = 3140...3750$, мікротвердість наплавленого металу – від 3760 до 4090, а перехідної зони – від 6350 до 6570. У зоні кристалізації присадного металу спостерігали дрібнодисперсні включення титану та глобулярні включення силікату (рис. 1).

Як інструментальні матеріали вибрали карбідний твердий сплав типу T15K6 (P10) [7], який застосовують у машинобудуванні для відновлення деталей, і надтвердий матеріал на основі нітриду бору, а саме гексаніт-Р.

Досліджували характеристики якості обробки на токарному модернізованому верстаті 1ЕБ1МФ2 з двигуном постійного струму, що дає можливість безступінчато (плавно) змінювати частоту обертання зразка, а в 3 рази зменшені подачі – досягати низької шорсткості за чистої обробки наплавлених матеріалів. Зношування робочих поверхонь інструмента визначали за допомогою пристрою з оптичною системою МИР-2 і МОВ 1,5×15 з ціною поділки 1,6 μm (рис. 2а) безпосередньо на верстаті з можливістю наводити оптичну вісь пристрою на ділянку зношування визначеної частини інструмента і застосовувати змінну оптику залежно від необхідного збільшення. Вивчали характер зношування різця із гексаніту-Р за допомогою мікроскопа ЕМ-5 (рис. 2с) [8, 9]. Як бачимо, результат зношування – відокремлення гострих блоків гексаніту-Р, які не втрачають своїх властивостей.

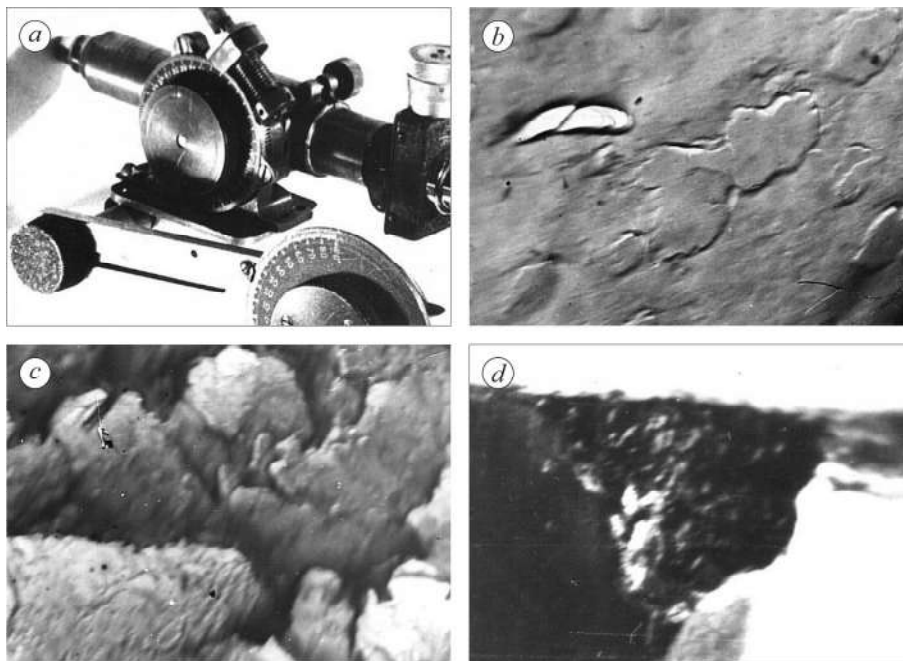


Рис. 2. Пристрій для вимірювання зношування інструмента (а) і його вихідна (б) та кінцева після $\tau = 5400$ s; $h_z = 0,6$ mm (с) мікроструктури; а також зношування задньої поверхні інструмента після $\tau = 3600$ s; $h_z = 0,4$ mm (d) (b, c – $\times 10000$; d – $\times 100$).

Fig. 2. Device for measuring tool wear (a) and its initial (b) and final after $\tau = 5400$ s, $h_z = 0.6$ mm (c) microstructures; and also welding wear of the rear part of the tool after $\tau = 3600$ s, $h_z = 0.4$ mm (d) (b, c – $\times 10000$; d – $\times 100$).

Шорсткість обробленої наплавленої поверхні вимірювали за допомогою профілографа-профілометра мод. 201 заводу “Калібр”. Залишкові напруження визначали з використанням методу нахилених зображень ($\sin^2\phi$) за алгоритмом розрахунку з такими блоками: введення даних; опис первинної дифракційної лінії рядом Фур’є; визначення фону; обчислення міжплощинної відстані d_ϕ ; розрахунок сумарної деформації для кожної фази; розділення за методом [10] сумарної дефор-

мації (ϵ) на дві складові та її визначення. Нахилені зображення отримували на дифрактометрі ДРОН-2М у випромінюванні мідного анода з графітовим монохроматором на дифрагованому промені. Для збільшення довговічності інструментів із надтвердих матеріалів на основі нітриду бору розроблено спеціальні тверді покриття [10, 11]. Застосування змащувально-охолоджувальних рідин суттєво впливає на коефіцієнт тертя, сили різання і якість обробки [12, 13]. Дослідження впливу технологічних параметрів на характеристики якості обробленої наплавленої поверхні різцями із надтвердого матеріалу на основі нітриду бору [14] показали, що багатофакторне планування дослідів з малим терміном не дає нових висновків.

Результати дослідження та їх обговорення. Встановлено, що вплив подачі на висоту нерівностей за чистової обробки матеріалів наплавлених дротами Нп-30ХГСА та ПП-Нп-10Х14Т інструментами з твердого сплаву Т15К6 і надтвердого матеріалу (гексаніту-Р) за характером однаковий, але відрізняється за значенням (рис. 3а). Через велику неоднорідність і дефекти в наплавленому матеріалі всі характеристики якості обробленої поверхні мають великий розкид під час вимірювання, тому на графіках показані їх усереднені значення.

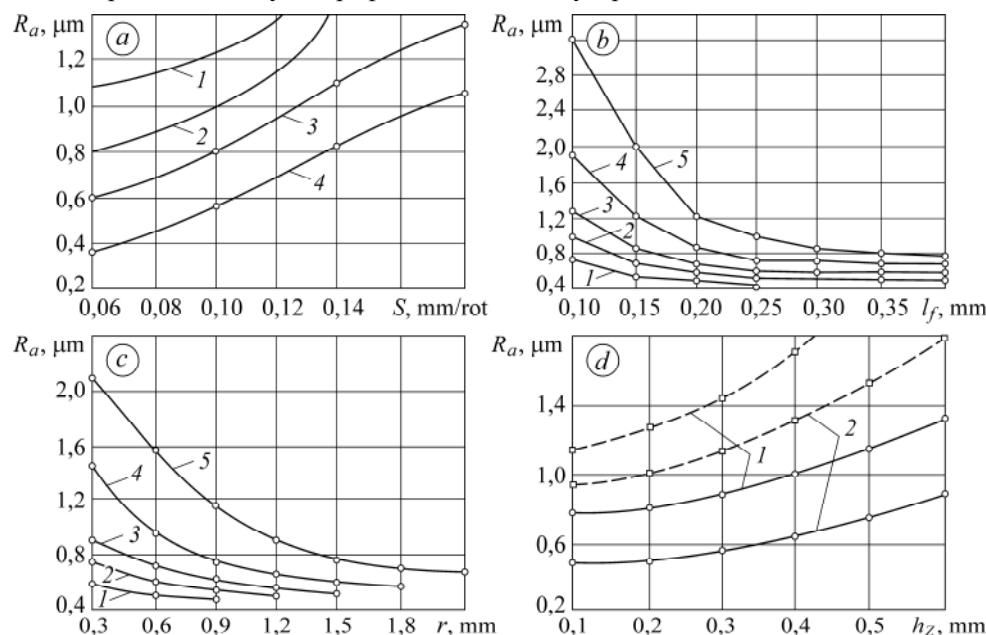


Рис. 3. Вплив подачі S , довжини l_f , радіуса r і зношування інструмента h_z на шорсткість поверхні R_a : а) 1 – $v = 1,2$ м/с; 2 – 0,8; 3 – 2; 4 – 1,8 м/с; $t = 0,2$ мм; $h_z = 0,2$ мм; б, с) 1 – $S = 0,06$ мм/об; 2 – 0,08; 3 – 0,1; 4 – 0,14; 5 – 0,2 мм/об; д) – Нп-30ХГСА (1) і ПП-Нп-10Х14Т (2); $S = 0,1$ мм/об (штрихова лінія – Т15К6; суцільна – гексаніт-Р).

Fig. 3. Effect of feed S , length l_f , radius r , wear of the cutter h_z on surface roughness R_a : а) 1 – $v = 1.2$ m/s; 2 – 0.8; 3 – 2; 4 – 1.8 m/s; $t = 0.2$ mm; $h_z = 0.2$ mm; б, с) 1 – $S = 0.06$ mm/rot; 2 – 0.08; 3 – 0.1; 4 – 0.14; 5 – 0.2 mm/rot; д) – Нп-30ХГСА (1) and ПП-Нп-10Х14Т (2); $S = 0.1$ mm/rot (dashed line – Т15К6; solid – hexanite-R).

Як бачимо (рис. 3б і с), зі збільшенням довжини зачисної крайки l_f і радіуса закруглення вершини інструмента r і зі зменшенням подачі S , тобто за збільшення співвідношень l_f/S і r/S , шорсткість обробленої наплавленої поверхні постійно знижується за відсутності вібрацій. Довжину зачисної крайки l_f і радіус закруглення вершини інструмента r необхідно вибирати в межах

$$l_f = (0,8 \dots 1,2) \cdot \sqrt{S}, \text{ mm}; \quad (1)$$

$$r = (5 \dots 7) \cdot \sqrt{S}, \text{ mm}. \quad (2)$$

Ці величини справедливі для подач від 0,06 до 0,2 mm/rot і наведених умов оброблення наплавлених матеріалів. В формулах (1) і (2) менші коефіцієнти потрібно приймати для наплавлених матеріалів з нижчим коефіцієнтом неоднорідності. Встановлено, що шорсткість обробленої напвленої поверхні залежить від зношування інструмента по задній поверхні. Як бачимо (рис. 3d), характер впливу зношування інструмента h_z (за подачі $S = 0,1$ mm/rot) на шорсткість однакової, але дуже відрізняється за значенням і також залежить від неоднорідності напвленого шару. При цьому встановлено, що під час оброблення інструментами із гексаніту-Р меншу шорсткість досягають за більшої твердості напвленого матеріалу, що можна пояснити менш інтенсивними адгезійними явищами і малим впливом неоднорідності зрізаного напвленого шару.

Залежність хвилястості обробленої поверхні від напвленого матеріалу і вибраних інструментальних матеріалів за оптимальних швидкостей оброблення подано в табл. 1.

Таблиця 1. Параметри хвилястості оброблених деталей

Марка наплавки	Оптимальна швидкість обробки v , m/s	Параметри хвилястості за оброблення інструментами			
		твердий сплав Т15К6		гексаніт-Р	
		Висота хвилі, μm	Крок хвилі, mm	Висота хвилі, μm	Крок хвилі, mm
Нп-30ХГСА	1,2; 2,3	2,2	3,0	1,6	2,5
ПП-Нп-10Х14Т	0,8; 1,8	1,8	2,9	0,9	2,1
Нп-12Х18Н9Т	1; 2,3	2,6	3,1	1,8	2,8

Примітка: менші швидкості обробки для Т15К6, режими обробки: $S = 0,1$ mm/rot; $t = 0,2$ mm; $h_z = 0,2$ mm; геометрія інструментів: $\gamma = -10^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$; $\phi = 40^\circ$; $\phi_1 = 20^\circ$; $r = 0,6$ mm.

Як бачимо, під час обробки напвлених матеріалів інструментами із гексаніту-Р і висота хвилі, і її крок менші, ніж за обробки інструментами з твердого сплаву Т15К6. Крім того, меншу хвилястість спостерігаємо за оброблення твердішого напвленого шару. Неоднорідність напвленого матеріалу на хвилястість обробленої поверхні впливає несуттєво.

На поверхневе зміцнення обробленого шару (наклеп) і залишкові напруження впливають майже всі умови обробки, але найбільше передній кут, подача, матеріал інструмента і властивості оброблювального шару. Так, за чистової обробки напвлених матеріалів ПП-Нп-10Х14Т і Нп-12Х18Н9Т інструментами з твердого сплаву Т15К6 і гексаніту-Р (рис. 4a) за зміни переднього кута γ від 0 до -30° (за подачі $S = 0,1$ mm/rot) глибина наклепаного шару змінюється по-різному. За такої обробки матеріалу, напвленого дротом Нп-12Х18Н9Т, інструментами із твердого сплаву Т15К6 середня глибина наклепаного шару змінюється від 150 до 250 μm , а інструментами із гексаніту-Р – від 100 до 170 μm ; водночас за такої ж обробки шару, напвленого дротом ПП-Нп-10Х14Т, глибина наклепу змінюється уже від 100 до 170 μm і від 50 до 140 μm , відповідно. Тому передній кут γ за чистової обробки напвлених матеріалів високої твердості необхідно вибирати із умови максимальної міцності ріжучого інструмента, за якої його стійкість висока. Дослідами встановлено, що зі збільшенням подачі під час обробки напвленого шару (рис. 4b) глибина наклепу змінюється аналогічно як за обробки інструментами із твердого сплаву Т15К6, так і з гексаніту-Р, і мало відрізняється за значенням.

Із поданих залежностей бачимо, що напвлений матеріал ПП-Нп-10Х14Т менше наклепується, ніж Нп-12Х18Н9Т, який містить більше нікелю, схильного до наклепу. Під час досліджень встановлено, що на характеристики наклепу сильніше впливає зношування інструмента і збільшення швидкості обробки (табл. 2).

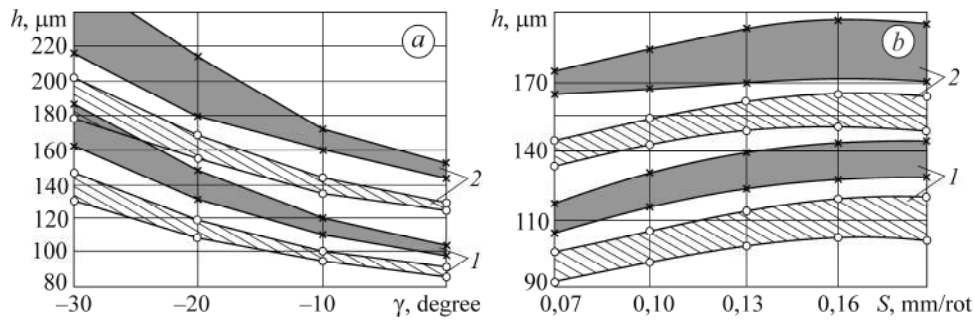


Рис. 4. Вплив переднього кута інструмента γ (a) і подачі S (b) на глибину наклепу h :
 1 – ПП-Нп-10X14Т; 2 – Нп-12X18Н9Т (× – Т15К6; ○ – гексаніт-Р).

Fig. 4. The influence of the tool angle γ (a) and feed S (b) on surfacing depth h :
 1 – ПП-Нп-10X14Т; 2 – Нп-12X18Н9Т (× – Т15К6; ○ – hexanite-R).

Таблиця 2. Характеристики наклепу Нп-12X18Н9Т під час обробки гексанітом-Р

Швидкість обробки v , m/s	Глибина наклепу h , mm				Ступінь наклепу N , %			
	Зношування інструмента по задній поверхні h_z , mm							
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,1	0,2	0,4	0,6
1,5	0,13	0,14	0,16	0,19	18	26	42	58
2	0,09	0,1	0,12	0,15	15	23	35	42
2,5	0,08	0,09	0,11	0,14	13	20	28	38
3	0,09	0,09	0,11	0,13	14	22	28	36
3,5	0,1	0,12	0,13	0,15	15	24	36	44

Примітка: $S = 0,1$ mm/rot; глибина різання $t = 0,2$ mm.

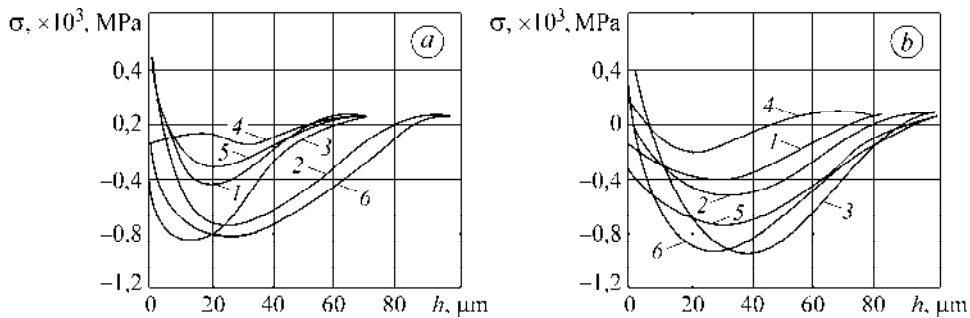


Рис. 5. Вплив площі зрізу (S_{st}) на розподіл макронапружень за $v = 2$ m/s; $h_z = 0,3$ mm:
 1 – 0,02 mm²; 2 – 0,04; 3 – 0,06; 4 – 0,01; 5 – 0,08; 6 – 0,1 mm²
 (a – Нп-30ХГСА; b – Нп-12X18Н8Т).

Fig. 5. The influence of the cut area (S_{st}) on the distribution of macrostresses at $v = 2$ m/s;
 $h_z = 0.3$ mm: 1 – 0.02 mm²; 2 – 0.04; 3 – 0.06; 4 – 0.01; 5 – 0.08; 6 – 0.1 mm²
 (a – Нп-30ХГСА; b – Нп-12X18Н8Т).

Як бачимо, за малих і великих швидкостей різання глибина і ступінь наклепу змінюється суттєво. За обробки наплавленого матеріалу внаслідок пластичних і пружних деформацій змінюється мікротвердість його поверхневого шару, що сильно впливає на експлуатаційні характеристики деталей машин.

Аналіз впливу площі зрізу (S_{st}) на епюри розподілу макронапружень за глибиною наплавленого шару за чистової обробки інструментами із гексаніту-Р поверхонь, наплавлених дротами Нп-30ХГСА (рис. 5a) і Нп-12X18Н8Т (рис. 5b)

показав, що в обробленому шарі утворюються стискальні макронапруження на глибинах від 5 до 50 μm . Ці глибини наплавленого шару забезпечують довговічність деталей під час їх експлуатації.

ВИСНОВКИ

Дослідами встановлено, що неоднорідність наплавленого матеріалу мало впливає на характеристики якості обробленої поверхні. За чистової обробки наплавлених деталей малу шорсткість обробленої поверхні отримуємо інструментами із надтвердих матеріалів на основі нітриду бору типу гексаніт-Р, при цьому нижчу шорсткість – при обробці матеріалів великої твердості ($\text{HRC} > 40$). Шорсткість обробленої наплавленої поверхні залежить не тільки від подачі за оптимальної швидкості обробки, але і від співвідношень між параметрами форми вершини інструмента і подачею. Збільшення глибини наклепу (зміцнення) обробленого шару інструментами із гексаніту-Р і твердого сплаву Т15К6 показало, що матеріали меншої твердості ($\text{HRC} < 40$) наклепуються більше. За чистової обробки наплавлених матеріалів інструментами із гексаніту-Р у поверхневому шарі утворюються стискальні залишкові напруження, які поліпшують експлуатаційні характеристики деталей.

1. Дунин-Барковский И. В., Карташова А. Н. Измерение и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности. – М.: Машиностроение, 1978. – 232 с.
2. Optimization of the process of machining of inhomogeneous built-up parts of tractors / V. V. Kolomiets, R. V. Antoshchenkov, R. V. Ridnyi, S. A. Bogdanovich, and I. A. Fabricznikova // *Materials Science*. – 2019. – **55**, № 1. – P. 52–62.
3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова; в 10-ти т. – Т. 3: Резание материалов лезвийными инструментами. – Одесса: ОНПУ, 2003. – 550 с.
4. Технические остаточные напряжения / Под ред. д-ра техн. наук, проф. А. В. Подзезя. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
5. Свердлова Б. М., Фукс М. Я. Особенности формирования остаточных напряжений в гетерофазных материалах и их изменение при эксплуатации // *Сверхтвердые материалы*. – 1981. – Вып. 12. – С. 3–9.
6. Анализ методов повышения эксплуатационных свойств деталей восстановленных наплавкой / В. В. Коломиец, Р. В. Ридный, Т. С. Скобло, С. А. Клименко // *Вісник ХДТУСГ*. – 2002. – Вип. 10. – С. 18–23.
7. Справочник инструментальщика / Под общ. ред. И. А. Ординарцева. – М.: Машиностроение, 1987. – 846 с.
8. Плянкевич А. П. Практика электронной микроскопии. – М.: Машгиз, 1961. – 176 с.
9. Коломиец В. В., Красильников Е. В. Электронно-микроскопическое исследование микрорельефа износа резцов из гексанита-Р и эльбора-Р // *Алмазы и сверхтвердые материалы*. – 1977. – № 9. – С. 6–7.
10. Особенности применения режущих инструментов из поликристаллического кубического нитрида бора с защитным покрытием / С. А. Клименко, С. Ан. Клименко, А. С. Манохин, В. М. Береснев // *Сверхтвердые материалы*. – 2017. – № 4. – С. 88–100.
11. Перспективные типы покрытий для инструментов, оснащенных поликристаллическим КНБ / А. С. Манохин, С. А. Клименко, С. Ан. Клименко, В. М. Береснев // *Надтверді матеріали*. – 2018. – № 6. – С. 78–88.
12. Balyts'kyi O. I., Kolesnikov V. O., and Havrylyuk M. R. Influence of modification of 38KhN3MFA steel on the structural-phase state and cutting products under variable technological conditions // *Materials Science*. – 2020. – **55**, № 6. – P. 915–920.
13. Применение смазочно-охлаждающих технологических сред при обработке наплавленных материалов резанием / В. В. Коломиец, Л. Н. Тищенко, С. А. Клименко, М. В. Еременко, Л. Н. Переверзева // *Вісник ХНТУСГ*. – 2008. – Вип. 68. – С. 20–23.
14. Сорбат В. И., Коломиец В. В. Влияние технологических параметров на шероховатость при точении поверхности наплавленной проволокой Нп-12Х18Н9Т // *Темат. сб. науч. трудов. Динамика конструкций летательных аппаратов*. – Харьков, 1985. – С. 128–133.

Одержано 03.05.2019