

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2024-282-2-17-21>

УДК 621.7

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ МІКРОТВЕРДОСТІ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ПРОКАТНИХ ВАЛІВ

Мелконов Г.Л.

### RESEARCH AND ANALYSIS OF THE MICRO-HARDNESS OF THE FINISHED SURFACE OF THE ROLLED SHAFTS

Melkonov H.L.

*В даній роботі наукові дослідження спрямовані на вивчення мікротвердості поверхневого шару валка, як однієї з важливих проблем у машинобудуванні. Мікротвердість і глибина наклепу поверхневого шару є одними з основних показників якості поверхні, що грають одну з найважливіших ролей при остаточній обробці готового виробу. Виходячи з цього питання дослідження та вивчення мікротвердості обробленої поверхні токарних валів при чистовому точенні чашковими рецесії, що примусово обертаються, є актуальним і затребуваним в сучасному виробництві, а особливо в машинобудуванні. Проведені в роботі дослідження дали можливість для визначення ступеня та глибини наклепаного шару в залежності від режимів різання та кута схрещування осей інструменту та заготівлі. Так само в роботі зроблено та представлено аналіз отриманих результатів у результаті дослідження. У роботі показано при яких параметрах режимів різання та кута схрещування отримано значення глибини наклепаного шару та ступеня наклепу. Також у роботі виведена емпірична формула залежності ступеня наклепаного шару від режимів різання та кута схрещування, що дає можливість вирішення поставленої мети роботи. Так як при постачанні обладнання сортових станів машинобудівні компанії та підприємства передають клієнту калібрування валків для передбачуваного профільного сортаменту, розроблені власними калібрувальними бюро, вони не займаються питанням даних калібрування та далеко не завжди мають такі властивості, як універсальність, економічність і гнучкість, що є важливим при кінцевому завершенні технологічного процесу. Тому головне завдання інженерів в галузі машинобудування – є забезпечення клієнта обладнанням для стабільного випуску кінцевої продукції, але при цьому максимально скоротивши терміни введення в дію. Тож приділена увага*

*дослідженню та вивченню мікротвердості обробленої поверхні прокатних валів у разі використання для чистової обробки чашечних різців, що примусово обертаються є актуальним питанням. Вивчення мікротвердості проводилося залежно від режимів різання та кута схрещування осей валу та інструменту.*

**Ключові слова:** *прокатний валок, чашковий різець, що примусово обертається, мікротвердість, глибина наклепаного шару.*

**Вступ.** При постачанні обладнання сортових станів машинобудівні компанії передають клієнту калібрування валків для передбачуваного профільного сортаменту, розроблені власними калібрувальними бюро. Однак дані калібрування далеко не завжди мають такі властивості, як універсальність, економічність і гнучкість, тому що головне завдання машинобудівників - забезпечити клієнта обладнанням для стабільного випуску продукції, при цьому максимально скоротивши терміни введення в дію.

Саме тому калібрувальні бюро сортових виробництв займаються не лише розробкою калібрувань при освоєнні нових видів продукції, а й коригуванням контрактних калібрувань з метою зниження витрат енергії, підвищення стійкості обладнання та оптимізації валкового господарства.

Прокатні калібрувальні валки є основним інструментом для прокатних верстатів.

Тому вивчення стану поверхневого шару прокатних валків є актуальним.

Метою цієї роботи є встановлення залежності ступеня наклепаного шару робочої поверхні прокатних валків від режимів різання та кута схрещування осей заготовки та інструменту.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У найбільш жорстких умовах експлуатації у важконавантажених заготівельних та сортопрокатних станах широке застосування знайшли прокатні валки, що виготовляються з сталі 9ХШ. По стійкості ці валки перевищують ковані в 2-4 рази, а за вартістю вони дешевші за ковані в 1,5-2,0 рази [1,3]. За кордоном такі валки виробляють Японія, Німеччина, Китай та інші країни.

У країнах СНД (крім Росії) виробництво таких валків широкого поширення не набуло, і вони купуються за кордоном. Валки прокатних верстатів є характерними деталями важкого машинобудування. Приклади характеристик деяких сталевих валків прокатних станів виробництва ПАТ НКМЗ представлені у роботі [2]. У структурі технологічних процесів виготовлення подібних деталей переважає токарна обробка, що виконується на важких і великих токарних верстатах, причому близько 70% часу витрачається на точення зовнішніх циліндричних поверхонь.

У робочому процесі деталі машин певної міри зазнають ударів, тертя, зносу або корозії. Особливо під дією тривалого змінного навантаження може виникнути втомне руйнування деталей, що призведе не тільки до зниження механічної ефективності, але й до збільшення енергоспоживання та скорочення терміну служби механічного обладнання [4-6]. Як правило, втомні тріщини виникають і розширюються переважно в матеріалі поверхні деталі. Тому зміцнення поверхні, тобто підвищення міцності поверхні, попереднє напруження матеріалу поверхні або зміна стану поверхневої залишкової напруги, може ефективно стримувати виникнення та поширення тріщин і продовжити термін служби деталей. Поверхнєве зміцнення, цементація, дробеструйна обробка та прокатка є технологією зміцнення поверхні, яка використовується в промисловості. Зміцнення прокаткою є найбільш часто використовуваним видом технології процесу, який викликає пластичну деформацію на поверхні деталей шляхом механічної обробки [6].

**Результати досліджень.** Як досліджуваний об'єкт використовувався прокатний валок, виготовлений із сталі 9ХШ діаметром 142 мм,

довжиною робочої поверхні 1450мм. Для вивчення глибини та ступеня як наклепаного шару обробленої поверхні використовувалися наступні режими різання та кут схрещування осей заготовки та інструменту, швидкість різання  $v$  від 0,3 до 1,2 м/с, подача  $s$  від 0,19мм/об до 1 мм/об, глибина різання  $t$  від 0,2 до 1,2 мм, кут схрещування осей  $\gamma$  від  $105^\circ$  до  $155^\circ$ . Як інструмент застосовувалося твердосплавна чашкова пластина діаметром 46,5 мм, товщиною  $H=15$  мм, виготовлена з твердого сплаву Т15К6, ДСТ 2209-69.

Дослідження мікротвердості обробленої поверхні (табл.1-4) показали, що твердість поверхневого шару, порівняно з первісною, підвищується залежно від величин розглянутих параметрів на 20...50%.

Таблиця 1

**Залежність ступеня наклепу від кута швидкості схрещування при  $V=0,8$  м/с;  $S=0,38$  мм/об;  $t = 0,4$  мм.**

Кут схрещування	Найбільш. мікротв. поверхн. шару $H_w$	Мікротв. матеріала $H$	Ступінь наклепа $\Delta H_w$
105	386	270	37
115	370	260	34
125	361	264	33
135	357	266	29
145	338	261	30
155	347	286	32

Таблиця 2

**Залежність ступеня наклепу від різання при  $S=0,38$  мм/об;  $t=0,4$  мм;  $\gamma = 135^\circ$**

м/с	Найбільш. мікротв. поверхн. шару	Мікротв. матеріалу	Ступінь наклепа $\Delta H_w$
0,3	340	246	39
0,4	340	248	37
0,6	333	256	32
0,75	306	244	26
0,9	296	244	20
1,0	286	244	20
1,2	280	240	18

Збільшення кута схрещування  $\gamma$  від  $105^\circ$  до  $140^\circ$  зменшує ступінь наклепу з 37% до 29%, так як зменшується пластична деформація в результаті зменшення кута контакту різальної кромки різця з оброблюваним матеріалом і збільшення швидкості ковзання.

Таблиця 3  
Залежність ступеня наклепу глибини від подачі при  $V = 8$  м/с;  $t=0,4$  мм;  $\gamma_c = 135^\circ$ .

Подача	Найбільш. твердість поверхн. шару	Мікротв. матеріалу	Ступінь наклепа $\Delta H_w$
0,2	303	240	40
0,5	332	240	47
0,6	346	240	49
0,7	362	243	50
0,8	370	252	50
1	397	261	51

Таблиця 4  
Залежність ступеня наклепу від глибини різання при  $V=0,38$  м/с;  $S=0,38$ мм/об;  $\gamma_c = 135^\circ$ .

Глибина різання $t$ мм	Найбільш. твердість поверхн. шару	Мікротв. матеріалу	Ступінь наклепа $\Delta H_w$
0,2	260	240	9
0,4	299	251	19
0,6	325	249	32
0,8	332	241	34
1	341	251	38
1,2	378	248	51
1,4	392	240	55

Подальше збільшення кута схрещування ос  $140^\circ$  до  $155^\circ$  веде до збільшення ступеня наклеп від 29% до 32%. Це тим, що швидкість ковзання зменшується, а швидкість перекочування зростає.

Зі збільшенням подачі  $S$  від 0,19 мм/про до 1 мм/ ступінь наклепу підвищується від 20% до 51% у зв'язку зі збільшенням пружно пластичних деформацій.

Збільшення швидкості різання  $V$  з 0,4 до 1,1 м/с призводить до зниження наклепу від 37% до 16%.

Зі збільшенням глибини різання  $t$  від 0,2 мм до 1,2 мм ступінь наклепу підвищується від 10% до 51%.

Величина ступеня наклепу  $t$  для наведеного випадку визначається за формулою:

$$\Delta H_w \cdot C_H \cdot \frac{S^{0.76} t^{0.78}}{V^{0.76} \gamma_c^{0.09}} \quad (1)$$

де  $C_H$  - коефіцієнт, що залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, і дорівнює 5500.

Аналіз експериментальних даних і формула (1) показують, що найбільший вплив на ступінь наклепу має глибина різання, менший - подача

та швидкість різання та мінімальний – кут схрещування.

Для визначення глибини і ступеня наклепу обробленої поверхні зразків круглими різцями, що примусово обертаються, виготовляються мікрошліфи

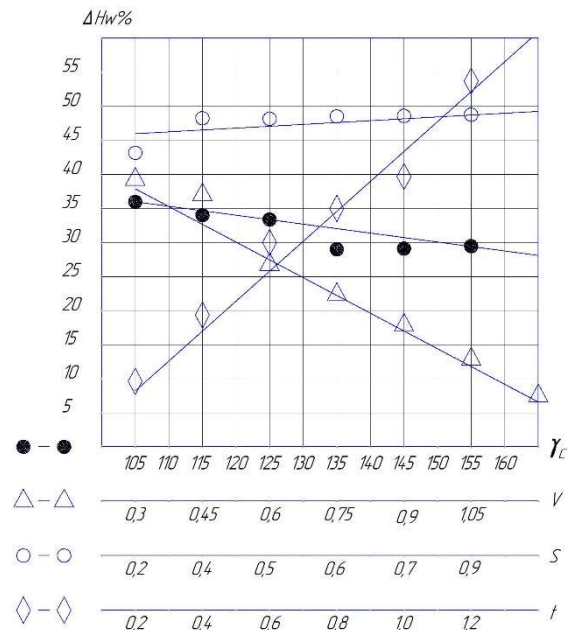


Рис. Залежність ступеня наклепу від кута схрещування  $\gamma_c$ , швидкості різання  $V$ , подачі  $S$  і глибини різання  $t$

**Висновки.** Аналізуючи отримані дані, можна відзначити, що збільшення кута схрещування спричиняє зменшення глибини наклепаного шару. Змінюючи кут схрещування  $\gamma_c = 115^\circ-140^\circ$ , глибина наклепаного шару зменшується від 30 до 10 мкм.

Це пояснюється тим, що збільшується відносна швидкість ковзання зменшується вектор між відносною швидкістю ковзання і зменшується кут контакту між круглим інструментом і деталлю, внаслідок цього знижується пластична деформація, що впливає на глибину і ступінь наклепаного шару.

При подальшому збільшенні кута схрещування  $\gamma_c = 140^\circ-155^\circ$ . Значення кута між вектором відносної швидкості та напрямом слідів різання та швидкості перекочування різко збільшується, що тягне за собою збільшення глибини наклепаного шару від 10 до 28 мкм мкм.

Збільшення швидкості різання  $V=0,4$  м/с - 1,1 м/с призводить до зменшення наклепаного глибини шару від 40мкм до 20 мкм. Це

відбувається внаслідок зниження пластичної деформації.

У разі збільшення подачі  $S = 0,2$  мм/об – 6 мм/об збільшується і глибина наклепанного шару від 10 до 30 мкм.

Глибина наклепаного шару практично не збільшується із збільшенням глибини різання.

### Література

1. Васильченко, Я.В. Разработка технологических систем для обработки крупногабаритных деталей на базе адаптивных многоцелевых тяжелых станков / Я.В. Васильченко, Т.А. Сукова, М.В. Шаповалов // Вісник СевНТУ. Зб. наук. пр. Серія : Машиноприладобудування та транспорт. Севастополь : СевНТУ. 2013. Вип. 139. С. 28-32.
2. Рябцев И.А. Наплавка. Технологии, материалы, оборудование / И.А. Рябцев, И.А. Кондратьев, Е.Ф. Переплетчиков, Ю.М. Кусков. Киев: ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ, 2015. 402 с
3. Харламов Ю.О. Обработка деталей при восстановлении и зачистке / Ю.О. Харламов, С.А. Клименко, М.Я. Будаг'янец, Л.Г. Полонський: Навч. посібник. Луганськ: СХУ ім. Даля, 2007. 500 с.
4. Priyadarsini, C.; Ramana, V.V.; Prabha, K.A.; Swetha, S. A review on ball, roller, low plasticity burnishing process. Mater. Today Proc. 2019, 18, 5087-5099.
5. Tang, J.; Luo, H.Y.; Zhang, Y.B. Enhancing the surface integrity and corrosion resistance of Ti-6Al-4V titanium alloy through cryogenic burnishing. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2017, 88, 2785-2793.
6. Swirad, S.; Wdowik, R. Determining the effect of ball burnishing parameters on surface roughness using the Taguchi method. Procedia Manuf. 2019, 34, 287-292
7. Мелконов Г.Л. К вопросу определения выбора режущего инструмента для обработки сфер запорной арматуры / Г. Л. Мелконов // Машинобудування. 2015. № 16. С. 83-88.

### References

1. Vasylychenko, Ya.V. Razrabotka tehnologicheskyyh system dlja obrabotky krupnogabarytnyyh detalej na baze adaptyvnyyh mnogocelevyih tjazhelyyh stankov / Ya.V. Vasylychenko, T.A. Sukova, M.V. Shapovalov // Visnyk SevNTU. Zb. nauk. pr. Serija : Mashynopryladobuduvannja ta transport. Sevastopol' : SevNTU. 2013. Vyp. 139. S. 28-32.
2. Rjabcev Ya.A. Naplavka. Tehnologyy, materyalyy, oborudovanye / Ya.A. Rjabcev, Ya.A. Kondrat'ev, E.F. Perepletchikov, Ju.M. Kuskov. Kyev: YЭС ym. E.O. Patona NANU, 2015. 402 s
3. Harlamov Ju.O. Obrobka detalej pry vidnovlenni i zmicnenni / Ju.O. Harlamov, S.A. Klymenko, M.Ja. Budag'janc, L.G. Polons'kyj: Navch. posibnyk. Lugans'k: SNU im. Dalja, 2007. 500 s.
4. Priyadarsini, C.; Ramana, V.V.; Prabha, K.A.; Swetha, S. A review on ball, roller, low plasticity

burnishing process. Mater. Today Proc. 2019, 18, 5087-5099.

5. Tang, J.; Luo, H.Y.; Zhang, Y.B. Enhancing the surface integrity and corrosion resistance of Ti-6Al-4V titanium alloy through cryogenic burnishing. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2017, 88, 2785-2793.
6. Swirad, S.; Wdowik, R. Determining the effect of ball burnishing parameters on surface roughness using the Taguchi method. Procedia Manuf. 2019, 34, 287-292
7. Melkonov G.L. K voprosu opredelenija vybora rezhushhego instrumenta dlja obrabotki sfer zapornoj armatury / G. L. Melkonov // Mashinobuduvannja. 2015. № 16. S. 83-88.

### Melkonov H.L. Research and analysis of the micro-hardness of the finished surface of the rolled shafts.

*In this paper, scientific research is aimed at studying the microhardness of the surface layer of the roll, as one of the important problems in machine building. The microhardness and depth of the surface layer are one of the main indicators of the quality of the surface, which play one of the most important roles in the final treatment of the finished product. Proceeding from this issue, the research and study of the microhardness of the machined surface of lathe shafts during fine turning with forced-rotating cup recesses is relevant and in demand in modern production, and especially in mechanical engineering. The studies carried out in the work provided an opportunity to determine the degree and depth of the riveted layer depending on the cutting modes and the angle of intersection of the axes of the tool and the workpiece. Similarly, the analysis of the results obtained as a result of the research is made and presented in the work. The paper shows the values of the depth of the riveted layer and the degree of riveting obtained under the parameters of the cutting modes and the crossing angle. Also, the paper derives an empirical formula for the dependence of the degree of the riveted layer on the cutting modes and the crossing angle, which makes it possible to solve the work's purpose. Since when supplying grade mill equipment, machine-building companies and enterprises transfer to the client the calibration of rolls for the expected profile assortment, developed by their own calibration bureaus, they do not deal with the issue of calibration data and do not always have such properties as universality, economy and flexibility, which is important when final completion of the technological process. Therefore, the main task of engineers in the field of mechanical engineering is to provide the client with equipment for the stable production of final products, while at the same time shortening the time of introduction into operation as much as possible. Therefore, the attention paid to the research and study of the microhardness of the machined surface of the rolling shafts in the case of use for the finishing of cup cutters that are forced to rotate is an urgent issue. The study of microhardness was carried out*

---

*depending on the cutting modes and the angle of intersection of the axes of the shaft and the tool.*

**Keywords:** *rental roller, cup forcedly revolved chisel, microhardness, depth of layer.*

**Мелконов Григорій Леонідович** – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (м. Київ), [g.melkonov78@snu.edu.ua](mailto:g.melkonov78@snu.edu.ua)

Стаття подана 28.02.2024.