

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-355-75>
УДК 621.735.34

СЕРДЮК ОЛЬГА

Вінницький національний технічний університет
<https://orcid.org/0009-0001-0082-2990>
e-mail: karvatkoolga@ukr.net

БЕРЕЗЮК ОЛЕГ

Вінницький національний технічний університет
<https://orcid.org/0000-0002-2747-2978>
[berezivkov@vntu.edu.ua](mailto:bereziykov@vntu.edu.ua)

ЛІТВИНОВ ВЛАДИСЛАВ

Вінницький національний технічний університет
<https://orcid.org/0009-0003-8510-4158>
e-mail: vlad.litvinov1297@gmail.com

ВАДИМ ПІВТОРАК

Вінницький національний технічний університет
<https://orcid.org/0009-0000-6923-767X>
e-mail: vadimpivtorak087@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОБКОЧУВАННЯ НА ЯКІСТЬ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ

В роботі наведено результати досліджень використаного ресурсу пластичності при обкочуванні тороїдальним роликом із гвинтовою робочою поверхнею.

Ключові слова: напруження, деформації, пластичність, обкочування роликом, напружено-деформований стан.

SERDIUK OLGA

BEREZIUK OLEG

LITVINOV VLADISLAV

PIVTORAC VADUM

Vinnitsia National Technical University

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE ROLLING PROCESS ON THE QUALITY OF THE SURFACE LAYER

The quality of the surface obtained after surface plastic deformation depends on many factors: feed, force, diameter of the roller or spool, the condition of the workpiece surface before machining and many others. This raises the question of determining the optimal machining modes, and for this it is necessary to study and evaluate the influence of factors on the quality of the surface layer. Currently, two main criteria can be considered generally accepted by which the effectiveness of surface plastic deformation of shafts is assessed for the purpose of their strengthening: the magnitude and distribution of residual stresses in the cross section, as well as the physical strengthening of the material during hardening.

Since during surface plastic deformation, plastic loosening processes occur simultaneously with the hardening processes, the limiting value of the intensity of deformations should not exceed the values at which the value of the used plasticity resource in the surface layer takes values within 0.4...0.6.

According to the modeling results, graphs were obtained that allow taking into account simultaneously the influence of changes in feed, processing effort, and workpiece rotation frequency on the resulting roughness of the part and the used plasticity resource. This allows you to choose processing modes in which it is possible to provide the specified values of the roughness parameters and not exceed the used plasticity resource, and therefore obtain parts that can be operated.

The feasibility of choosing the depth of the plastically deformed layer depending on the diameter of the hardened shaft in the range of 0.01 – 0.05 was confirmed, which ensures a sufficiently high efficiency of PPD in relation to fatigue strength. It is shown that the best results occur at depths close to the upper limit of the specified limit, i.e. up to 0.05. In addition, the obtained results of such modeling allow us to recommend processing modes depending on the initial roughness, the material of the part and the required roughness and hardness of the surface layer of the part

Keywords: stress, deformations, plasticity, deformation of roller, the stress-strain state.

Стаття надійшла до редакції / Received 28.05.2025

Прийнята до друку / Accepted 26.06.2025

Постановка проблеми

Якість отримуваної після поверхневої пластичної деформації (ППД) поверхні, залежить від багатьох факторів: подачі, зусилля, діаметра ролика або кульки, стан поверхні заготовки перед обробкою і багато інших. Тому виникає питання визначення оптимальних режимів обробки, а для цього необхідно вивчити і оцінити вплив факторів на якість поверхневого шару.

Аналіз останніх джерел

В даний час можна вважати загальновизнаними два основних критерії, за якими оцінюється ефективність поверхневого пластичного деформування (ППД) валів з метою їх зміцнення, – це величина і розподіл залишкових напружень у поперечному перерізі, а також фізична зміцнення матеріалу при наклепів. Зазначені фактори однозначно визначаються фізико-механічними властивостями матеріалу деталі, інтенсивністю пластичної деформації ϵ_j і глибиною z_s її поширення в наклепаному шарі. Враховуючи саме ці та деякі інші фактори побудовано одне з рішень задачі оптимізації режимів ППД деталей типу валів,

викладене в роботах [1, 2]. Запропоноване у них рішення доведено до практичного застосування й ґрунтується на припущенні про вирішальну роль деформаційного чинника при зміцнюючій обробці деталей ППД. Воно полягає в тому, що найбільшій ефективності від застосування цього виду обробки, оцінюваної максимальним збільшенням межі витривалості $\Delta\sigma$ -1 валів, можна домогтися, якщо в процесі ППД контролювати інтенсивність деформації $\epsilon_{j,0}$ поверхневого шару.

Так як при поверхневій пластичній деформації одночасно з процесами зміцнення йдуть процеси пластичного розрихлення, то граничне значення інтенсивності деформацій ϵ_p не повинно перевищувати значень, при яких величина використаного ресурсу пластичності в поверхневому шарі приймає значення в межах $\psi = 0,4 \dots 0,6$. Це обумовлено тим, що при $\psi \geq 0,6$ в поверхневому шарі металу виникають мікротріщини, які при експлуатації деталі є концентраторами напружень і тому значно зменшують границю витривалості матеріалу поверхневого шару металу σ -1 [3-5].

При цьому було встановлено, що при будь-якій наперед заданій і потім реалізованій в процесі ППД глибині z_s наклепу інтенсивність пластичної деформації $\epsilon_{j,0}$ поверхневого шару визначається в основному його фізико-механічними властивостями і геометричними розмірами валу і зміцнюючих інструментів: тороїдального ролика або кульки.

Метою роботи є: дослідження шорсткості поверхневого шару металу заготовки пластично зміцненого обкочуванням роликком на основі розрахованого використаного ресурсу пластичності матеріалу при немонотонній деформації

Виклад основного матеріалу

На основі досліджень [1, 2, 5] по формуванню нерівностей поверхні при різних методах обробки установлені фактори, які найбільше впливають на шорсткість поверхні:

$$R_z = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, \quad (1)$$

де h_1, h_2, h_3, h_4 – складові профіля жорсткості, обумовлені, відповідно, геометричними параметрами інструменту, коливанням інструменту, деформацією металу, що деформується, шорсткістю поверхні інструменту.

Таким чином, розрахункова висота нерівностей поверхні R_z для поверхневого пластичного деформування, якщо інструмент створює круглу або еліптичну площадки контакту, може бути представлена:

$$h_{pi} = R_{p,0} \left\{ \frac{150P(1+f^2)^{0.5}}{\pi R t_{mo} H_{\mu} \left[\frac{180 - \arccos(s - a_{pi})/a_{pi}}{180} (h_{pi} - h_{ip}) + 2h_{ip} \right]} \right\}^{0.5} \quad (2)$$

де P – робоче зусилля, f – коефіцієнт тертя, a_{pi} – радіус пластичного відбитка, h_{pi} – глибина вдавлення інструмента в оброблювану поверхню, H_{μ} – поверхнева мікротвердість, $R_{p,0}$, t_{mo} – вхідні параметри шорсткості, прийняті $R_{p,0} = 0,65R_{z0}$, $t_{mo} = 0,45$.

Вплив подачі S на складові параметри шорсткості R_z при обкочуванні і вихідну шорсткість після точіння R_{z0} приведено на рисунку 1. Графіки дають наявне уявлення про характер і ступінь впливу подачі на складові профілю шорсткості, які обумовлені геометричними параметрами інструменту $h_1 = h_{геом.}$, деформацією матеріалу, що обробляється $h_3 = R_{z0} - h_{pi}$, шорсткістю ріжучих кромek інструменту $h_4 = R_{in} = 0,6$ мкм. Результати розрахунків свідчать про те, що зі збільшенням подачі всі складові параметра шорсткості, в тому числі і вихідна шорсткість, збільшуються.

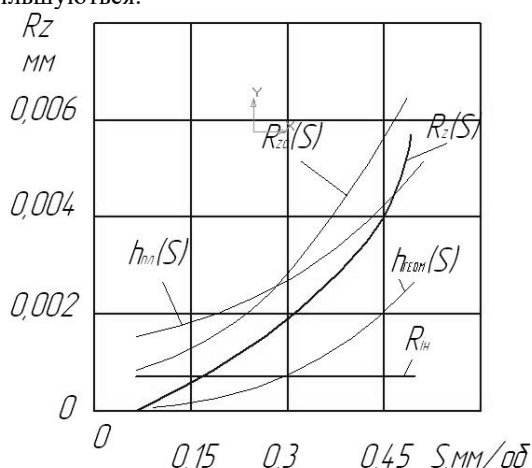


Рис. 1 – Вплив подачі S на складові параметра шорсткості при обкочуванні

Ґрунтуючись на відомих результатах моделювання процесів ОМТ методом скінчених елементів [3], для розв'язку задачі пластичного деформування поверхневого шару заготовки можна використовувати програму LS-DYNA [4,5]. Дана програма дозволяє моделювати напружено-деформований стан під час пластичного формозмінення матеріалів, взаємодію контактних поверхонь інструмента та заготовки з врахуванням тертя. Для візуалізації результатів імітаційного моделювання та їх наступного аналізу використовували препроцесор

LS-PREPOST, що входить до складу пакету LS-DYNA. Це дозволило визначити головні компоненти тензора напружень в осередку деформації.

Інтенсивність напружень визначали за формулою:

$$\sigma_u = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2} \quad (3)$$

Ресурс пластичності розраховували за критерієм Г.А. Смірнова-Аляєва:

$$\psi = \frac{e_u}{e_p} \quad (4)$$

При цьому значення ступеня деформації e_u знаходили по тарувальному графіку твердість HV – ступінь деформації e_u – інтенсивність напружень.

Отримані результати по глибині поверхневого шару показані на рис. 2-3.

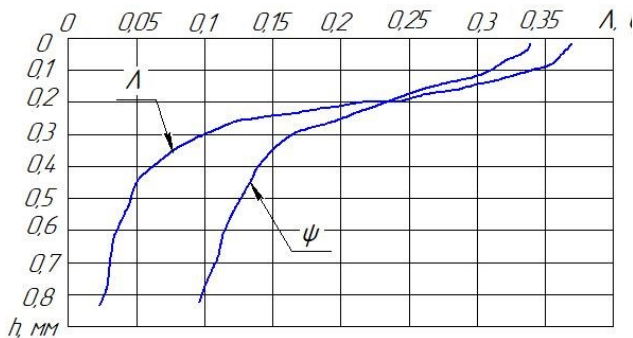


Рис. 2 – Розподіл ступені деформації зсуву і ступені вичерпаного ресурсу пластичності по глибині при зусиллі обробки 100Н, подачі 0,07 мм/об, частоті обертання 630 об/хв., профільному радіусі ролика 5 мм

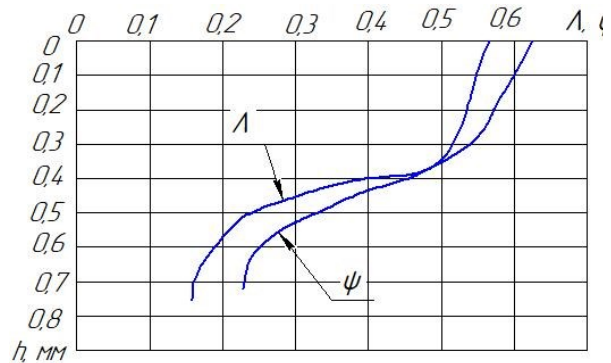


Рис. 3 – Розподіл ступені деформації зсуву і ступені вичерпаного ресурсу пластичності по глибині при зусиллі обробки 400Н, подачі 0,07 мм/об, частоті обертання 630 об/хв., профільному радіусі ролика 5 мм

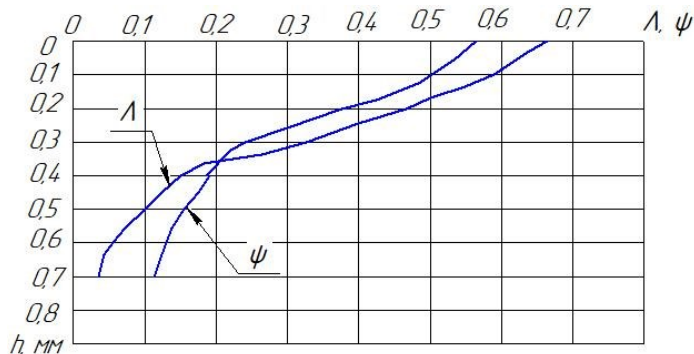


Рис. 4 – Розподіл ступені деформації зсуву і ступені вичерпаного ресурсу пластичності по глибині при зусиллі обробки 300Н, подачі 0,07 мм/об, частоті обертання 630 об/хв., профільному радіусі ролика 5 мм

Отримані графіки дозволяють враховувати одночасно вплив зміни подачі, зусилля обробки, і частоти обертання заготовки на отримувану шорсткість деталі та використаний ресурс пластичності. Це дозволяє обрати режими обробки, при яких можна забезпечити задані значення параметрів шорсткості і не перевищити використаний ресурс пластичності, а отже отримати деталі, які можуть експлуатуватися.

Висновки

Підтверджено доцільність вибору глибини пластично деформованого шару в залежності від діаметра зміцнюваного валу в інтервалі 0,01 – 0,05, що забезпечує достатньо високу ефективність ППД відносно втомної міцності. При цьому показано, що найкращі результати мають місце при глибинах, близьких до верхньої межі вказаної границі, тобто до 0,05. Крім того отримані результати такого моделювання дозволяють рекомендувати режими обробки в залежності від вихідної шорсткості, матеріалу деталі та необхідної шорсткості і твердості поверхневого шару деталі.

Література

1. Сердюк О.В. Оцінка пластичності поверхневого шару металу при немонотонному навантаженні / О. В. Сердюк, І. О. Сивак, С. І. Сухоруков, Р.І.Сивак // Наукові нотатки. – Луцьк, 2016. – Вип. 54. – С. 277–281
2. Сердюк О.В. Дослідження процесу обкочування роликом із гвинтовою робочою поверхнею /О.В.

Сердюк, С.І. Сухоруков, В.В. Сердюк, О.А. Корчинський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2021. – № 5(3019). – С. 66-68

3. О. В. Грушко Визначення силових характеристик процесів обробки тиском методом еквівалентної оцінки / О. В. Грушко, В. В. Кухарь, Т. І. Молодецька // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Збірник наукових праць. - Луганськ, 2012.- №31. - С. 218-226

4. Bereziuk O.V. Dependence of wear of friction pairs of the mechanism for loading solid household waste into a garbage truck on the characteristics of antifriction materials/ Bereziuk O.V., Savulyak V.I., Kharzhevskiy V.O., Serdiuk O.V., Yavorskiy V.Ye. // Problems of Tribology. – 2024. – No 29(3/113). – P. 24-30.

5. Сердюк О.В. Напружено-деформований стан в осередку деформації при вдавлюванні тороїдального ролика / О. В. Сердюк, І. О. Сивак, М. А. Карватко, // Наукові нотатки: міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки») – Луцьк, 2013. – Вип. 40. – С. 251–256.

References

1. Serdiuk O.V. Otsinka plastychnosti poverkhnevoho sharu metalu pry nemonotonnomu navantazheni/ O. V. Serdiuk, I. O. Syvak, S. I. Sukhorukov, R.I.Syvak // Naukovi notatky. – Lutsk, 2016. – Vyp. 54. – S. 277–281

2. Serdiuk O.V. Doslidzhennia protsesu obkochuvannia rolykom iz hvyntovoiu robochoiu poverkhneu /O.V. Serdiuk, S.I. Sukhorukov, V.V. Serdiuk, O.A. Korchynskiy // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2021. – № 5(3019). – S. 66-68

3. О. В. Грушко Vyznachennia sylovykh kharakterystyk protsesiv obrobky tyskom metodom ekvivalentnoi otsinky / О. В. Грушко, В. В. Кухарь, Т. І. Молодецька // Resursozberihaiuchi tekhnologii vyrobnytstva ta obrobky tyskom materialiv u mashynobuduvanni: Zbirnyk naukovykh prats. - Luhansk, 2012.- №31. - S. 218-226

4. Bereziuk O.V. Dependence of wear of friction pairs of the mechanism for loading solid household waste into a garbage truck on the characteristics of antifriction materials/ Bereziuk O.V., Savulyak V.I., Kharzhevskiy V.O., Serdiuk O.V., Yavorskiy V.Ye. // Problems of Tribology. – 2024. – No 29(3/113). – P. 24-30.

5. Serdiuk O.V. Napruzhenno-deformovanyi stan v oseredku deformatsii pry vdavliuvanni toroidalnoho rolyka / О. В. Сердюк, І. О. Сивак, М. А. Карватко, // Naukovi notatky: mizhvuzivskiy zbirnyk (za haluziamy znan «Tekhnichni nauky») – Lutsk, 2013. – Vyp. 40. – S. 251–256.