International periodic scientific journal

ONLINE

www.sworldjournal.com

D.A.Tsenov Academy of Economics - Svishtov (Bulgaria)

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
(ICV: 73)
GOOGLESCHOLAR

SWorld Journal

Issue №37
Part 1
May 2026

Published by:
SWorld & D.A. Tsenov Academy of Economics, Svishtov,Bulgaria

CONTENTS

Innovative engineering, technology and industry

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj37-01-010 3
IMPROVEMENT OF THE DESIGN OF A VORTEX APPARATUS FOR THE THERMAL PROCESSING OF RAW MATERIALS FOR THERMAL INSULATION MATERIALS
Sokolovska I.Y, Pikalov D.D.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj37-01-022 13
SHELF-LIFE MANAGEMENT OF CONFECTIONERY PRODUCTS
Nykytiuk I.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj37-01-024 23
FOOD WASTE MINIMIZATION TECHNOLOGIES AS THE FOUNDATION OF A ZERO-WASTE PRODUCTION SYSTEM IN RESTAURANT KITCHENS
Moroz S.E., Kalashnyk O.V., Kuznietsov R.V.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj37-01-038 30
THERMOCHEMICAL APPROACHES TO IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF FLOATING STORAGE AND REGASIFICATION UNITS
Nikonchuk S.V.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj37-01-039 45
MODERNIZATION OF THE HEATING SURFACES OF THE BOILER UNIT'S AIR HEATER IN ORDER TO ENSURE ITS EFFICIENT OPERATION IN MODERN CONDITIONS
Hlushchenko O., Chepiga M.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj37-01-050 52
AMORPHOUS OXIDE AND CHALCOGENIDE SEMICONDUCTORS IN RADIATION-RESISTANT COMMUNICATION SYSTEMS
Baraban I.O.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj37-01-054 61
PREDICTION OF EQUIPMENT FAILURES IN METAL CASTING
Fursa O., Svyrydov S.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj37-01-069 66
INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF DEFORMATION RATE ON THE PLASTICITY OF STEELS DURING DEFORMATION
Ivankova O.V., Fedin V.O., Ochnev O. V., Pidgorny Ya.V.

https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj37-01-069
DOI: 10.30888/2663-5712.2026-37-01-069

УДК 621.787

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF DEFORMATION RATE ON THE PLASTICITY OF STEELS DURING DEFORMATION

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ НА ПЛАСТИЧНІСТЬ СТАЛЕЙ ПРИ ДЕФОРМУВАННІ

Ivankova O.V. / Іванкова О. В.
c. t. s. as. prof / к. т. н., доц.
ORCID ID (0000-0003-1825-0262)
ResearcherID (Q-6470-2016)
Fedin V.O./ Федін В.О.
PhD student /здобувач на третьому (освітньо-науковому) рівні вищої освіти
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-6646-5906,
Ochnev O. V./ Очнєв О. В.
PhD student /здобувач на третьому (освітньо-науковому) рівні вищої освіти
Pidgorny Ya.V./Підгорний Я.В.
PhD student /здобувач на третьому (освітньо-науковому) рівні вищої освіти
Poltava State Agrarian University, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36000, Ukraine
Полтавський державний аграрний університет, Полтава, в. Сковороди 1/3, 36003

Анотація. *У роботі розглянуто питання підвищення експлуатаційної надійності деталей машин шляхом застосування методів пластичного деформування. Проведено аналіз сучасних досліджень у галузі пластичної деформації металів та визначено основні фактори, що впливають на процес деформування і формування властивостей поверхневого шару деталей.*

Досліджено вплив швидкості деформації на пластичність сталей та параметри процесу вібраційного деформування. Встановлено, що швидкість деформації суттєво впливає на характер перебігу пластичної деформації та формування напружено-деформованого стану металу.

Для визначення математичної залежності величини пластичної деформації від технологічних факторів реалізовано повний факторний експеримент типу (2^4). Як основні фактори дослідження прийнято припуск, кут ухилу пуансона, швидкість деформування та довжину зразка. Проведено статистичну обробку результатів експерименту та отримано рівняння регресії, яке адекватно описує досліджуваний процес.

У результаті аналізу встановлено, що найбільший вплив на величину пластичної деформації має довжина зразка, а також взаємодія швидкості деформування та довжини зразка. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації режимів вібраційного деформування та підвищення довговічності деталей машин.

Ключові слова: *технологія, пластичне деформування, швидкість деформації, повнофакторний експеримент, рівняння регресії, зміцнення поверхні, експлуатаційна надійність деталей машин.*

Постановка проблеми

Розробка технологічних рішень для підвищення експлуатаційної надійності деталей машин забезпечує збільшення ресурсу техніки, зниження ремонтних витрат і підвищення ефективності експлуатації. Основними показниками

надійності є міцність, зносостійкість, вібростійкість і термічна стійкість, які формуються завдяки вибору конструкційних матеріалів та методів зміцнення.

Для виготовлення відповідальних деталей у машинобудуванні переважно застосовують сталі, чавуни та сплави кольорових металів, що в процесі роботи зазнають дії механічних, теплових і хімічних навантажень.

Значна частина деталей виготовляється методами пластичного деформування, які забезпечують ефективне формоутворення та зміцнення матеріалу. Пластичне деформування супроводжується незворотними змінами кристалічної структури металу, виникненням залишкових деформацій і деформаційним зміцненням [1, 2].

Метою досліджень є - проведення аналізу сучасного стану досліджень напруження деформованого металу; вивчення впливу швидкості деформації на пластичність сталей з метою визначення ефективної технології обробки деталей.

Результати досліджень

Ще на межі 18-19 сторіч проводилися теоретичні дослідження, на основі яких були отримані аналітичні залежності напруження текучості від швидкості деформації при сталих зовнішніх факторах. температурі і ступені деформації. Такі дослідження проводив зокрема видатний вчений Людвіг Прандтль.

У другій половині дев’ятнадцятого сторіччя видатним французьким інженером-механіком Анрі Треско почалося вивчення поведінки металу при пластичній деформації. Розроблена ним теорія максимальних дотичних напружень стала основою для інженерних розрахунків на міцність

М.М. Давиденков вивчав пластичну деформацію і міцність у складному напруженому стані, втому металів, методику досліджень залишкових напружень [5, 6]

Визначні досягнення української школи пластичного деформування та обробки металів тиском у моделюванні процесів деформації, впливу на підвищення зносостійкості, поверхневе зміцнення. Визначні дослідники: О.В. Дивдик, Д.В. Павленко, В.В. Загребельний, Р. М. Горбатюк, І. Ю. Ростоцький, успішно займаються дослідженнями параметрів технологій відновлення деталей

машин методами поверхневого пластичного деформування.

Поняття швидкості деформації має ключову роль у теорії пластичності, а також при дослідженні поведінки металів у процесі деформування.

Зміна величини швидкості деформації чинить великий плив на процес деформування: велика швидкість деформації може викликати крихке руйнування, а низька швидкість дозволяє матеріалу текти пластично.

У теорії пластичного деформування розрізняють поняття швидкості деформування, тобто швидкості руху деформуючого інструменту та швидкості деформації як швидкості зміщення точок заготовки в процесі деформації [2, 7].

Швидкість деформації впливає на інтенсивність зміни розмірів заготовки.

Отже, суть поняття швидкості деформації, це, зміна деформації у часі. Тому, залежно від форми та розмірів оброблювальної заготовки в умовах однакової швидкості деформування швидкість деформації може бути різною.

Швидкістю деформування називають швидкість ходу інструмента, у нашому разі - швидкість опускання пуансона.

Швидкість деформування виражається залежністю:

$$V_l = \frac{dl}{dt} \tag{1}$$

Швидкість деформації, тобто зміни ступеня деформації U_l в одиницю часу, можна представити у вигляді:

$$W_l = \frac{dl}{dtl} \tag{2}$$

де $\frac{dl}{dt} = V_l$,

Записуємо швидкість деформації:

$$W_l = \frac{V_l}{l} \tag{3}$$

Тому можна зробити висновок, що швидкість деформації залежить від швидкості деформування та розмірів оброблюваної заготовки в напрямку деформації [1, 2, 5].

З метою отримання управління регресії, що адекватно описує досліджуваний процес, проводилися статистична обробка результатів планування експерименту .

Як функцію відгуку прийнято величину пластичної деформації після вібраційного деформування.

Основними чинниками, які впливають якість відновлення методом деформування, є: припуск, кут ухилу пуансона, швидкість деформування і довжина зразка [5, 6].

Величину відносної деформації порожнистого циліндричного зразка описує функція:

$$\delta = f(\Pi, \beta, v, l) \quad (4)$$

Для встановлення математичної залежності величини відносної деформації після деформування від визначених факторів реалізовано повний факторний експеримент типу 2^4. Межі варіювання факторів обрано на основі результатів попередніх досліджень [8].

Для кожного досліджуваного фактора визначено основний рівень та інтервали варіювання параметрів (табл. 1).

З метою спрощення запису умов проведення експерименту та подальшої обробки експериментальних даних застосовано кодування рівнів факторів. У кодованому вигляді верхній рівень позначали як +1, нижній - −1, а основний - 0.

Використання кодованих значень факторів забезпечує уніфікацію експериментальної матриці, спрощує статистичну обробку результатів та дає змогу оцінити ступінь впливу окремих факторів і їх взаємодій на параметр відгуку.

Таблиця 1 - Інтервали та рівні варіювання факторів

Найменування фактору	Код	Інтервал варіювання	Рівні факторів		
			нижній -I	основний 0	верхній +I
Припуск, мм	а	0,1	0,1		0,5
Кут ухилу пуансону, град.	в	1^0	10^0	11^0	12^0
Швидкість деформування, м/с	с	0,01	0,02	0,03	0,04
Довжина зразка, мм	д	25	50	100	100

Авторська розробка

Матриця планування повного факторного експерименту (ПФЕ) 2^4 наведена у таблиці 2.

Таблиця 2 - Матриця планування ПФЕ 2^4

Номер досліду	а (П)	в (β)	Кодове позначення експерименту	с (v)	Кодове позначення експерименту	д (l)	Кодове позначення експерименту	Натуральні значення факторів				
								а	б	с	д	Y
1	+	+	ав	+	авс	+	авс	0,5	12	0,03	100	20
2	-	+	в	+	вс	+	вс	0,1	12	0,03	100	20
3	+	-	а	+	ас	+	ас	0,5	10	0,02	100	25
4	-	-	(I)	+	с	+	с	0,1	10	0,02	100	25
5	+	+		-	ав	+	ав	0,5	12	0,03	100	30
6	-	+		-	в	+	в	0,1	12	0,02	100	30
7	+				а	+	а	0,5	10	0,02	100	35
8	-	-		-	(I)	+		0,1	10	0,02	100	35
9	+	+		+		-	авс	0,5	12	0,03	50	40
10	-	+		+		-	вс	0,1	12	0,03	50	40
11	+	-		+		-	ас	0,5	10	0,03	50	45
12	-	-		+		-	с	0,1	10	0,03	50	45
13	+	+		-		-	ав	0,5	12	0,02	50	40
14	-	+		-		-	в	0,1	12	0,02	50	40
15	+	-		-		-	а	0,5	10	0,02	50	35
16	-	-		-		-	(I)	0,1	10	0,02	50	30

Авторська розробка

Кожен дослід проводили з триразовою повторюваністю, що забезпечувало підвищення достовірності та відтворюваності отриманих результатів. Послідовність виконання експериментів визначали за таблицею випадкових чисел, що дало змогу мінімізувати вплив систематичних похибок і випадкових факторів на результати дослідження.

З метою отримання рівняння регресії, яке адекватно описує досліджуваний процес, виконували статистичну обробку результатів планування експерименту. Обробка експериментальних даних включала оцінку значущості коефіцієнтів регресії, перевірку відтворюваності результатів та аналіз адекватності математичної моделі.

Рівняння регресії:

$$Y = 33{,}44 + 0{,}31a - 0{,}94b - 0{,}94c - 5{,}94d - 0{,}31ab - 0{,}31ac - 0{,}31 - 1{,}56bc - 1{,}56bd - 4{,}06cd + 0{,}31abc + 0{,}31abd + 0{,}31acd + 1{,}56bcd - 0{,}31abcd \quad (2)$$

Отже, результати аналізу свідчать, що визначальний вплив на параметр Y чинить фактор довжини зразка (d), оскільки відповідний коефіцієнт регресії має найбільше абсолютне значення: |bd| = 5,94. Це вказує на високу чутливість функції відгуку до зміни геометричних параметрів зразка.

Суттєвий вплив також має взаємодія факторів cd - швидкість деформування × довжина зразка, для якої значення коефіцієнта становить bcd = -4,06. Отриманий результат свідчить про наявність комплексного впливу зазначених параметрів на характер перебігу деформаційних процесів.

Інші досліджувані фактори характеризуються значно меншими значеннями коефіцієнтів регресії, що вказує на їх менш суттєвий вплив на функцію відгуку в межах прийнятого інтервалу варіювання.

Відомо, що швидкість деформації при холодній обробці металів тиском впливає на пластичність сплавів меншою мірою порівняно з гарячим деформуванням, оскільки в умовах холодної деформації практично відсутні процеси розміцнення та рекристалізації матеріалу [7, 9].

Інтенсивність впливу швидкості деформування є найбільшою в області низьких швидкостей, тоді як зі збільшенням швидкості деформації її вплив поступово зменшується, що може бути пов’язано зі стабілізацією механізмів пластичної течії матеріалу.

Висновки

У результаті досліджень встановлено вплив швидкості деформації та технологічних параметрів на процес пластичного деформування металу під час відновлення деталей машин. Визначено, що ефективність процесу залежить від умов деформування, геометрії заготовки та режимів обробки.

На основі повнофакторного експерименту типу (2^4) отримано адекватну математичну модель у вигляді рівняння регресії, яка описує залежність

пластичної деформації від припуску, кута ухилу пуансона, швидкості деформування та довжини зразка.

Аналіз регресійної моделі показав, що найбільший вплив на величину деформації має довжина зразка та її взаємодія зі швидкістю деформування. Вплив інших факторів є менш значним.

Встановлено, що зі збільшенням швидкості деформування зростає інтенсивність зміни пластичних властивостей металу, проте при холодному деформуванні цей ефект менш виражений.

Отримані результати можуть бути використані для оптимізації режимів вібраційного деформування та підвищення довговічності деталей машин за рахунок зміцнення поверхневого шару.

Література

1. Афтаназів І.С., Гавриш А.П., Киричок П.О. та ін. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням: Навчальний посібник. Житомир: ЖІТІ, 2001. 516 с.

2. Хітров І.О., Кононогов Ю.А. Відновлення деталей пластичним деформуванням та способи для його здійснення. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки Том 35 (74) № 1 2024. С. 191-196.*

3. Ivankova O., Fedin V. (2025). Research on the restoration of gear pump parts by plastic deformation. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*. 12(43), 175-186. https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.175-186

4. Ivankova O., Kisil Yu., & Fedin V. (2025). Determination of residual stresses during deformationof cylindrical parts. Modern engineering and innovative technologies, 38(01), 38-46. DOI: 10.30890/2567-5273.2025-38-01-044 https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit38-01

5. Skvortsov, V. F. Feasibility of the Davidenkov method for investigation of hoop residual stresses in cold expanded cylinders / V. F. Skvortsov, A. Yu. Arlyapov, A. O. Boznak, I. I. Ogol, A. B. Kim // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017 Т. 177. № 012018. С. 1-6.

6. Дудніков І.А. та ін. Теоретичні аспекти впливу швидкості деформації на деформування під час відновлення деталей машин. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Вип. 45. 2011. Львівська політехніка. Вип. 45. 2011. С. 299-302.

7. Михалевич В. М., Добранюк Ю. В. Моделювання напружено-деформованого та граничного станів поверхні циліндричних зразків при торцевому стисненні : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2013. 180 с.

8. Ковальчук В.В., Моїсеєв Л.М. Основи наукових досліджень: Навчальний посібник. Київ. ВД «Професіонал», 2005. 240 с.

9. Куоккала, В.-Т., Хокка, М. та Ісаков, М. (2024). Динамічна пластичність металів. У М. Хокка (ред.). Динамічна поведінка матеріалів: основи, моделі матеріалів та ефекти мікроструктури (С. 15-49).
Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99153-7.00005-0

References

1. Aftanaziv I.S., Gavrish A.P., Kyrychok P.O. et al. Increasing the reliability of machine parts by surface plastic deformation: Textbook. Zhytomyr: ZHITI, 2001. 516 p.

2. Khitrov I.O., Kononogov Yu.A. Restoration of parts by plastic deformation and methods for its implementation. Scientific notes of the V.I. Vernadsky TNU. Series: Technical Sciences Vol. 35 (74) No. 1 2024. P. 191-196.

3. Ivankova O., Fedin V. (2025). Research on the restoration of gear pump parts by plastic deformation. Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences. 12(43), 175-186. https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.175-186

4. Ivankova O., Kisil Yu., & Fedin V. (2025). Determination of residual stresses during deformationof cylindrical parts. Modern engineering and innovative technologies, 38(01), 38-46. DOI: 10.30890/2567-5273.2025-38-01-044 https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit38-01

5. Skvortsov, V. F. Feasibility of the Davidenkov method for investigation of hoop residual stresses in cold expanded cylinders / V. F. Skvortsov, A. Yu. Arlyapov, A. O. Boznak, I. I. Ogol, A. B. Kim // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017 Т. 177. № 012018. С. 1-6.

6. Dudnikov I.A. et al. Theoretical aspects of the influence of the deformation rate on deformation during the restoration of machine parts. Automation of production processes in mechanical engineering and instrument making. Issue 45. 2011. Lviv Polytechnic. Issue 45. 2011. P. 299-302

7. Mykhalevych V. M., Dobranyuk Y. V. Modeling of stress-strain and limit states of the surface of cylindrical specimens under end compression: monograph. Vinnytsia: VNTU, 2013. 180 p.

8. Kovalchuk V.V., Moiseyev L.M. Fundamentals of Scientific Research: Textbook. Kyiv. Publishing House "Professional", 2005. 240 p.

9. Kuokkala, V.-T., Hokka, M. and Isakov, M. (2024). Dynamic plasticity of metals. In M. Hokka (ed.). Dynamic behavior of materials: fundamentals, material models and microstructure

effects (pp. 15-49). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99153-7.00005-0

Abstract. *The paper considers the issue of improving the operational reliability of machine parts through the application of plastic deformation methods. An analysis of current research in the field of plastic deformation of metals was carried out, and the main factors influencing the deformation process and the formation of surface layer properties of machine parts were determined.*

The influence of deformation rate on the plasticity of steels and the parameters of the vibration deformation process was investigated. It was established that the deformation rate significantly affects the character of plastic deformation and the formation of the stress-strain state of the metal.

To determine the mathematical relationship between the value of plastic deformation and technological factors, a full factorial experiment of the (2^4) type was implemented. Allowance, punch taper angle, deformation rate, and specimen length were selected as the main research factors. Statistical processing of the experimental results was carried out, and a regression equation adequately describing the investigated process was obtained.

The analysis showed that the specimen length, as well as the interaction between deformation rate and specimen length, has the greatest influence on the value of plastic deformation. The obtained results can be used to optimize vibration deformation modes and improve the durability of machine parts.

Keywords: *technology, plastic deformation, deformation rate, full-factorial experiment, regression equation, surface hardening, operational reliability of machine parts.*

Статтю надіслано: 24.05.2026 р.

© Іванкова О.В.