

УДК 669.017:621.73

Пінчук В.Л., Самсоненко А.А., Бобух О.С., Кузьміна О.М., Корнєв С.В., Фролов Я.В.
Дослідження впливу параметрів процесу гарячого пресування
корозійностійких труб на зношування матричних кілець за
допомогою комп'ютерного моделювання

Pinchuk V., Samsonenko A., Bobukh O., Kuzmina O., Korniev S., Frolov Ya.

Investigation of the influence of the hot extrusion parameters of
corrosion-resistant pipes on the matrix rings wear by computer
simulation

Мета. При експлуатації інструменту, зокрема у технологічному процесі пресування корозійностійких труб, одним з основних видів руйнування є зношування. Встановлено, що 85... 90% інструменту, що використовується в процесах обробки тиском, виходить з ладу в результаті зносу і тільки 10 - 15% з інших причин. Зношування – процес руйнування і відділення матеріалу з поверхні інструменту та/або накопичення його залишкової деформації при терті, який проявляється у поступовій зміні розмірів й форми інструменту. Наразі процес зношування та зносостійкість інструменту часто вивчається за допомогою комп'ютерного моделювання. Часто комп'ютерне моделювання використовується також як перший етап перед випробуванням досліджуваного процесу в лабораторних та виробничих умовах.

Методика. Дана робота присвячена моделюванню процесу пресування труб за допомогою ПП QForm UK 10 і дослідженню впливу параметрів технологічного процесу на розподіл тиску та температур на контакті заготовки та матриці для оцінки зносу матриці.

Результати. Теоретично досліджено вплив коефіцієнту витяжки, початкової температури заготовки та швидкості руху прес-штемплеля на зношування матричного кільця та силу пресування під час процесу пресування труб розмірами 60×14 мм та 60×8 мм зі сталі 08X18N10T. Дослідження проведено за методикою повнофакторного експерименту 2³.

Наукова новизна. Отримано регресійні залежності максимальних значень параметрів зношування матриці та сили пресування від вищезазначених факторів. Досліджено розподіл температури, тиску та зношування на робочій поверхні матриці.

Практична значущість. Визначено, що основну долю (≥ 90 %) значення сумарного зношування матриці складає зношування від тиску. Також визначено, що ділянки розподілу максимальних значень зношування та максимальних значень тиску не співпадають. Додатковий аналіз результатів моделювання дозволяє висунути гіпотезу про спільний вплив інтенсивності деформації (або ступеню деформації) та відносної швидкості заготовки на контакті з інструментом на зношування. Дана гіпотеза потребує подальшої теоретичної та експериментальної перевірки.

Ключові слова: пресування, матричне кільце, корозійно-стійкі труби, комп'ютерне моделювання, зношування, параметри деформації

During the operation of the tool, in particular, in the technological process of corrosion-resistant pipes extrusion, one of the main types of destruction is wear. It has been established that 85... 90% of the tool used in metal forming processes fails as a result of wear and tear and only 10 - 15% for other reasons. Wear is the process of destruction and separation of material from the surface of the tool and/or accumulation of its residual deformation due to friction, which manifests itself in a gradual change in the size and shape of the tool. Currently, the wear process and tool wear resistance are often studied using computer simulations. Often, computer simulation is also used as the first stage before testing the researched process in laboratory and production conditions. This work is devoted to the modeling of the pipe extrusion process using QForm UK 10 program and to the study of the influence of technological process parameters on the distribution of pressure and temperatures at the contact of the billet and the matrix to assess the wear of the matrix. The influence of the extrusion coefficient, the initial temperature of the billet, and the velocity of the press stamp on the wear of the die ring and the extrusion force at the production of 60×14 mm and 60×8 mm pipes made of 08X18N10T steel was theoretically investigated. The research was carried out according to the method of the full-factor experiment 2³. The regression dependences of the maximum values of the matrix wear parameters and the extrusion force on the above-mentioned factors were obtained.

The distribution of temperature, pressure and wear on the working surface of the matrix is scientifically justified. It was determined that the main share (≥ 90%) of the value of the total wear of the matrix is wear from pressure. It is also determined that the areas of distribution of maximum values of wear and maximum values of pressure do not coincide. An additional analysis of the simulation results allows to put forward a hypothesis about the joint influence of the intensity of deformation (or the strain) and the relative velocity of the billet in contact with the tool on wear. This hypothesis needs further theoretical and experimental verification.

Key words: extrusion, matrix ring, corrosion-resistant pipes, computer modeling, wear, deformation parameters

Корозійностійкі труби знаходять широке застосування в авіаційній промисловості, ракетобудівництві, атомній енергетиці, суднобудівництві та

інших відповідальних галузях. Їх виготовляють здебільшого методом пресування (екструзії) на трубопрофільних пресах і методом холодної про-

Пінчук В.Л.,	
Самсоненко А.А.,	
Бобух О.С.,	
Кузьміна О.М.,	
Корнєв С.В.,	
Фролов Я.В.	

катки. При пресуванні метал піддається всебічному нерівномірному стисненню, що значно підвищує пластичність металу і дозволяє досягати дуже високих ступенів деформації.

Пресування найбільш доцільно при виробництві труб з високолегованих, малопластичних сталей і сплавів, біметалічних виробів, зі складною конфігурацією перерізу. Приведені позитивні особливості процесу пресування, а також можливість виготовлення труб, порожнистих і суцільних профілів складної форми широкого асортименту з порівняно високою продуктивністю, можливість виробництва невеликих партій продукції зумовили доцільність розширення виробництва на трубопрофільних пресах. В процесі виробництва використовують велику кількість трубного інструменту, вартість якого становить до 25% від вартості переробки всього трубопресового цеху. Від якості пресового інструменту напряму залежить якість труб при пресуванні. Тому він в першу чергу повинен мати точні розміри і високий клас чистоти поверхні. Крім того, він повинен бути зносостійким, мати достатню твердість в поєднанні з пружністю і в'язкістю.

Умови роботи трубопресового інструменту характеризуються значними тепловими та силовими навантаженнями на інструмент. При гарячому пресуванні температура нагріву заготовок з різних матеріалів становить від 400 до 1600°C, а робочі шари інструменту можуть нагріватися до 800°C і вище. Тиск на гравіюру матриць досягає 1000 МПа. Основні причини руйнування матриць і матричних

кілець трубних пресів - це втрата форми і розмірів каналу, крихке руйнування і розгарні тріщини.

Пресовий інструмент можна підрозділити на дві групи. До першої групи відноситься інструмент, що має безпосередній контакт з пресованим металом (матриці, прес-шайби, внутрішні втулки контейнерів, прошивні голки, трубні оправки і матрицетримачі). До другої групи відноситься інструмент, що не має безпосереднього контакту з пресованим металом і служить для передачі зусилля (прес-штемпель, голкотримачі, перехідні патрони, контейнери, проміжні втулки контейнерів, напрямні кільця) [1].

Матриці і матричні кільця складних матриць мають велику кількість різновидів конструкції. Вони працюють у важких температурних умовах, піддаються високому питомому тиску. Розміри і форма робочої поверхні впливають на стійкість матриць [2]. Конструкція матриці для пресування труб містить вхідну ділянку, робоча поверхня якого виконана сполученими опукло-увігнутими поверхнями, калібруючу і вихідну ділянки.

Динамічне навантаження матриць викликає появу тріщин в місці концентрації напружень і температурних градієнтів, а також подальше крихке руйнування. В результаті дії температурних і деформаційних напружень на робочих поверхнях матриць з'являються сітки розгарних тріщин, які поступово розширюються і заповнюються пресованим металом, що в подальшому призводить до руйнування матриць [3] (Рис.1).

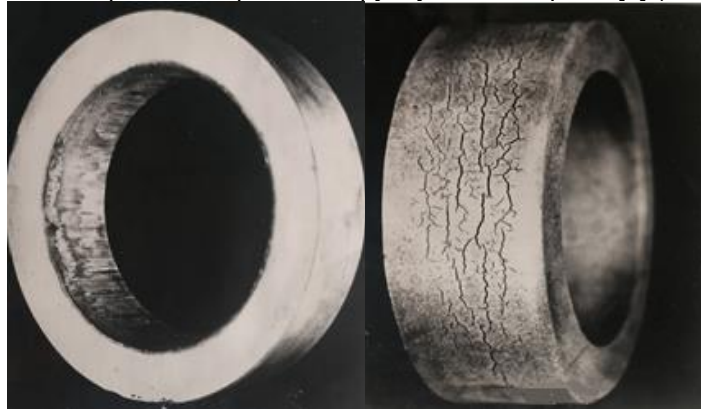


Рисунок 1 - Дефекти матричних кілець

Існує багато шляхів підвищення стійкості трубопресового інструменту. Хіміко-термічна обробка (ХТО) є одним з найбільш ефективних методів підвищення довговічності і надійності інструменту. Це в першу чергу визначається тим, що при ХТО змінюється хімічний склад, структура і властивості поверхневих шарів металу, саме тих, в яких при експлуатації концентруються максимальні напруження, зароджуються і розвиваються тріщини, відбуваються процеси зношування і корозійного розтріскування [4]. За допомогою хіміко-термічної обробки можна підвищити поверхневу твердість, зносостійкість, втомлювальну міцність, корозійну стійкість, окислостійкість деформуючого інструменту. Найчастіше використовуються наступні процеси ХТО – цементація, нітроцементація, азо-

тування, борування, ціанування, оксидування і дифузійне хромування [5-7].

В роботі [8] наведено перспективний спосіб зміцнення інструменту за рахунок насичення його поверхні бором. В результаті на поверхні інструменту утворюються борида, які мають високі зносостійкі і корозійностійкі характеристики, а також жаростійкість і жароміцність. Також в роботі показана ефективність використання з метою зміцнення інструменту електрофізичних способів зміцнення – електроіскрового легування, локального електроіскрового нанесення покриття, електроакустичного нанесення покриття на інструмент.

Найпоширенішим способом зміцнення поверхні матричних кілець є азотування, в результаті проведення якого сталь отримує високу твердість на

поверхні, яка не змінюється при нагріванні до 400...450°C, високі значення опору зношуванню, межі витривалості, корозійної стійкості [9-12]. Іонне азотування (в порівнянні з пічним) має наступні переваги: прискорює дифузійні процеси в 1,5 ... 2 рази; дозволяє отримати дифузійний шар регульованого складу і будови; характеризується незначними деформаціями виробів і високим класом чистоти поверхні; дає можливість азотувати корозійностійкі жароміцні і мартенситно-старіючі сталі без додаткової депасивуючої обробки; значно скорочує загальний час процесу за рахунок зменшення часу нагрівання та охолодження садки; має велику економічність, підвищує коефіцієнт використання електроенергії, скорочує витрату газів; нетоксичне; відповідає вимогам щодо захисту навколишнього середовища. Комбінована обробка матричних кілець, що включає азотування з наступним осадженням керамічних покриттів TiN, TiZrN, TiN-NbN в єдиному технологічному процесі, проводиться з використанням двоступінчастого вакуумно-дугового розряду в вакуумно-дугових установках типу «Булат» (ННЦ ХФТІ) В роботах [11, 12] описано технологію нанесення покриттів для різних видів інструменту з використанням вакуумно-дугового розряду низького тиску і обґрунтовано доцільність використання зносостійких покриттів для підвищення експлуатаційних характеристик інструменту.

В роботах [13-17] розглянуто спосіб підвищення зносостійкості трубопресового інструменту газоплазмовим нанесенням нанопокриттів з сучасних аморфних сплавів.

Газополуменевим напиленням на металеві або неметалеві поверхні можна наносити покриття з порошків будь-якого складу. При цьому найбільш ефективними є покриття на основі порошків зі сплавів, які самофлюсуються, на основі нікелю або заліза Ni-Cr-Si-B-C, Ni-Cr-Si-B і Fe-Cr-Si-B.

У вищезазначених сплавах хімічні елементи В і Si, а також Р і С є аморфізаторами і при загартуванні розплаву забезпечують самофлюсування матеріалу при взаємодії з інструментом.

Завдання дослідження зносостійкості інструменту полягає у встановленні залежності зносу від факторів, що характеризують якість поверхні інструменту, вид мастила та ін. Ці залежності дозволяють оптимізувати технологію виготовлення, умови експлуатації кілець, покращити і прогнозувати їхню роботоспроможність [18-20].

При пресуванні корозійностійких труб на трубопрофільному пресі силою 44,1 МН стійкість матричних кілець зі сталі 5ХЗВЗМФС складає всього 5-7 циклів пресування. Для вивчення впливу параметрів процесу пресування на зношування матричних

кілець цього пресу було виконано математичне моделювання процесу, з використанням методом скінченних елементів. Для цього використовували програмне забезпечення для моделювання процесів пластичної деформації QForm UK 10.

Програмне забезпечення QForm UK використовується для розробки та оптимізації процесів обробки металів тиском і є світовим лідером в моделюванні процесів обробки металів тиском. Програмний комплекс дозволяє моделювати технологічні процеси пластичної деформації з урахуванням факторів нагріву та охолодження металу, в тому числі в процесі деформації, а також при взаємодії заготовки, що деформується, з технологічним інструментом та обладнанням. В основу математичної постановки покладена система рівнянь, які включають рівняння рівноваги, рівняння зв'язку між полем швидкостей матеріальних точок та швидкостей деформації, рівняння зв'язку між напруженням та деформованим станом, умови нестиснення, критерій пластичності, рівняння енергетичного балансу [21-23].

Загальну схему процесу прямого пресування труб наведено на рис.2. Оскільки даний процес є вісесиметричним, то моделювання було виконано у відповідній постановці.

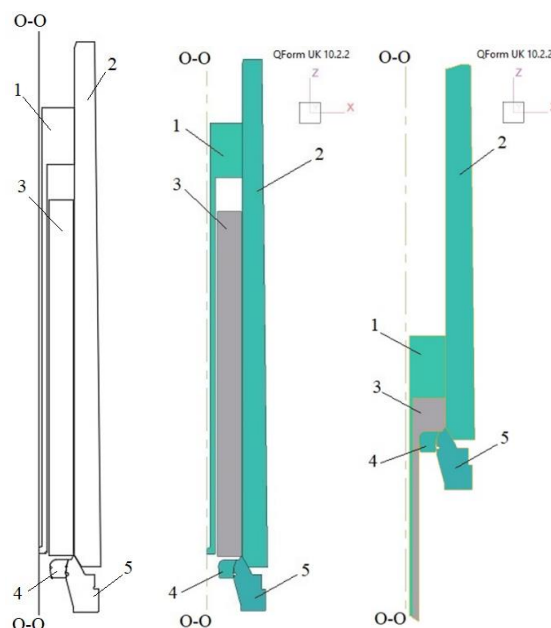
Креслення плоских замкнутих контурів інструменту та заготовки виконано в AutoCAD LT 2023 в форматі *.dxf та завантажено в проєкт (рис. 2).

Основними параметрами заготовки, що враховані в моделі, є розміри заготовки, матеріал, температура нагріву заготовки в пічі та час транспортування від пічі до пресу.

В якості обладнання для деформації було обрано гідравлічний прес, з індивідуальним приводом, з максимальною силою пресування 44,1 МН та номінальною швидкістю руху прес-штемپеля 229 мм/с. Швидкісно-силову діаграму пресу наведено на рис 3.

При розрахунку зношування матриці емпіричні коефіцієнти в формулах для визначення зношування від тиску та від дотичних напружень були прийняті рівними 1 [24]. Це пов'язано з відсутністю інформації про дані коефіцієнти в літературі та складністю їх експериментального визначення. Вищенаведене припущення дозволяє оцінити зношування інструменту на якісному рівні.

Основними параметрами моделювання були наступні: розміри заготовки ($l \times d \times s$) – 950×187×66 мм; розміри труби ($d_1 \times s_1$) – 60×14 мм та 60×8 мм, температура навколишнього середовища – 20 °С; фактор тертя на контакті заготовки з інструментом $m=0,15$ [25]; матеріал заготовки – сталь 08Х18Н10Т (таблиця 1).



O-O – вісь симетрії, 1 – прес-штемпель з оправкою, 2 – контейнер; 3 – заготовка, 4 – матриця, 5 – матричне кільце

Рисунок 2 - Креслення контурів (а), загальний вигляд (б) та вигляд після розрахунку (в) моделі прямого пресування труб (вісесиметрична задача)

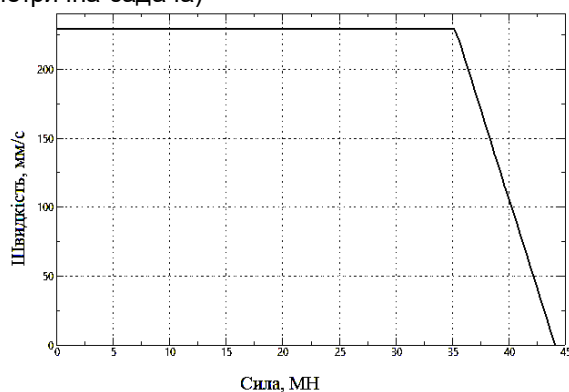


Рисунок 3 - Діаграма потужності горизонтального преса 44,1 МН

Таблиця 1 Хімічний склад сталі 08X18H10T, % по масі (ГОСТ 25054-81)

C	Si	Mn	Cr	Ti	Ni	Cu	S	P
0,07	0,7	1	17	0,45	Не більше			
0,08	0,8	2	19	0,5	11	0,30	0,025	0,025

Реологічні властивості сталі 08X18H10T інтерпретовані у вигляді графіків (рис.4). На вісі абсцис відкладено істинну умовну деформацію, на вісі ординат - опір деформації в МПа.

Варіювалися наступні параметри процесу: коефіцієнт витяжки λ , початкова температура заготовки T та швидкість руху прес-штемпеля V .

Дослідження проводились за планом повнофакторного експерименту 2^3 (таблиця 2).

За результатами моделювання було отримано поля розподілу тиску та температур на контакті інструменту та заготовки, поля зношування інструменту, а також графіки зміни сили пресування під час перебігу процесу (рис.5).

Для дослідження комплексного впливу вищезазначених параметрів процесу в якості цільових функцій оберемо наступні:

$T_{\max}$ – максимальна температура на контакті заготовки та матриці;

$p_{\max}$ – максимальний тиск на контакті заготовки та матриці;

$Wp_{\max}$ – максимальне значення зношування матриці від тиску;

$Wt_{\max}$ – максимальне значення зношування матриці від дотичних напружень;

$P_{\max}$ – максимальна сила пресування під час стабільного перебігу процесу.

В таблиці 3 наведено матрицю планування зі значеннями факторів та визначені за результатами моделювання значення цільових функцій.

Рівняння регресії для повнофакторного експерименту 2^3 в загальному вигляді [26]:

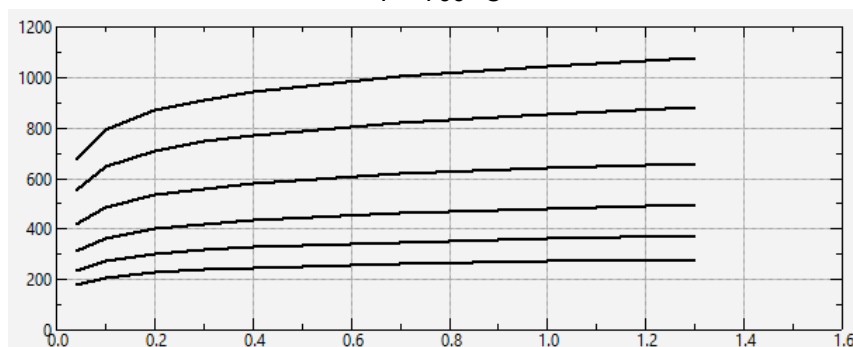
$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + b_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + b_{123} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3,$$

(1)

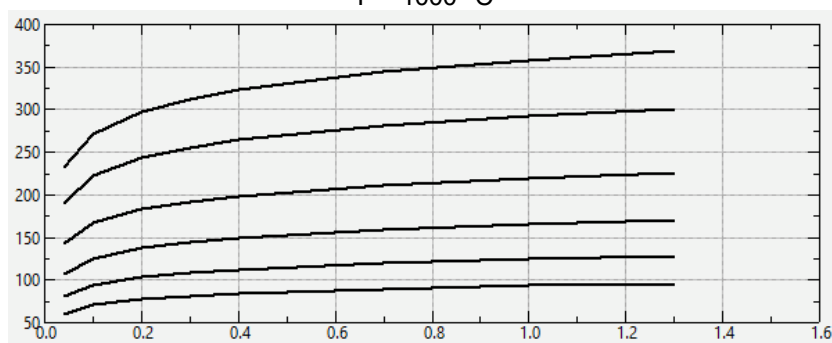
де Y – цільова функція;

$b_0, b_1, \dots, b_{123}$ – відповідні коефіцієнти регресії.

$T = 700^\circ\text{C}$



$T = 1000^\circ\text{C}$



$T = 1200^\circ\text{C}$

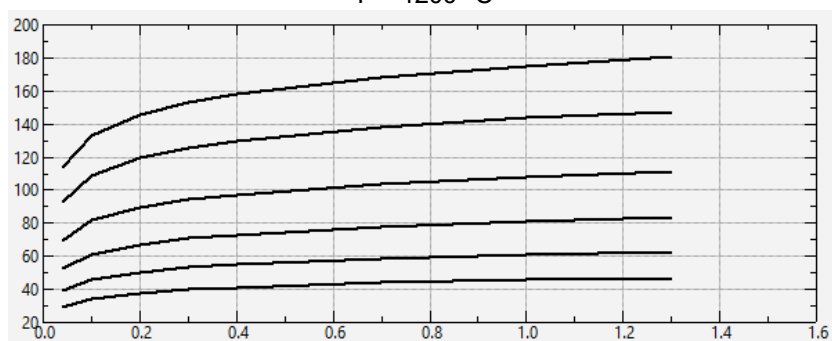


Рисунок 4 – Залежність опору деформації сталі 08X18N10T від температури, ступеню та швидкості деформації (0.01, 0.1, 1, 10, 100 та 500 s^{-1}). На вісі абсцис відкладено істинну умовну деформацію, на осі ординат опір деформації в МПа

Таблиця 2 Матриця планування

Фактори	X_1 λ	X_2 $T, ^\circ\text{C}$	X_3 $V, \text{мм/с}$
Нульовий рівень	14,645	1150	275
Інтервал варіювання	2,805	50	46
Верхній рівень (+)	17,45	1200	321
Нижній рівень (-)	11,84	1100	229
Номер досліджу			
1	+	+	+
2	+	+	-
3	+	-	+
4	+	-	-
5	-	+	+
6	-	+	-
7	-	-	+
8	-	-	-

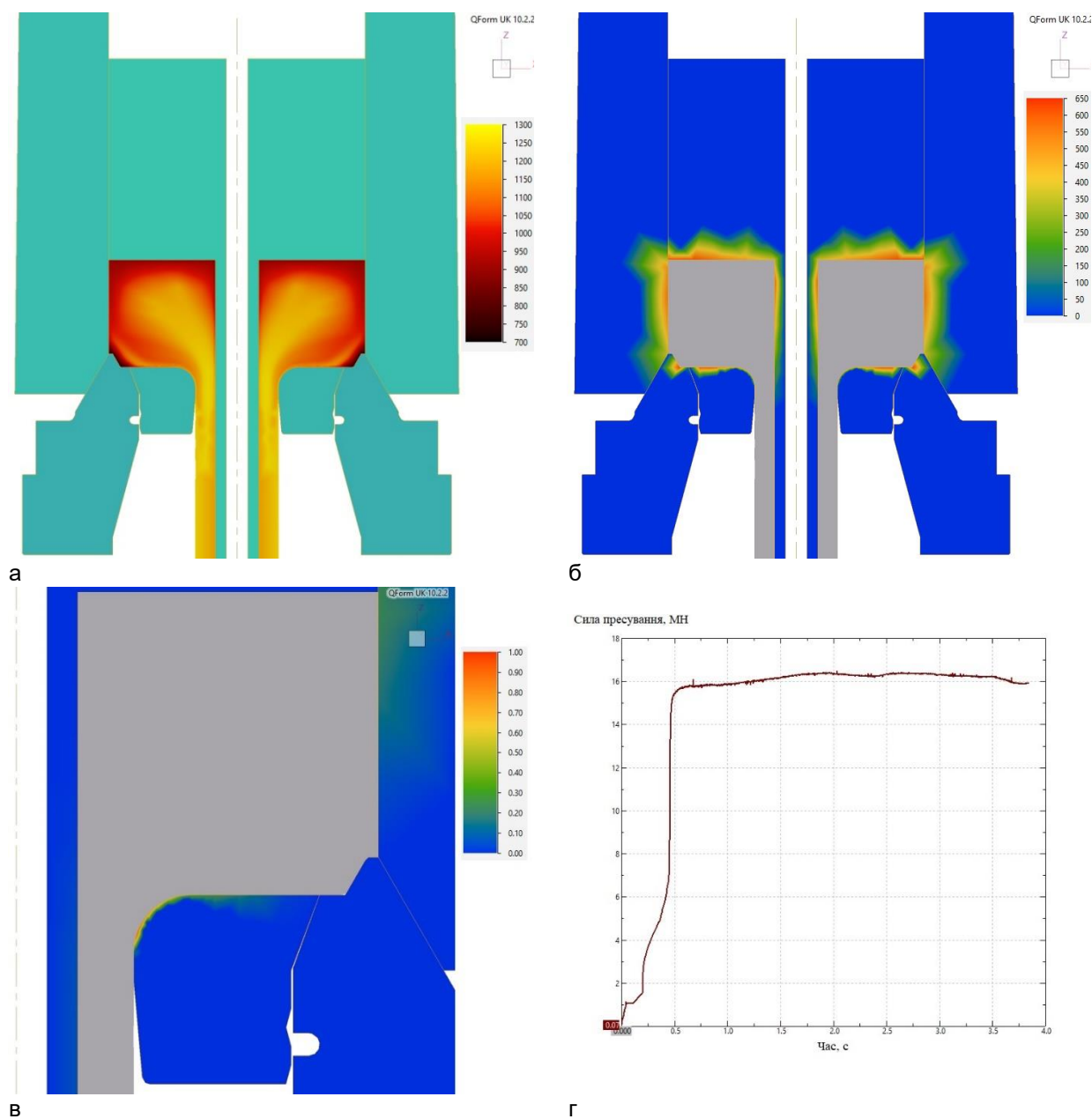


Рисунок 5 – Приклади результатів розрахунків: а – розподіл температур в заготовці, °С; б – розподіл тиску на поверхні інструменту, МПа; в – розподіл зношування від тиску, МПа; г – зміна сили пресування в залежності від часу, МН.

Таблиця 3 - Матриця планування та результати дослідів

№ досл.	Фактори			Цільові функції				
	λ	T, °C	V, мм/с	T _{max} , °C	p _{max} , МПа	Wp _{max} , од. довж.	Wt _{max} , од. довж.	P _{max} , МН
1	17,45	1200	321	1354	717	1,7	0,11	18,7
2	17,45	1200	229	1309	721	1,64	0,1	19
3	17,45	1100	321	1329	883	1,8	0,11	23
4	17,45	1100	229	1290	882	1,794	0,111	23,5
5	11,84	1200	321	1283	598	0,966	0,066	16,3
6	11,84	1200	229	1263	602	0,96	0,07	16,4
7	11,84	1100	321	1236	784	1,09	0,073	20,8
8	11,84	1100	229	1216	792	1,096	0,073	20,5

В таблиці 4 наведено розраховані коефіцієнти регресії для кожної з вищевказаних цільових функцій.

Таблиця 4 - Результати розрахунку коефіцієнти регресії

Y	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{23}	b_{13}	b_{123}
$T_{\max}$	1285	35,5	17,25	15,5	-6,25	0,75	5,5	0,75
$p_{\max}$	747,4	53,4	-87,9	-1,9	6,1	-0,1	1,1	-1,1
$Wp_{\max}$	1,38	0,35	-0,06	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
$Wt_{\max}$	0,089	0,019	-0,003	0,001	0,000	0,001	0,002	0,002
$W_{\Sigma\max}$	1,470	0,371	-0,067	0,009	0,001	0,009	0,010	0,007
$P_{\max}$	19,8	1,3	-2,2	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,1

Розглянуто розподіл температури, тиску та зношування на робочій поверхні матриці. Оскільки конструкція матриці передбачає заокруглення на робочій поверхні матриці, то в якості системи координат було обрано полярну з центром в точці початку радіусу заокруглення (рис. 6).

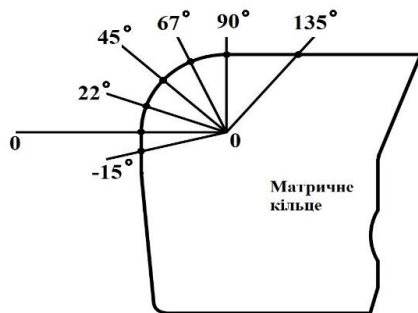


Рисунок 6 - Схема до визначення системи полярних координат

Аналіз вищенаведених таблиць та графіків дозволяє зробити висновки про наступне. На максимальну температуру на контакті заготовки та матриці всі розглянуті фактори мають приблизно однаковий вплив; комплексний вплив факторів на температуру - на один або декілька порядків менше. Максимальний тиск на контакті заготовки та матриці суттєво залежить від коефіцієнту витяжки та початкової температури; швидкість перебігу процесу та комплексна дія факторів не має суттєвого впливу на максимальне значення тиску. Аналогічну ситуацію спостерігаємо для зношування матриці від тиску та сумарного зношування матриці. Зношування матриці від дотичних напружень суттєво залежить лише від зміни коефіцієнту витяжки. Максимальна сила пресування під час стабільного перебігу процесу в основному залежить від коефіцієнту витяжки та початкової температури.

З урахуванням ступеню впливу розглянутих факторів та враховуючи кодування факторів, остаточно отримуємо наступні рівняння для розрахунку цільових функцій:

- максимальна температура на контакті заготовки та матриці:

$$T_{\max} = 1285 + 35,5 \cdot \frac{\lambda - 14,645}{2,805} + 17,25 \cdot \frac{T - 1150}{50} + 15,5 \cdot \frac{V - 275}{46}, ^\circ\text{C} \quad (2)$$

- максимальний тиск на контакті заготовки та матриці:

$$p_{\max} = 747,4 + 53,4 \cdot \frac{\lambda - 14,645}{2,805} - 87,9 \cdot \frac{T - 1150}{50}, \text{ МПа} \quad (3)$$

- максимальне значення зношування матриці від тиску:

$$Wp_{\max} = 1,38 + 0,35 \cdot \frac{\lambda - 14,645}{2,805} - 0,06 \cdot \frac{T - 1150}{50}, \text{ од. довж.} \quad (4)$$

- максимальне значення зношування матриці від дотичних напружень:

$$Wt_{\max} = 0,089 + 0,019 \cdot \frac{\lambda - 14,645}{2,805}, \text{ од. довж.} \quad (5)$$

- максимальне значення сумарного зношування матриці:

$$W_{\Sigma\max} = 1,47 + 0,371 \cdot \frac{\lambda - 14,645}{2,805} - 0,067 \cdot \frac{T - 1150}{50}, \text{ од. довж.} \quad (6)$$

- максимальна сила пресування під час стабільного перебігу процесу:

$$P_{\max} = 19,8 + 1,3 \cdot \frac{\lambda - 14,645}{2,805} - 2,2 \cdot \frac{T - 1150}{50}, \text{ МН} \quad (7)$$

Аналіз кривих розподілу температури (рис. 7) показує для всіх випадків присутність максимальних значень температури 1200...1300 °С на поверхні інструменту в зоні робочого пояса матриці. Далі в напрямку області контакту інструменту з зоною ускладненої деформації температура знижується до 1000...1150 °С. Підвищена температура на ділянці 15-22° пов'язана з наявністю додаткового розігріву металу внаслідок його інтенсивної пластичної деформації в цій зоні.

Найбільші значення тиску (500...700 МПа) на контакті заготовки та матриці (рис. 8) мають місце

на ділянці 90-135° та пов'язані із значним гідростатичним тиском в зоні ускладненої деформації.

Зношування на матриці (рис. 9, 10) має найбільші значення на ділянці 0 ÷ 45°, тобто не на ділянці дії максимального тиску (рис. 8). Додатковий аналіз результатів моделювання показує наявність максимальних значень швидкості деформації на контакті заготовки з цією частиною матриці (рис. 11). Це дозволяє висунути гіпотезу про спільний вплив інтенсивності деформації (або ступеню деформації) та відносної швидкості заготовки на контакт з інструментом на зношування (рис. 9, б).

Порівняння рис. 9 та рис. 10 показує невелику частку зношування від дотичних напружень ($\leq 10\%$) в сумарному зношуванні матриці. Основну долю сумарного зношування складає зношування від тиску.

Також за результатами дослідження було розглянуто вплив визначених параметрів процесу на силу пресування. На рис. 12 представлено зміну сили пресування від часу у вигляді точкових діаграм.

Порівняння рис. 12, а та 12, б, показує майже повну відсутність в розглянутому інтервалі впливу швидкості руху прес-штемплеля на силу пресування. Також наведені графіки підтверджують отриманий раніше більш вагомий, ніж вплив коефіцієнту витяжки, вплив початкової температури заготовки на силу пресування протягом всього перебігу процесу.

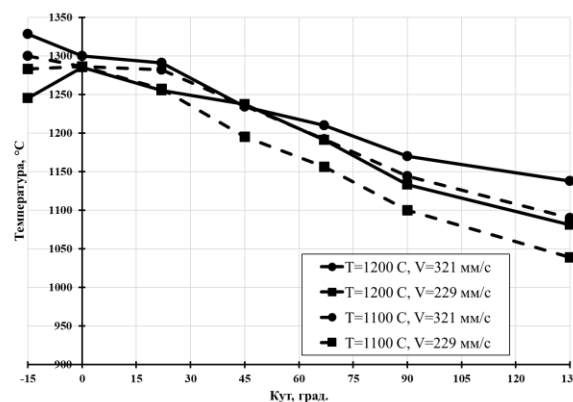
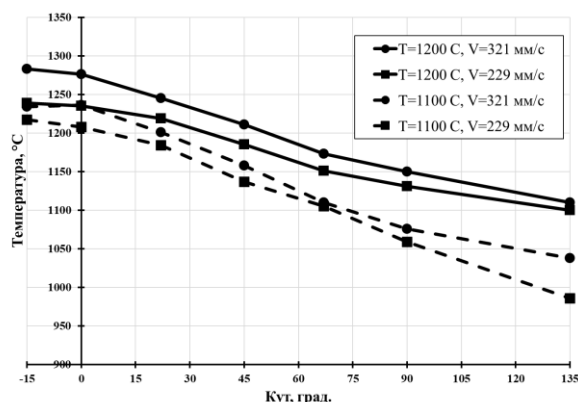


Рисунок 7 - Розподіл температури на робочій поверхні матриці: а) $\lambda=11,84$; б) $\lambda=17,45$

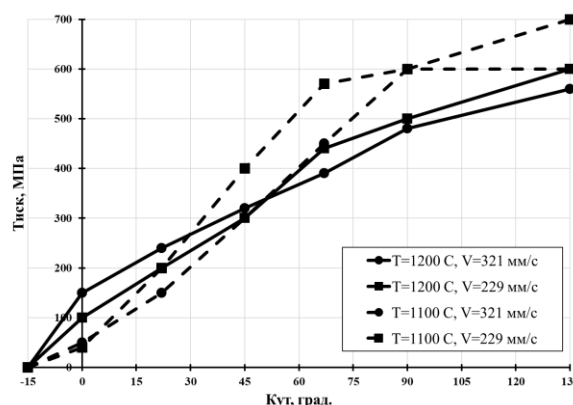
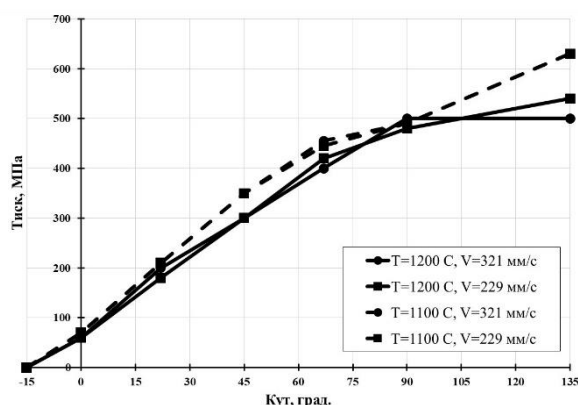


Рисунок 8 - Розподіл тиску на робочій поверхні матриці : а) $\lambda=11,84$; б) $\lambda=17,45$

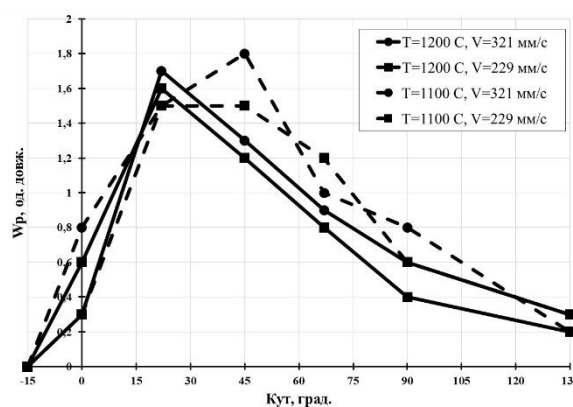
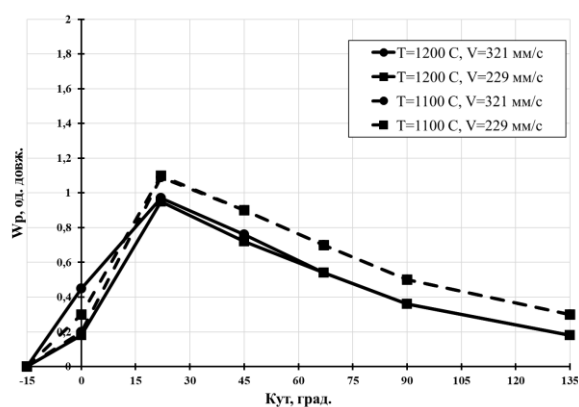


Рисунок 9 - Розподіл зношування від тиску на робочій поверхні матриці : а) $\lambda=11,84$; б) $\lambda=17,45$

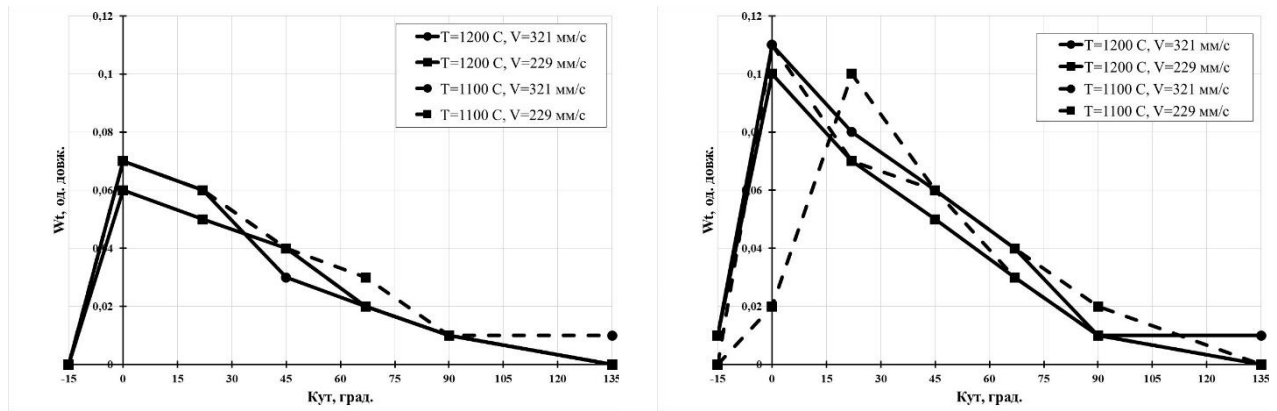


Рисунок 10 - Розподіл зношування від дотичних напружень на робочій поверхні матриці : а) $\lambda=11,84$; б) $\lambda=17,45$

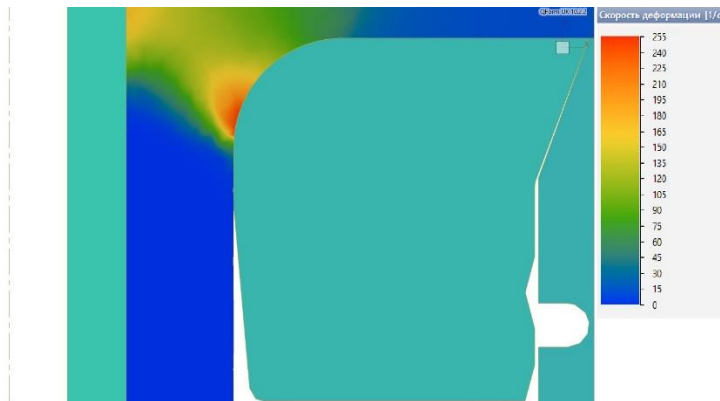


Рисунок 11 - Приклад градієнту швидкості деформації на контакті заготовки з матричним кільцем

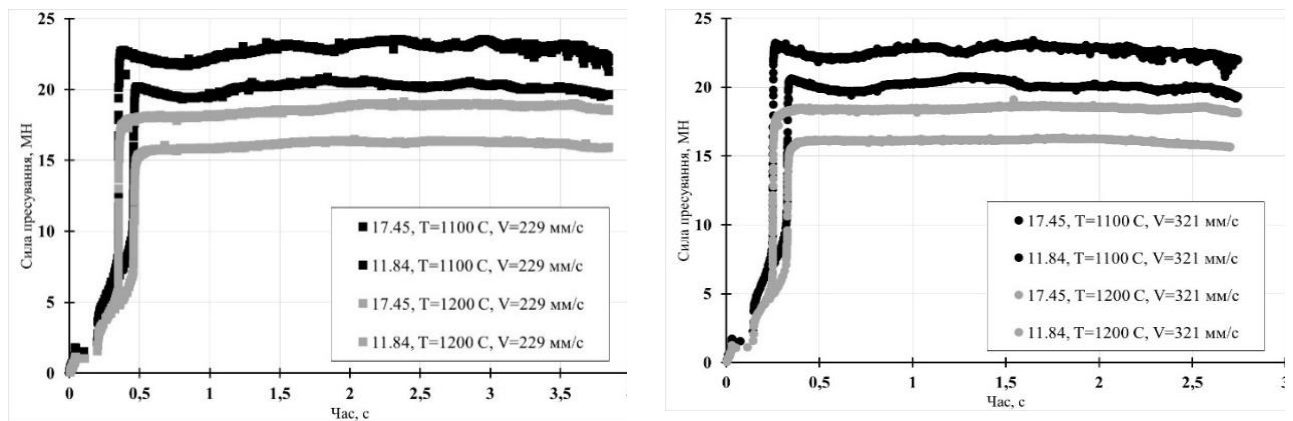


Рисунок 12 - Графіки зміни сили пресування під час перебігу процесу. Швидкість прес-штемпеля : а) 229 мм/с, б) 321 мм/с

Висновки

В роботі виконано теоретичні дослідження впливу коефіцієнту витяжки, початкової температури заготовки та швидкості руху прес-штемпеля на зношування матричного кільця та силу пресування під час процесу пресування труб 60×14 мм та 60×8 мм зі сталі 08X18H10T. Дослідження проведено за методикою повнофакторного експерименту 2^3 з використанням програмного забезпечення QForm UK 10.

Отримано регресійні залежності максимальних значень параметрів зношування матриці та сили пресування від вищезазначених факторів. Показано, що на максимальну температуру на контакті заготовки та матриці приблизно однаковий вплив мають всі розглянуті фактори; максимальний тиск на контакті заготовки та матриці суттєво залежить від коефіцієнту витяжки та початкової температури. Зношування матриці від дотичних напружень суттєво залежить лише від коефіцієнту витяжки; на силу пресування під час стабільного перебігу процесу впливають коефіцієнт витяжки та почат-

кова температури заготовки. Істотного комплексного впливу факторів на розглянуті параметри не визначено.

Розглянуто розподіл температури, тиску та зношування на робочій поверхні матриці. Визначено, що основну долю ($\geq 90\%$) значення сумарного зношування матриці складає зношування від тиску. Також визначено, що ділянки розподілу максимальних значень зношування та максимальних значень тиску не співпадають. Додатковий аналіз результатів моделювання дозволяє висунути гіпотезу про спільний вплив інтенсивності деформації

(або ступеню деформації) та відносної швидкості заготовки на контакт з інструментом на зношування. Дана гіпотеза потребує подальшої теоретичної та експериментальної перевірки.

Аналіз графіків зміни сили пресування під час перебігу процесу підтвердив отримані під час складання рівнянь регресії висновки: в розглянутому інтервалі значень, швидкість пресування не впливає на силу пресування; початкова температура заготовки має більш вагомий, ніж коефіцієнт витяжки, вплив, на силу пресування протягом всього перебігу процесу.

Бібліографічний список

1. Гуляев Г.И. Прессование стальных труб и профилей: учебник / Г.И. Гуляев, А.Е. Притоманов, О.П. Дробич, В.К. Верховод. – М.: Металлургия, 1973. – 192 с.
2. Прозоров Л.В. Прессование стали: учебник / Л.В. Прозоров. – М.: Металлургия, 1956. – 263 с.
3. Геллер Ю.А. Инструментальные стали: / Ю.А. Геллер. – М.: Металлургия, 1968. – 568 с.
4. Шерба В.Н., Райтбарг Л.Х. Технология прессования металлов: / В.Н. Шерба, Л.Х. Райтбарг. – М.: Металлургия, 1995. – 151 с.
5. Бережной В.Л. Прессование с активным действием сил трения: / В.Л. Бережной, В.Н. Шерба, А.И. Батурин. – М.: Металлургия, 1988. – 296 с.
6. Белашова И.С. Поверхностное упрочнение инструментальных сталей. Автореф. дис. д-ра техн. наук. - Москва: МАДИ (ГТУ), 2005. - 48 с
7. Цих С.Г., Гришин В.И., Супов А.В., Лисицкий В.Н., Глебова Ю.А. Развитие процесса карбонитрации // Металловедение и термическая обработка металлов. 2010. – №9. – С. 7-12.
8. Агафонова О.О. Методы повышения износостойкости деталей машин / О.О. Агафонова, Е.С. Русин. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – №1. – С.120-124.
9. Трусова Е.В. Низкотемпературная нитроцементация штамповых сталей и наплавленных покрытий для повышения долговечности штампового инструмента. Автореф. дис. к-та техн. наук. - Курск: ЮЗГУ, 2011. - 17 с
10. Application of hollow cathode effect for local ion nitriding of machine parts / V.V. Budilov et al. Journal of Physics: Conference Series. - 2015. - Vol. 652. - P. 012052
11. Патент на изобретение № 2413784 МПК – 8 C23C8/36, C21D9/30 от 30.06.2009, 3 с. Способ ионного азотирования стали / Р.М. Киреев, К.Н. Рамазанов, Р.К. Вафин.
12. Межэлектродная плазма вакуумной дуги в атмосфере азота / Н.С. Ломино, В.Д. Овчаренко, Г.Н. Полякова, А.А. Андреев, В.М. Шулаев Сб. докл. 3-й Межд. конф. «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов». – Харьков, 2002. – С. 202-222.
13. Сребрянский Г.А., Стародубцев Ю.Н. Основные принципы совершенствования технологии производства аморфной ленты / Г.А. Сребрянский, Ю.Н. Стародубцев // Сталь. 1991. – № 9. – С. 73–78.
14. Сребрянский Г.А., Стовпченко А.П. Новый подход к получению порошковых материалов / Materialy V Miedzynarodowa Sasja Naukowa "Nowe Technologie i osiagniecia w metalurgii inzynierii materialowej", (Польша), Politechnica Czestochowska, Wydawnictwo Wipmifs, 2004. – P. 618-621.
15. Пат. на корисну модель № 148695 від 09.09.2021р. Спосіб зміцнення трубопресового інструменту з інструментальної сталі / К.О. Думенко, В.Л. Пінчук, Л.С. Кривчик, О.Б. Загородній, Г.О. Сребрянський.
16. Рахманов С.Р. Некоторые перспективы повышения износостойкости трубопресового инструмента / С.Р. Рахманов, Г.А. Сребрянский. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – №4 (269). – С. 97-100.
17. Пат. 88755, Україна. Спосіб нанесення покриттів / О.М. Дубовий, Т.А. Янковець, А.А. Карпеченко, О.О. Жданов – № 200902658; заявл. 23.03.2009; опубл. 10.11.2009, бюл. №21. 2009.
18. АС 1504569 СССР, УДК 620.178.16. Способ определения износа инструмента / В.И. Хомяк, Г.Н. Красовский, заявл. 11.01.88.
19. Ас. 679277 СССР, УДК 621.777.073. Матрица для прессования труб / В.Ф. Степанов, В.В. Тарасов, А.Н. Шамшурин, заявл. 15.04.1976.
20. Манегин Ю.В. Горячее прессование труб и профилей: / Ю.В. Манегин, А.Е. Притоманов, Т. Шпиттель, А.М. Кнаушнер. – М.: Металлургия, 1980. – 272 с.
21. QForm UK – Software for simulation and optimization of metal forming processes and metal profile extrusion, QFX Simulations Ltd., <http://www.qform3d.com/>
22. QForm UK V10© Help
23. Implementation of a Dual Mesh Method for Longitudinal Rolling in QForm V8 / D. Gerasimov et al. Materials Science Forum. 2016. Vol. 854. P. 158–162. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.854.158>
24. Machinery building. Encyclopedia/ Machines and mechanism. Structural strength. Friction, wearing, lubricants. V IV-1. [in Russian] D.N. Reshetov, A.P. Gusenkov, Yu.P. Drozdov et.c. : M.: Mashinarybuilding, 1995.
25. Levanov A.N. Improvement of metal forming processes by means of useful effects of plastic friction. Journal of Materials Processing Technology. 1997. Vol. 72. P. 314–316. DOI: 10.1016/S0924-0136(97)00191-X
26. Пинчук С.И. Основы научных исследований и организация эксперимента (раздел «Планирование эксперимента»). Конспект лекций для студентов специальностей: 7.090401, 7.090103. – Днепропетровск: НМетАУ, 2002. – 62 с.

References

1. Gulyayev G.I. Pressovaniye stal'nykh trub i profiley: uchebnyk / G.I. Gulyayev, A.Ye. Pritomanov, O.P. Drobich, V.K. Verkhovod. – M.: Metallurgiya, 1973. – 192 s.
2. Prozorov L.V. Pressovaniye stali: uchebnyk / L.V. Prozorov. – M.: Metallurgiya, 1956. – 263 s.
3. Geller YU.A. Instrumental'nyye stali: / Yu.A. Geller. – M.: Metallurgiya, 1968. – 568 s.
4. Sherba V.N., Raytbarg L.Kh. Tekhnologiya pressovaniya metallov: / V.N.Shcherba, L.KH.Raytbarg. – M.: Metallurgiya, 1995. – 151 s.
5. Berezhnoy V.L. Pressovaniye s aktivnym deystviyem sil treniya: / V.L. Berezhnoy, V.N. Shcherba, A.I. Baturin. – M.: Metallurgiya, 1988. – 296 s.
6. Belashova I.S. Poverkhnostnoye uprochneniyeinstrumental'nykh staley. Avtoref. dis. d-ra tekhn. nauk. - Moskva: MADI (GTU), 2005. - 48 s
7. Tsikh S.G., Grishin V.I., Supov A.V., Lisitskiy V.N., Glebova YU.A. Razvitiye protsessa karbonitratsii // Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov. 2010. – №9. – S. 7-12.
8. Agafonova O.O. Metody povysheniya iznosostoykosti detaley mashin / O.O. Agafonova, Ye.S. Rusin. // Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. –№1. –S.120-124.
9. Trusova Ye.V. Nizkotemperaturnaya nitrotsimentatsiya shtampovykh staley i naplavlennykh pokrytiy dlya povysheniya dolgovechnosti shtampovogo instrumenta. Avtoref. dis. k-ta tekhn. nauk. - Kursk: YUZGU, 2011. - 17 s.
10. Application of hollow cathode effect for local ion nitriding of machine parts / V.V. Budilov et al. Journal of Physics: Conference Series. - 2015. - Vol. 652. - P. 012052
11. Patent na izobreteniya № 2413784 MPK – 8 S23S8/36, S21D9/30 ot 30.06.2009, 3 s. Sposobionnogo azotirovaniya stali /R.M. Kireyev, K.N. Ramazanov, R.K. Vafin.
12. Mezhelektrodnaya plazma vakuumnoy dugi v atmosfere azota /N.S. Lomino, V.D. Ovcharenko, G.N. Polyakova, A.A. Andreyev, B.M. Shulayev Sb. dokl. 3-y Mezhd. konf. «Oborudovaniye i tekhnologii termicheskoy obrabotki metallov i splavov». – Khar'kov, 2002. – S. 202-222.
13. Srebryanskiy G.A., Starodubtsev YU.N. Osnovnyye printsiipy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva amorfnoy lenty / G.A. Srebryanskiy, YU.N. Starodubtsev // Stal'. 1991. –№ 9. –С. 73–78.
14. Srebryanskiy G.A., Stovpchenko A.P. Novyy podkhod k polucheniyu poroshkovykh materialov / Materialy V Miedzynarodowa Sasja Naukowa "Nowe Technologie i osiagniecia w metalurgii inzynierii materialowej", (Польша), Politechnica Czestochowska, Wydawnictwo Wipmifs, 2004. –P. 618-621.
15. Pat. na korysnu model' № 148695 vid 09.09.2021r. Sposib zmitsnennya trubopressovoho instrumentu z instrumental'noyi stali / K.O. Dumenko, V.L. Pinchuk, L.S. Kryvchyk, O.B. Zahorodniy, H.O. Srebryanskyy.
16. Rakhmanov S.R. Nekotorye perspektivy povysheniya yznosostoykosti trubopressovoho ynstrumenta / S.R. Rakhmanov, H.A. Srebryanskyy. // Metallurhicheskaya y hornorudnaya promyshlennost'. – 2011. –№4 (269). –S. 97-100.
17. Pat. 88755, Ukrayina. Sposib nanessenya pokryttiv / O.M. Dubovy, T.A. Yankovets', A.A. Karpechenko, O.O. Zhdanov – № 200902658; zayavl. 23.03.2009; opubl. 10.11.2009, byul. №21. 2009.
18. A.S 1504569 SSSR, UDK 620.178.16. Sposob opredeleniya yznosa ynstrumenta / V.Y. Khomyak, H.N. Krasovsky, zayavl. 11.01.88.
19. A.s. 679277 SSSR, UDK 621.777.073. Matrytsa dlya pressovaniya trub/ V.F. Stepanov, V.V. Tarasov, A.N. Shamshuryan, zayavl. 15.04.1976.
20. Manehyn YU.V. Horyachee pressovaniye trub y profiley: / YU.V. Manehyn, A.E. Prytomanov, T. Shpyttel', A.M. Knaushner. – M.: Metallurhiya, 1980. – 272 s.
21. QForm UK – Software for simulation and optimization of metal forming processes and metal profile extrusion, QFX Simulations Ltd., <http://www.qform3d.com/>
22. QForm UK V10© Help
23. Implementation of a Dual Mesh Method for Longitudinal Rolling in QForm V8 / D. Gerasimov et al. Materials Science Forum. 2016. Vol. 854. P. 158–162. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.854.158>
24. Machinery bulding. Encyclopedia/ Macines and mechanism. Structural strength. Friction, wearing, lubricants. V IV-1. [in Russian] D.N. Reshetov, A.P. Gusenkov, Yu.P. Drozdov et.c. : M.: Mashinarybuilding, 1995.
25. Levanov A.N. Improvement of metal forming processes by means of useful effects of plastic friction. Journal of Materials Processing Technology. 1997. Vol. 72. P. 314–316. DOI: 10.1016/S0924-0136(97)00191-X
26. Pinchuk S.I. Osnovy nauchnykh issledovaniy i organizatsiya eksperimenta (razdel «Planirovaniye eksperimenta»). Konspekt lektsiy dlya studentov spetsial'nostey. 7.090401, 7.090103. – Dnepropetrovsk: NMetAU, 2002. – 62 s.