

SCIENTIFIC LETTERS
OF ACADEMIC SOCIETY OF MICHAL BALUDANSKY



ISSN 1338-9432

7 $\frac{1}{2019}$

EDITORIAL OFFICE:

Academic Society
of Michal Baludansky,
Humenska 16,
040 11 Kosice, Slovakia,
tel.: + 421 (0)903 275 823
e-mail: asmjba@asniba.sk

EDITOR IN CHIEF:

▲ Ing. Lenka DUBOVICKA, PhD.,
Vice-president of Academic Society
of Michal Baludansky, Slovakia,
University of Central Europe of Skalica,
Slovakia

DEPUTY EDITORS IN CHIEF:

▲ Ing. Peter TULEJA, PhD.,
Technical University of Kosice,
Slovakia
▲ Ing. Michal VARCHOLA Jr., PhD.,
Technical University of Kosice,
Slovakia

EDITORIAL ADVISORY BOARD:

▲ Dr.h.c.mult. prof. Ing. Miroslav
BADIDA, PhD., Technical University of
Kosice, Slovakia
▲ Dr.h.c. prof. Dr. Yuriy BOSHITSKIY,
PhD., Kyiv University of Law of the
National Academy Sciences of Ukraine,
Ukraine
▲ prof. Dr. Mihaly DOBROKA,
University of Miskolc, Hungary
▲ D.r.h.c. associate prof. Badri
GECHBAIA, DrSc., Batumi Shota
Rustaveli State University, Georgia
▲ D.r.h.c. prof. Ketevan GOLETIANI,
DrSc., Batumi Navigation Teaching
University, Georgia
▲ Dr.h.c. Doc. RNDr. Frantisek
JIRASEK, DrSc., International Institute
of Business and Law in Prague, Czech
republic
▲ prof. Oleksandr NESTEROV, DrSc.,
Ural Federal University of Ekaterinburg,
Russia
▲ prof. Olha RUDENKO, DrSc.,
Chemihiv National University of
Technology, Ukraine
▲ prof. Dr. Oleg SINEOKIJ, DrSc.,
Zaporizhzhya National University,
Ukraine
▲ Dr.h.c. Ing. Hedy SCHWARCZOVA,
PhD., University of Central Europe of
Skalica, Slovakia
▲ Academician of RAES Vasil
SIMCHERA, DrSc., Russian Academy
Economics Sciences, Russia
▲ Dr.h.c. prof.h.c. Ing. Michal
VARCHOLA, PhD., President of
Academic Society of Michal Baludansky,
Slovakia
▲ prof. Tomasz WOŁOWIEC, PhD.,
University of Information Technology and
Management in Rzeszow, Poland

TO OUR READERS

Dear Reader,



This journal, the "Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky", has been conceived by the founders of the Michal Baludansky International Academic Society as a printed platform for exchanging knowledge between university scholars and experts of different countries who take a keen interest in the life and activity of the outstanding scientist, educationalist and statesman Michal Baludansky.

The first issue «Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky» in 2019 consists of the works of members of Association of Technologists and Mechanical Engineers of Ukraine.

Шановний читателю,

предлагаемый журнал «Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky» задуман основателями Академического сообщества Михаила Балудянского как печатаное издание по обмену знаний между учеными и специалистами разных стран, имеющих непосредственное отношение к жизни и деятельности выдающего ученого, педагога и государственного деятеля Михаила Балудянского. В первый номер 2019 года включены работы членов Ассоциации технологов-машинистров Украины.

*Lenka Dubovicka,
editor*

ЗМІСТ

- 4 **Артемчук Віктор, Краснов Роман, Карасьов Олександр**
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ РУХОМОГО СКЛАДУ
- 11 **Будяк Руслан**
ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ШЕСТЕРЕНЬ ВНУТРІШНЬОГО ЕВОЛЬВЕНТНОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ
- 18 **Casalino Nunzio, Pizzolo Giuliana, Pifeiro Francisco J., Zielinski Jacek, Smater Michal, Vassileva Margarita, Seykova Denitsa, Hajduk Mikulas, Vagas Marek, Tuleja Peter**
INCREASING THE COMPETITIVENESS OF SMALL AND MEDIUM-SIZED COMPANIES BY IMPLEMENTING COLLABORATIVE ROBOTS
- 23 **Casalino Nunzio, Pizzolo Giuliana, Pineiro Francisco J., Zielinski Jacek, Smater Michal, Vassileva Margarita, Seykova Denitsa, Hajduk Mikulas, Vagas Marek, Tuleja Peter**
TRANSFER OF TECHNOLOGY AND INNOVATION TO INCREASE THE COMPETITIVENESS OF SMES
- 28 **Дик Сергей, Хейфец Илья, Алексеева Татьяна**
МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ МНОГОФАКТОРНЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ
- 33 **Чернышов Александр, Долгополов Игорь**
РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ ЭНЕРГОРЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ (ТОПОЛОГОЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД)
- 40 **Хейфец Михаил, Бородавко Владимир, Пынькин Александр, Грецкий Николай, Астапенко Алексей**
РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОСНАЩЕНИЕМ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА
- 45 **Максимов Сергій, Лендел Іван, Кражановський Деніс**
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДУГОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ
- 52 **Манохин Андрей, Клименко Сергей, Мельничук Юрий**
РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА
- 58 **Мановицкий Александр, Клименко Сергей, Копейкина Марина**
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ЗАДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИЗНОСА РЕЗЦА ИЗ ПКНБ С РАДИУСОМ ПРИ ВЕРШИНЕ ПРИ ТОЧЕНИИ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ ШХ-15
- 63 **Молчанов Виталий**
ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ГРАНИЧНОЙ ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТЕЙ В ПЕРЕМЕННОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ
- 68 **Новік Микола, Юрчишин Оксана**
РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕЛЕСКОПІЧНОГО КОМБІНОВАНОГО ПРИВОДУ З ЦИФРОВИМ КЕРУВАННЯМ
- 73 **Посвятенко Едуард, Посвятенко Наталія**
ХОЛОДНЕ ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН
- 79 **Рябченко Сергей**
ШЛИФОВАНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС КРУГАМИ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ
- 84 **Яценко Ірина**
ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ТЕРМОДІЙ НА ПОВЕРХНЮ ОПТИЧНИХ ОБТІЧНИКІВ ІЧ-ПРИЛАДІВ В УМОВАХ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ
- 91 **Зяхор Ігор, Завертанний Мирослав**
БІМЕТАЛІЧНІ ТУРБОАГНІТАЧІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ, ОТРИМАНІ З МАТЕРІАЛІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ІНЖЕКЦІЙНОЇ ФОРМОВКИ МЕТАЛІВ

Буяк Руслан

ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ШЕСТЕРЕНЬ ВНУТРІШНЬОГО ЕВОЛЬВЕНТНОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ

Анотація

В статті описано спосіб виготовлення шестерень евольвентного зачеплення із внутрішніми зубцями з використанням холодного пластичного деформування. Спосіб виконується охоплюючим деформуючим протягуванням (редукуванням) на фасонній оправці. Матеріал матриці (волоки) – твердий сплав ВК 15; оправки – сталі ХВГ, Х 12 МФ, Р6М5 при твердості HRC 56-61; модулі внутрішніх зубців $m = 0,5-5$ мм, матеріал зубчастих коліс – пластичні метали і сплави з відносним видовженням понад 3-5%. Наведено типовий технологічний процес на основі редукування з фінішною операцією безводневого азотування у тліючому розряді.

Ключові слова: евольвентне зачеплення, пластична деформація, технологічний процес, безводневе азотування.

Budyak Ruslan

PROGRESSIVE TECHNOLOGIES FOR MANUFACTURING OF OF THE INTERNAL EVOLVENT ENGAGEMENT

Annotation

The method of manufacturing gears of embedding engagement with internal tines using cold plastic deformation is described. The method is executed by covering deforming stretching (reduction) on the shapes and mandrel. Material of the matrix (drafts) – solid alloy BK 15, mandrels - steel ХВГ, Х 12 МФ, Р6М5 at hardness HRC 56-61; modules of internal tines- 0.5-5 mm, material of gear wheels - plastic metals / alloys with relative elongation of more than 3-5% The typical technological process on the basis of reduction with the finishing operation of helpless net nitration in the glow discharge is given.

Keywords: emulsion bonding, plastic deformation, technological process.

1. Постановка проблеми

В технологічній практиці широке застосування знайшли феноменологічні теорії, в основі яких лежить гіпотеза про залежність пластичності від історії навантажень, яка задається у просторі напружень. Характеристиками напруженого стану можуть бути його показники, які дозволяють досліджувати траєкторії навантажень не в просторі тензора напружень, а в просторі його інваріантів. Має практичний інтерес проведення досліджень, результати яких дозволяють оцінювати можливості застосування діаграм пластичності, побудованих у умовах плоского або лінійного напруження станів для оцінки деформівності металів, деформованих в умовах об'ємного напруженого стану. Рішення такої задачі пов'язане з труднощами, що виникають при проведенні спеціальних експериментів в камерах високого тиску.

2. Виклад основного матеріалу

Залежність пластичності від схеми напруженого стану можна характеризувати двома показниками напруженого стану. Установлено, що при об'ємному напруженому стані необхідно враховувати вплив на пластичність третього інваріанта тензора напружень. Результати досліджень залежності пластичності від інваріанта тензора напружень при гідростатичній обробці металів, а також методик побудови об'ємної діаграми пластичності для умов об'ємного напруженого стану треба враховувати.

За звичайними діаграмами слід оцінювати граничну деформацію у випадку об'ємного формоутворення при умовах $\sigma = \text{const}$, $\chi = \text{const}$, $H = 0$ (відповідно два безрозмірні показники напруженого стану і параметр, що характеризує траєкторію кривизни деформації).

При традиційних дослідженнях процес навантаження задається шістьма функціями часу $\sigma_{ij}(t)$ або п'ятьма функціями $\sigma_x(t)$ і незалежною функцією часу $\sigma(t)$, що вимагає вивчення великої кількості траєкторій. Встановлено, що при одних і тих же умовах формоутворення траєкторії навантажень для різних матеріалів можуть бути різними, а це потребує додаткових досліджень і створення громіздкого математичного апарату для описання кожного із процесів.

Удосконалення розрахунку граничних деформацій при отриманні фасонних отворів деталей холодним пластичним деформуванням з наступною практичною перевіркою теоретичних результатів виконувалась у роботі [1].

У зв'язку з викладеним для завдання траєкторії в просторі напружень пропонувалось використовувати два безрозмірні показники напруженого стану.

$$\eta = \frac{\sigma_{33}}{\sigma_{11}} = \frac{\sigma_{22}}{\sigma_{11}}; \quad \chi = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_{11}} = \frac{\sigma_{21}}{\sigma_{11}} \quad (1)$$

Основна перевага підходу, при якому траєкторія навантаження задається не в шестимірному просторі напружень, а в просторі безрозмірних показників η і χ полягає в тому, що в останньому випадку вид траєкторії навантаження однозначно визначається умовами формоутворення, характерними для досліджуваного процесу, і практично не залежить від механічних властивостей деформованого металу. Це дає широкі можливості для комп'ютерного моделювання і вибирання оптимального матеріалу для виробу,

для чого необхідно знати параметри коефіцієнтів апроксимації кривої течії і поверхні граничної пластичності. До того ж такий підхід значно скорочує кількість трудомістких експериментальних досліджень. Ще однією перевагою є те, що властивості дослідних матеріалів мало впливають на шляхи деформування в небезпечних областях (в найбільш близьких до руйнування) - відхилення становить не більше 5%, що узгоджується з результатами, приведеними в роботах для процесів осадження, поперечного видавлювання, холодного висаджування та ін. Побудувавши шляхи деформування для небезпечної області одного дослідного матеріалу, можна в тій же системі координат на той же графік наносити діаграми пластичності інших матеріалів, і визначати сумарний використаний ресурс пластичності, тобто доцільність вибору матеріалу для даного процесу.

Для прикладу, розглянемо процес формоутворення внутрішнього шліцьового профілю на трубній заготовці методом холодного пластичного деформування. Нами розроблено технологічний процес формування внутрішніх шліців в трубних заготовках шляхом їх обтиску матрицею на профільну шліцьову оправку (методом «охоплюючого» протягування) [1,2]. Суть процесу (Рис.1) полягає в тому, що трубна заготовка і разом із розміщеною всередині з мінімальним зазором шліцьовою оправкою 2 по направляючій втулці 3 проштовхується пуансоном 4 через деформуючу матрицю 5, яка розташовується разом з направляючою втулкою обойми 6. Після обтиску по всій довжині виробу оправка випресовується. Даним способом формували прямобічний шліцьовий профіль, що відповідає профілю втулки карданного вала рульового керування автомобіля. Процес може бути виконаним на вертикально-протяжних верстатах або на гідропресах і рекомендується як високопродуктивний, що дозволяє отримувати шліцьові втулки підвищеної точності без подальшої чистової обробки у масовому виробництві (Рис.2), а також при отриманні внутрішніх зубців зубчастих коліс.

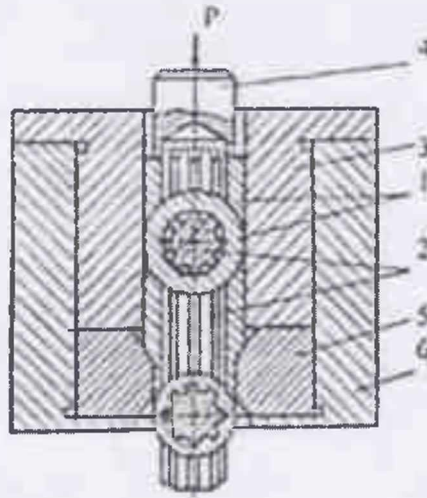


Рис.1 Схема процесу формоутворення внутрішніх шліців в трубних заготовках

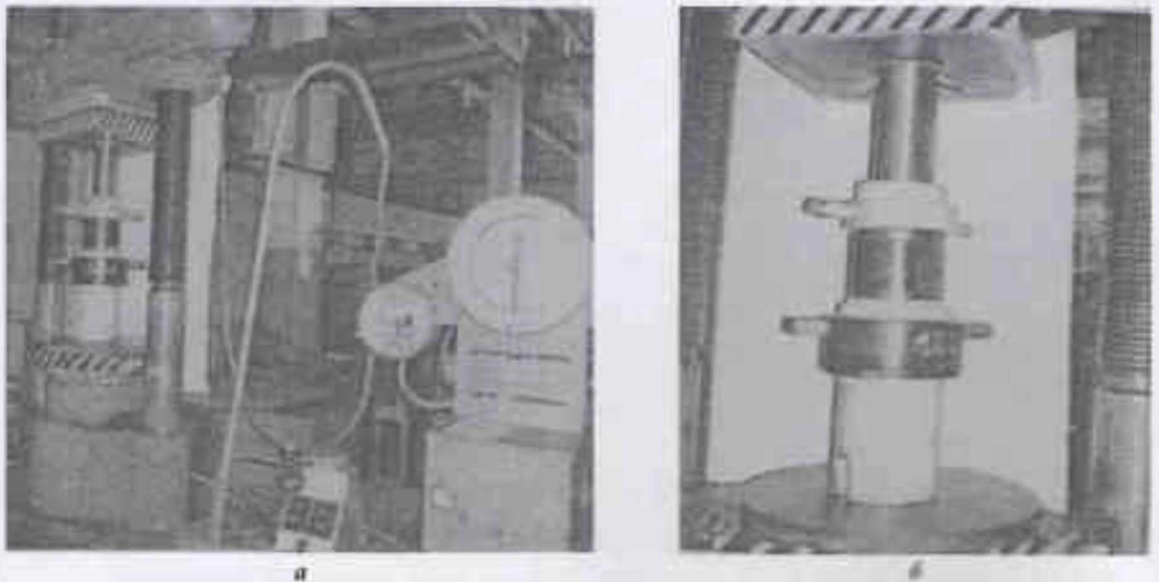


Рис.2 Оснащення для редукування шліцьових втулок, яке встановлене на гідростатичній пресі моделі ПП-С200: а - загальний вигляд; б - робоче положення

Ще одним прикладом практичного застосування охоплюючого протягування (редукування) є наступний. Найважливішою ланкою внутрішнього евольвентного зубчастого зачеплення є модульне зубчасте колесо із внутрішніми зубцями (Рис.3) [3].

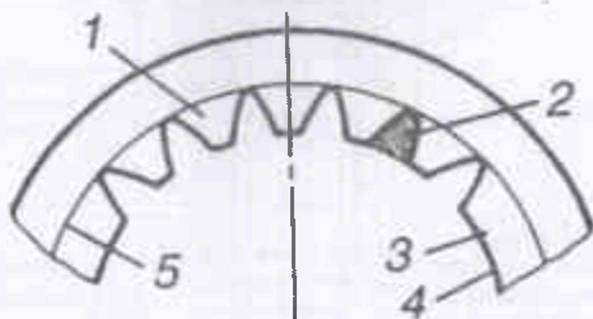


Рис.3 Елементи зубчастого колеса із внутрішніми зубцями: 1 – зуб; 2 – впадина; 3 – зубчастий вінець; 4 – поверхня вершин; 5 – поверхня впадин

При виготовленні коліс із внутрішніми зубцями існують певні технологічні труднощі, як і при отриманні інших фасонних поверхонь отворів деталей машин. Тому для виконання цієї операції використовується, головним чином, два процеси: різальне протягування або нарізання зубців довбачами (зубодовбання) [4].

Недоліками процесу у першому випадку є: необхідність кількох складнопрофільних протяжок при середніх та великих модулях коліс (понад $m = 2$ мм), що призводить до зниження продуктивності обробки; низький коефіцієнт використання матеріалу (КВМ), що не перевищує 0,65 – 0,75; неможливість обробки ступінчастих отворів. У другому випадку це необхідність у спеціальному зубодовбальному обладнанні зі складною кінематикою; низька продуктивність зубонарізання, оскільки підйоми на зуб довбача знаходяться у межах $S_2 = 0,02 - 0,05$ мм; низький КВМ. Схема зубодовбання наведена на Рис.4.

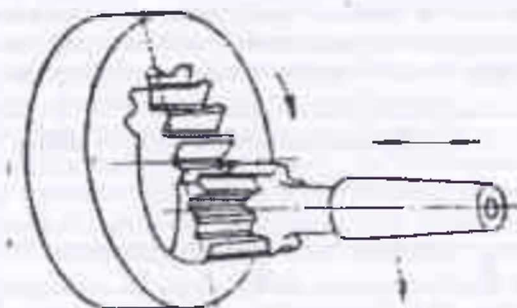


Рис.4 Схема зубодовбання

Виходячи із сказаного, метою роботи було розроблення схеми отримання внутрішніх зубців зубчастого колеса шляхом холодного пластичного деформування охоплюючим протягуванням (редукуванням) та технології обробки таких коліс на основі цієї операції, а також інших подібних технологій.

Методика дослідження, розроблення схеми та технології редукування

На основі технології волочіння труб на довгій оправці розроблено спосіб отримання поздовжніх канавок, що ліг в основу процесу виготовлення зубчастих коліс із внутрішніми зубцями. Суть його полягає у наступному (Рис. 5.)

Трубну заготовку 1 вільно розміщують на фасонній оправці 2, виступи 3 якої мають профіль поздовжніх канавок, що формуються (евольвентного профілю). Потім заготовку разом з оправкою проштовхують через нерухому матрицю 4, що має робочий конус, циліндричну стрічку та зворотній конус. Оскільки швидкість заготовки v_0 , що завдана штовхачем 5 в осередку деформації 6 збільшується до швидкості v_n оправка отримує деяке переміщення у процесі охоплюючого протягування (редукування) відносно деталі назустріч останній зі швидкістю $(v_n - v_0)$. З цієї причини зв'язок оправки зі штовхачем повинен бути пружним. Процес обробки має три стадії: вільне редукування, що закінчується в момент торкання до поверхні отвору заготовки вершинами виступів оправки; заглиблення цих виступів і формування циліндричної поверхні отвору деталі при повному контакті останньої з оправкою. На усіх стадіях обробки відбувається видовження деталі. Після редукування оправка видаляється з отвору.

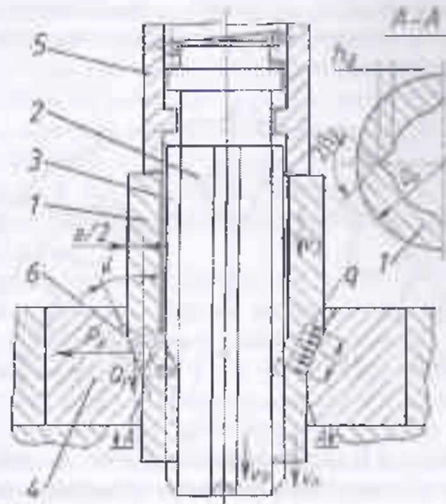


Рис.5 Схема отримання поздовжніх канавок методом редукування на фасонній оправці

Силві та контактні характеристики редукування наступні (Рис.3). Сила редукування Q_p ; сила терт радіальна сила P_p довжина контакту l ; тиск q при заданих кути робочого конуса α матриці, натяг сторону $a/2$ і матеріалу деталі розраховуються у кожному окремому випадку.

Рекомендовані характеристики процесу: матеріал матриці – твердий сплав ВК 15; матеріали опрасталі ХВГ, Х12МФ або Р6М5 при твердості HRC 56 – 61; кут робочого конуса твірної матриці $\alpha = 6^\circ$; $v_s = v_p = 0,02 - 0,05$ м/с. При цих характеристиках процесу параметри тертя найменші, що дозввикористовувати відомі рідкі мастила на органічній та неорганічній основах.

Оскільки дослідження цього та подібних процесів (Рис.6) потребує врахування багатьох факторів (Та важливо вибрати найбільш впливовий на якість показник. Таким, на наш погляд, може бути використресурс пластичності Ψ , який на кожний технологічний процес покладає відповідні обмеження, наприскотосовно процесу отримання внутрішнього шлицевого профілю - ступінь обтиску за один прохід; реалізації процесу обкочування пари поршень-шатун - повздовжня подача ролика та ін.



Рис.6 Досліджувані процеси

Виходячи з викладеного, практичне значення має виконання експериментально - теоретич досліджень про встановленню залежностей впливу основних технологічних факторів кожного процесу величину Ψ . Це дає можливість вибрати оптимальну схему деформування та за рахунок раціональної побудови технологічних операцій прогнозувати отримання виробів з необхідними характеристиками.

Одним з проявів деформаційної анізотропії металів при їх пластичному деформуванні є ефект Баушингера. Експериментальні дані свідчать про залежність параметра, що характеризує ефект Баушингера від виду напруженого стану, який реалізується при реверсивній пластичній деформації. Методики оцінки даного ефекту для різних видів напруженого стану, а також умов немонотонного пластичного деформування приведені в роботі [1].

Таблиця 1 Порівняльна характеристика процесів

Процес	Традиційне порівняння	Новітні технології	Переваги	
Нанесення внутрішнього плідцевого профілю на трубній заготовці	Деформуюче-різальне протягування	Обтиск на жорсткій оправці	Можливість керування фізико-механічними характеристиками, підвищення продуктивності	Економія металу, підвищення міцності, зменшення шорсткості, зниження енерговитрат
Формоутворення внутрішньої різьби	Різання, розкочування	Видавлювання різьбоутворюючими пластинами		Підвищення статичної втомної міцності, стабільність розмірів
Згинання труб та прутків на оправках	У гарячому стані	У холодному стані на жорстких оправках		Відсутність складного обладнання, зниження енерговитрат, екологічна безпека
Обкочування пари порілень - шатун	Обкочування роликками труб	Отримання потрібного складного профілю		Підвищення характеристик міцності

1. Визначення небезпечних областей деформування заготовок з використанням різних показників напруженого стану (небезпечною областю вважається та, в якій показники напруженого стану набувають максимальних значень з урахуванням знаку). У технологічній практиці широке застосування знайшли феноменологічні теорії, в основі яких лежить гіпотеза про залежність пластичності від історії навантаження. Характеристиками напруженого стану можуть бути показники, що дозволяють досліджувати траєкторії навантаження не в просторі тензора напружень, а в просторі його інваріантів. Має практичний інтерес оцінка можливості застосування діаграм пластичності, побудованих в умовах плоского або лінійного напружених станів для оцінки деформування металів, деформованих в умовах об'ємного напруженого стану. Вирішення такої задачі пов'язане з труднощами, які виникають при проведенні спеціальних експериментальних досліджень в камерах високого тиску. В наших дослідженнях показано, що залежність пластичності від схеми напруженого стану можна характеризувати двома показниками напруженого стану, а також обґрунтовано, що при об'ємному напруженому стані необхідно враховувати вплив на пластичність третього інваріанта тензора напружень. Вказані підходи пропускають поетапне визначення в небезпечній області деформування значень накопиченого ступеня деформації і показників напруженого стану.

2. Побудова шляху деформування небезпечної області в координатах: ступінь деформації e_n - показник напруженого стану з подальшою її апроксимацією.

3. Визначення в стадіях формоутворення заготовок використаного ресурсу пластичності по критеріях руйнування із застосуванням отриманих раніше характеристик технологічного паспорта матеріалу і траєкторії шляху деформування небезпечної області.

Нами обґрунтовується застосування критеріїв, в основу яких покладений тензорний апарат накопичення пошкодження, при цьому враховується їх спрямованість та історія деформування небезпечних областей.

4. Встановлення аналітичних залежностей між значеннями використаних ресурсів пластичності і основними параметрами технологічних процесів, формою інструменту.

5. Вивчення можливості максимального збереження пластичності в небезпечній області. Рекомендується застосування двох підходів:

- вибір матеріалів з високими значеннями граничних деформацій - при цьому слід враховувати, що нові матеріали можуть мати великі показники зміцнення в процесі ХПД у порівнянні з традиційними, що може привести до зростання зусиль і навантажень на інструмент; таким чином, для кожного конкретного випадку необхідне проведення економічних розрахунків;
- використання встановлених аналітичних залежностей Ψ від основних параметрів технологічного процесу і форми інструменту для зміни напрямку шляху деформування у від'ємну область показників напруженого стану (в координатах e_n -).

Метод редукування для отримання поздовжніх канавок було перевірено на гарячекатаних трубах 168 X 16 із сталей 20 та 30ХГСА, що служили заготовками для серійного виробу. У перерізі, перпендикулярному осі, треба було забезпечити наступні розміри виробу: зовнішній діаметр 160h4; діаметр отвору 132H14; глибину двадцяти поздовжніх трикутної форми канавок на поверхні отвору 2,3jS15 при куті $2\beta_0 = 130^\circ$. Обробка здійснювалась на пресах моделей П-500 зусиллям 5 МН та Д-2258 зусиллям 6,3 МН. Схема

редукування передбачала переміщення матриці при нерухомій деталі та оправці. Фасонна оправка, що б виготовлена із сталі X12MФ (HRC 61–64), мала на зовнішній циліндричній поверхні 20 поздовжніх виступів. Форма і розміри цих виступів відповідали формі і розмірам канавок виробу. Перед редукуванням оправка покривалась твердим мастилом з наповнювачем MoS_2 на клею БФ-6 (1:3), яке висушувалось повітрі.

Сила редукування при обробці виробів із сталі 20 складала 3,5–3,8 МН, а із сталі 30ХГС – 4,8–5 МН. П початковій довжині трубних заготовок 320 мм редукування приводило до їх подовження до 370–380 мм, тобто на 15–18 %.

На рис. 7 показана партія деталей з поздовжніми канавками, отриманими редукуванням на фасонній оправці та фрагмент поверхні з цими канавками.

Переваги методу охоплюючого протягування (редукування) при виготовленні модульних зубчастих коліс із внутрішніми зубцями полягають у наступному :

- високій продуктивності процесу, оскільки операція виконується за один прохід зі швидкістю 1 м/хв;
- можливості обробки ступінчастих зубчастих коліс;
- підвищення КВМ до 0,9–0,95 (на 10–15%);
- наскрізного зміцнення зубців і впадин, а також основи колеса холодним пластичним деформуванням;
- прискорення наступного азотування до 0,02 – 0,03 мм/год за рахунок збільшення щільності дислокацій при холодному пластичному деформуванні.

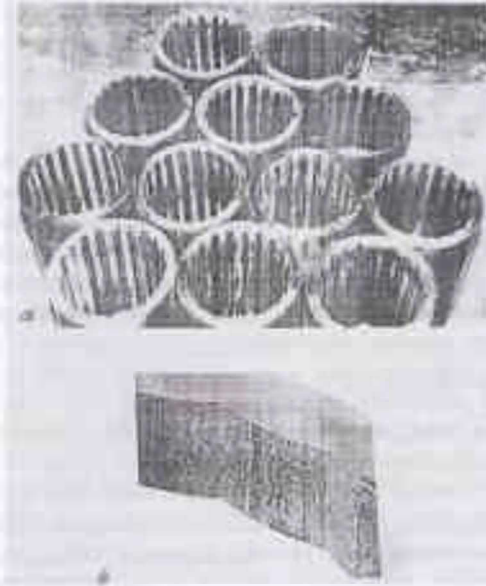


Рис. 7. Деталі з поздовжніми канавками, що отримані редукуванням (а) та фрагмент поверхні цих деталей (б)

На рис. 8 показано експериментальний зразок зубчастого колеса із внутрішніми зубцями, модуль $m = 2$ мм, сталь 18ХГТ.



Рис. 8. Експериментальний зразок зубчастого колеса із внутрішніми зубцями, модуль $m = 2$ мм, сталь 18ХГТ

Варіант типового технологічного процесу, який побудований на операції отримання внутрішніх зубців свольвентного зачеплення, може бути наступним:

- підготовка гарячекатаної або холоднотягнутої заготовки під наступні операції деформування різальним протягуванням, під час якого виправляється початкова некруглість отвору та видаляється дефектний поверхневий шар товщиною 0,3–0,5 мм;

- охоплююче протягування (редукування) трубної заготовки на фасонній оправці з наступним видаленням останньої з отвору на гідравлічному пресі чи протяжному верстаті;
- безводне азотування тліючому розряді (БАТР), як чистова операція протягом якої зміцнюються зубці та впадини колеса з досягненням твердості до HV700 –1000.

Проведення останньої операції робить також неможливою «водневу хворобу» сталених деталей. На рис. 9 подано установку для БАТР.



Рис 9. Установка для безводного ионного азотування

3. Висновки

Науково обгрунтовано і запропоновано метод виготовлення шестерень модульного зачеплення із внутрішніми евольвентними зубцями охоплюючим деформуючим протягуванням (редукуванням) на фасонній оправці.

Редукування виконується на гідравлічних пресах чи протяжних верстатах зі швидкістю 1–10 м/хв, при чому дозволяє підвищити КВМ на 10–15 %, тобто є ресурсозберігальним.

Для реалізації процесу придатні усі пластичні метали і сплави, відносно видовження яких перевищує 3–5%.

Редукування дозволяє підвищити швидкість фінішної операції безводного азотування (БАТР) у 2–3 рази.

Метод випробувано на сталях, котрі рекомендуються для БАТР. Методом редукування можна виготовляти шестерні зачеплення із внутрішніми евольвентними зубцями модулем $m = 0,5\text{--}5$ мм.

Список використаних джерел

- [1] Континуальная и дискретно-континуальная модификация поверхностей деталей: монография / Н. А. Ткачук, С. С. Дьяченко, Э. К. Посвятенко и др. – Харьков: Планета-принт, 2015. 259 с.
- [2] Influence of a material and the technological factors on improvement of operating properties of machine parts by reliefs and film coatings / E. Posviatenko, N. Posviatenko, R. Budyak and other. Eastern-European journal of enterprise technologies, 2018, № 5/12 (95). P. 48–56.
- [3] Ануриев В.И. Справочник конструктора - машиностроителя: в 3 т. 9-е изд., перераб. и доп./ под ред. И.Н. Жестковой. М.: Машиностроение, 2006. Т.2. 960 с.
- [4] Родин П. Р. Металлорежущие инструменты: Учебник. Киев: Вища школа, 1986. 455 с.

References:

- [1] Tkachuk, N.A., & Diachenko, S.S., & Posviatenko, E.K. and others (2015). *Kontynualnaya i diskretno-kontynualnaya modifikatsiya poverhnostey detaley*: monografiya. Kharkiv:Planeta-print.
- [2] *Influence of a material and the technological factors on improvement of operating properties of machine parts by reliefs and film coatings* / E. Posviatenko, N. Posviatenko, R. Budyak and others. Eastern-European journal of enterprise technologies, 2015, № 5/12 (95). P. 48–56.
- [3] Anuriev, V. I. (2006). *Spravochnik konstruktora-mashinostroitelia*. /pod red. Zhestkovoï, I. N.,: Mashinostroenie.
- [4] Rodin, P. R.(1986) *Metallorazhushchie*:Uchebnik.Kyiv:High school

Budyak Rustau - candidate of technical sciences, the director of Tehnological-industrial college of Vinnitsya National Agrarian University, 8, Yunost Avenue, Vinnitsa, Ukraine, 21021, teacher of Vinnitsya National Agrarian University, 3 Soniachna St., Vinnitsa, Ukraine, 21008.*e-mail:* rusbudyak.vnau@gmail.com. *Where and when graduated:* Vinnitsya National Agrarian University of 2006. *Professional orientation or specialization:* Mechanization of agriculture, engineer - mechanic.