

Будяк Р.В.

К.Т.Н.

Вінницький національний  
аграрний університет

Vydyak R.

Vinnitsia National Agrarian  
UniversityУДК 621.919:62-233.3.:62-597.5  
DOI:10.37128/2306-8744-2019-1-8

## ОХОПЛЮЮЧЕ ПРОТЯГУВАННЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ ВИГОТОВЛЕННЯ ШЕСТЕРЕНЬ ВНУТРІШНЬОГО ЕВОЛЬВЕНТНОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ

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, Х12МФ, 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.

**Постановка проблеми.** 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 нарізування зубців довбачами (зубодовбання)[1–4].

Недоліками процесу у першому випадку є: необхідність кількох складно профільних 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  $S_{\square} = 0,02-0,05$  мм; низький КВМ. Цю проблему також відзначають і ряд зарубіжних джерел літератури [5–7].

Схема зубодовбання наведена на рис.1.

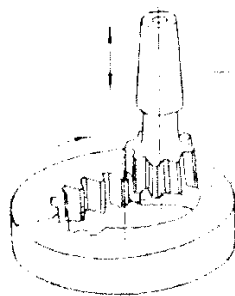
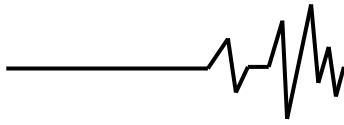


Рис. 1. Схема зубодовбання

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основна перевага підходу, при якому траєкторія навантаження задається не в шестимірному просторі напружень, а в просторі безрозмірних показників  $n$  і  $x$  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



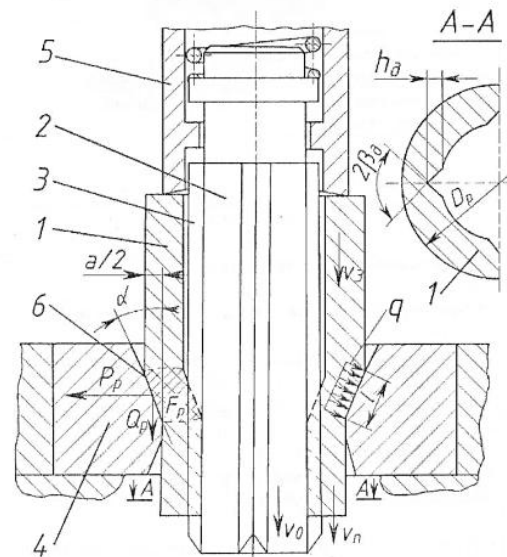
деформованого металу. Це дає широкі можливості для комп'ютерного моделювання і вибирання оптимального матеріалу для виробу, для чого необхідно знати параметри коефіцієнтів апроксимації кривої течії і поверхні граничної пластичності. До того ж такий підхід значно скорочує кількість трудомістких експериментальних 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. Побудування шляхи деформування для небезпечної області одного дослідного матеріалу, можна в тій же системі координат на той же графік наносити діаграми пластичності інших матеріалів, і визначити сумарний використаний ресурс пластичності, тобто доцільність вибору матеріалу для даного процесу.

Теоретичні передумови дослідження теми було складено з урахуванням положень теорії пластичного деформування, що подані у дослідженнях [5,8]

#### **Формулювання мети досліджень.**

Виходячи із сказаного, метою дослідження 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.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** 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.2).

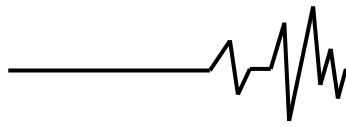


**Рис. 2. Схема отримання поздовжніх канавок методом редукування на фасонній оправці**

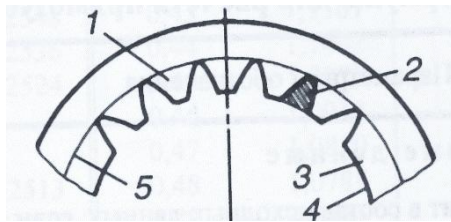
Трубну заготовку 1 вільно розміщують на фасонній оправці 2, виступи 3 якої мають профіль поздовжніх канавок, що формуються (евольвентного профілю). Потім заготовку разом з оправкою проштовхують через нерухому матрицю 4, що має робочий конус, циліндричну стрічку та зворотній конус. Оскільки швидкість заготовки  $v_3$ , 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.

Силкові та контактні характеристики редукування наступні (рис.2). Сила редукування  $Q_p$ ; сила тертя  $F_p$ ; радіальна сила  $P_{pj}$ ; довжина контакту  $l$ ; тиск  $q$  при заданих куті робочого конуса  $\alpha$  матриці, натягу на сторону  $a/2$  і матеріалу деталі розраховуються у кожному окремому випадку.

Рекомендовані характеристики процесу: матеріал матриці – твердий сплав ВК 15; матеріали оправки – сталі ХВГ, Х12МФ або Р6М5 при твердості  $HRC\ 56 - 61$ ; кут робочого конуса твірної матриці  $\alpha = 6 - 7^\circ$ ;  $v_3 = v_0 = 0,02 - 0,05$  м/с. При цих характеристиках процесу параметри тертя найменші, що дозволяє використовувати відомі рідкі мастила на органічній та неорганічній основах.



Прикладом практичного застосування охоплюючого протягування (редукування) є наступний. Найважливішою ланкою внутрішнього евольвентного зубчастого зачеплення є модульне зубчасте колесо із внутрішніми зубцями (рис.3) [9].



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

Метод редукування для отримання поздовжніх канавок також 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 була виготовлена із сталі Х12МФ (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  $\text{MoS}_2$  на клею БФ-6 (1:3), яке висушувалось на повітрі.

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

На рис.4 показано експериментальний зразок зубчастого колеса із внутрішніми зубцями, модуль  $m = 2$  мм, сталь

18ХГТ.



**Рис. 4. Експериментальний зразок зубчастого колеса із внутрішніми зубцями, модуль  $m = 2$  мм, сталь 18ХГТ**

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

- високій продуктивності процесу, оскільки операція виконується за один прохід зі швидкістю 1–10 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.

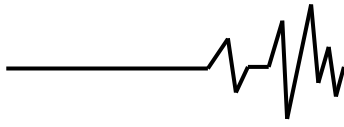
Варіант типового технологічного процесу, який побудований на операції отримання внутрішніх зубців евольвентного зачеплення, може бути наступним:

- підготовка гарячекатаної або холоднотягнутої заготовки під наступні операції деформує–різальним протягуванням, під час якого виправляється початкова некруглість отвору та видаляється дефектний поверхневий шар товщиною 0,3–0,5 мм [3,10];
- 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 [11].

Проведення останньої операції робить також неможливою «водневу хворобу» сталейних деталей.

**Висновок:** Науково обґрунтовано 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, причому 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 безводневого 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  $m = 0,5–5$  мм.

### Список використаних джерел

1. Равська Н.С. Металорізальні інструменти: підручник / Н.С. Равська, П.П. Мельничук, Р.П. Родін. – Житомир: ЖОТУ, 2016. – 612с.
2. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник/ М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л.Добраскок та ін.; під заг. ред. М.П. Мазура. – Львів: Новий світ–2000, 2010–422с.
3. Интегрированные процессы обработки материалов резанием: учебник/ А.И. Грабченко, В.А. Залого, Ю.М. Внуков и др.; под общ. ред. А.И. Грабченко и В.А. Залого. – Сумы: Университетская книга, 2017. – 451с.
4. Історична спорідненість розвитку прикладних технічних наук: монографія / Е.К. Посвятенко, О.Є. Тверитніхова, Н.І. Посвятенко, Т.В. Мельник. – Х: МТУ «ХП», - Х.: ФОП Панов А.М., 2017. – 224с.
5. Континуальная и дискретно-континуальная модификация поверхностей деталей: монография / Н. А. Ткачук, С. С. Дьяченко, Э. К. Посвятенко и др. – Харків: Планета–прінт, 2015. 259 с.
6. 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.
7. Посвятенко Едуард. Холодне пластичне деформування, як ефективний метод інженерії поверхні деталей машин / Едуард Посвятенко, Наталія Посвятенко // Scientific letters of academic society of Michat Baludansky.- KOSICE, Slovakia; 2019, № 7. С. 73–78.
8. Огородніков В.А.. Механіка процесів холодного формозмінювання з односторонніми схемами механізму деформації: монографія / В.А. Огородніков, В.І. Музичок, О.В. Нахайчук. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2017. – 179с.
9. Анурьев В.И. Справочник конструктора - машиностроителя: в 3 т. 9-е

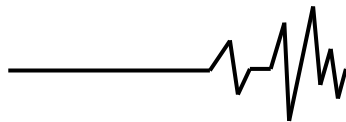
изд., перераб. и доп./ под ред. И.Н. Жестковой. М.: Машиностроение, 2006. Т.2.–960 с.

10. Инструменты из сверхтвёрдых материалов / под. ред. Н.В. Новикова и Л.А. Клименко.- изд. 2-е перераб. и доп. – М. Машиностроение, 2014. – 608с.

11. Інноваційні технології композиційною зміцнення поверхні елементів для оборонної та енергетичної галузей / А.П. Марченко, М.А. Ткачук, О.В. Соболев та ін. // Механіка та машинобудування: наук.-техн. журнал. –Х.: НТУ «ХПІ», 2017. –№1.- С.234–235.

### References

1. Ravska N.S. Metal cutting tools. Textbook. Ravska N.S. , P.P. Melnychuk, R.P.Rodin. – Zytomyr: ZhSTU , 2016.- 612p.
2. Mazur M.P. Fundamentals of the theory of cutting tools. Textbook. M.P. Mazur, U.M. Vnukov, V.L. Dobroskok, under the general wording M.P. Mazur. – Lviv: Novy Svit – 2000-422p.
3. Integrated processes of material handling by cutting: Textbook. A.L. Grabchenko, V.A. Zaloga, U.N. Vnukov etc. , under the general wording A.I. Grabchenko and Zalot.- Summy: University book, 2017.- 451p.
4. History of connecting of the development of the applied technical sciences. Monograph/ E.K. Posvyatenko, O.E. Tverytnikova, N.I. Posvyatenko, T.V. Melnyk. – X: NTU “XPU,- X.: FOP Panov A.M. , 1017. – p.224
5. Tkachuk, N.A., & Diachenko, S.S., & Posviatenko, E.K. and others (2015). Kontinualnaya i diskretno-kontinualnaya modifikatsiya poverhnostey delaley: monografiya. Kharkiv:Planeta-print.
6. 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.
7. Posvyatenko Eduard. Cool plastic deformation as effective method of engineering the surface of the machine parts./ Posvyatenko Eduard and Natalia// Scientific Letters of academic society of Michat Bahedansky.- Kosice, Slovakia, 2019, №7 p.73-78
8. Ogorodnikov V.A. Mechanics of processes of cold modification with one-way circuits of the mechanism of deformation. : Monograph/ V.A. Ogorodnikov,V.I. Muzychuk, O.V.Nahajchuk.- Vinnytsia: UNIVERSUM – Vinnytsia, 2007 – p.179



9. Anuriev, V.I. (2006). Spravochnik konstruktora-mashunostroitelia./pod red. Zhestkovoі, I.N.,:Mashunostroenie.

11. Tools of super hard materials . under wording N.V. Novikova and S.A. Klymenko.- Edition 2 revised and enlarged –Engineering, 2014.- 608p.

12. Innovative technologies of compositional strengthening of the surface of the elements for defense and energy industries. A.P. Harchenko, M.A. Tkachuk, O.V. Sobolev etc. // Mechanic and Engineering : Science – Machinery – magazine. – X.: NTU “XPU”, 2017. - №1 P.234-235

### ОХВАТЫВАЮЩЕЕ ПРОТЯГИВАНИЕ В ТЕХНОЛОГИЯХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШЕСТЕРЕН ВНУТРЕННЕГО ЭВОЛЬВЕНТНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Описан способ изготовления шестерен эвольвентного зацепления с внутренними зубцами с использованием холодного пластического деформирования. Способ выполняется охватывающим деформирующим протягиванием (редуцированием) на фасонной оправке. Материал матрицы (волоки)–твердый сплав ВК 15; оправки–стали ХВГ, Х12МФ, Р6М5 при твердости HRC 56–61; модули внутренних зубцов  $m=0,5-5$  мм, материал зубчатых колес - пластичные металлы и сплавы с

относительным удлинением выше 3–5 %. Приведено типичный технологический процесс на основе редуцирования с финишной операцией безводородного азотирования в тлеющем разряде.

**Ключевые слова:** эвольвентное зацепление, пластическое деформирование, технологический процесс, безводородное азотирование.

### A REPORT OF THE ARTICLE OF THE CANDIDATE OF ENGINEERING SCIENCES

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- 05-5 mm, material of gear wheels - plastic metals 1 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.

**Key words:** emulsion bonding, plastic deformation, technological process, hydrogen free nitriding

### Відомості про авторів

**Будяк Руслан Володимирович** - кандидат технічних наук, старший викладач кафедри агроінженерії та технічного сервісу Вінницького національного аграрного університету, (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: rusbudyak.vnau@gmail.com).

**Будяк Руслан Владимирович** - кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры агроинженерии и технического сервиса Винницкого национального аграрного университета(ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Україна, e-mail: rusbudyak.vnau@gmail.com).

**Budyak Ruslan Volodimirovich** - PhD, Senior lecturer of the Department of Agroengineering and technical service of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Sonyachna st., Vinnytsia, Ukraine, e-mail rusbudyak.vnau@gmail.com).