

### **3D-МОДЕЛЮВАННЯ ЗУБОЗАОКРУГЛЮЮЧИХ ВПАДИН НАКАТНИКА ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ТОРЦЕВИХ ПОВЕРХОНЬ ЗУБЦІВ ШЕСТЕРЕНЬ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НАКАТУВАННЯМ**

*Дулеба А.Д.*, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, a.d.duleba@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6333-1737

*Сопотсько Ю.О.*, Національний транспортний університет, Київ, Україна, yuriysopotsko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0458-7844

*Дулеба Н.В.*, кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, N.V.Duleba@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3881-2413

### **3D MODELING OF TEETH ROUNDING FALLS OF ROLLER FOR FORMING ROUNDED END SURFACES OF TEETH OF GEAR WHEELS OF VEHICLES BY ROLLING**

*Duleba A.D.*, associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, a.d.duleba@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6333-1737

*Sopotsko Y.O.*, National Transport University, Kyiv, Ukraine, yuriysopotsko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0458-7844

*Duleba N.V.*, associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, N.V.Duleba@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3881-2413

#### **Постановка проблеми**

Шестерні непостійного зачеплення широко використовуються в автомобільних та тракторних коробках передач, роздавальних коробках, коробках відбору потужності. Вмикання передачі при такому зачепленні здійснюється осьовим переміщенням шестерні до іншої шестерні, яка розміщена на паралельному валі. Для покращення введення в зачеплення зубця однієї шестерні у впадину іншої, на зубцях обох виконується торцеве зубозаокруглення. Незважаючи на те що, таку обробку можна виконати на верстатах з ЧПУ, виробники шестерень працюють над удосконаленням та виробництвом нескладних верстатів для виконання заокруглення торцевої поверхні зубців та зняття фасок з кромки зубців. З метою підвищення продуктивності виробництва шестерень пропонується використовувати в якості чорнової обробки шестерень гаряче накатування евольвентного профілю з одночасним заокругленням торцевої поверхні зубців. Після чого проводиться тільки чистова обробка профілів зубців, залишаючи заокруглена торцевої поверхні в стані після прокатування. Або теж проводиться тільки чистова обробка торцевої поверхні зубців.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Механічні коробки передач продовжують широко використовуватися в автомобілях та металообробних верстатах. Необхідними елементом шестерень, що переключаються переміщенням вздовж валів для зчеплення з іншими шестернями є заокруглення поверхні торців зубців. Таку обробку можна виконати на верстатах з ЧПУ, але виробники шестерень працюють над удосконаленням та виробництвом нескладних верстатів для виконання заокруглення торцевої поверхні зубців та зняття фасок з кромки зубців [1]. Одним з продуктивних способів виробництва шестерень є формування зубчатих профілів гарячим накатуванням з заокругленням торців зубців описаний в роботі [2].

В роботі [2] вперше була запропонована методика побудови профілю зубозаокруглюючої западини з використанням кінематичної теорії обвідних сімейства поверхонь. Методика визначення геометричних параметрів складна та дає можливість тільки приблизно визначити форму та розміри зубозаокруглюючого профілю накатника.

#### **Моделювання форми і розмірів накатника.**

Для проектування зубозакруглюючого профілю були вибрані параметри для зубчастого вінця шестерні (число зубців  $z_{зв}=37$  та модулем  $m=3,5$  мм) для накатника було вибрано число зубців  $z_{н}=33$ . Результати розрахунку даного зачеплення представлені в табл. 1

Таблиця 1 – Розрахункові дані зчеплення накатника та шестерні  
 Table 1 – Calculation data of knurl and gear coupling

Число зубців накатника $Z_H$	Число зубців зубчастого вінця шестерні $Z_{ЗВ}$	Модуль накатника та шестерні, $m$ (мм)	Міжцентрова відстань, $A$ (мм)	Діаметр ділильної окружності накатника, $d_{0H}$ (мм)	Діаметр ділильної окружності шестерні, $d_{0Ш}$ (мм)
37	33	3,5	122,5	129,5	115,5

За даними розрахунків в програмі AutoCad були змодельовані частина зубчастого вінця шестерні коробки передач та уявна заготовка зубозаокруглюючого накатника, що має форму диска (рис. 1).

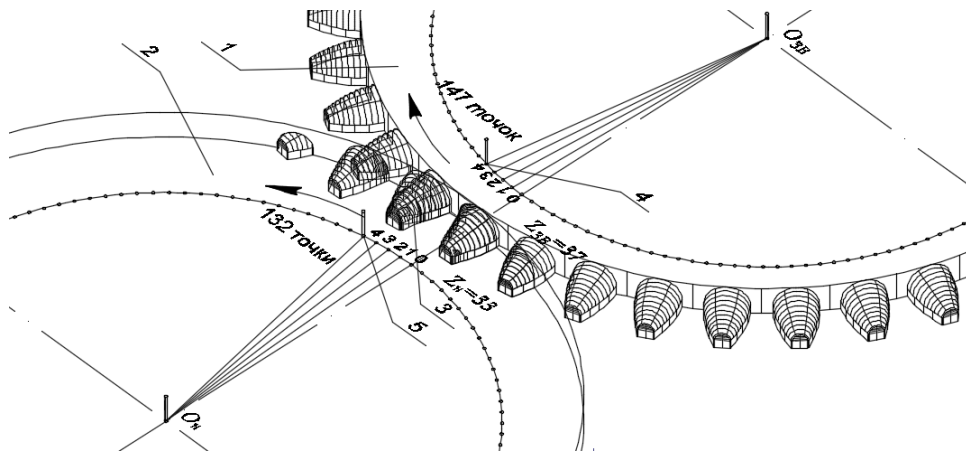


Рисунок 1– Модель створення зубчастого зачеплення зубозаокруглюючих впадин накатника та фрагменту зубчастого вінця шестерні коробки передач автомобіля: 1 – 3d-модель зубчастого вінця; 2 – 3d-модель обробленої заготовки; 3 – 3d-модель утвореної зубозаокруглюючої впадини; 4, 5 – орієнтувальні мітки зубчастого вінця та заготовки відповідно

Figure 1– The model of the creation of the gear engagement of the tooth-rounding depressions of the knurled gear and the fragment of the toothed crown of the gear box of the car: 1 – 3d model of the toothed crown; 2 – 3d model of the processed workpiece; 3 – 3d model of the formed tooth-rounding cavity; 4, 5 – orientation marks of the toothed crown and workpiece, respectively

Для формування зубозаокруглюючої впадини у вказаній програмі проводилась імітація обкатування зубчастим вінцем дископодібної заготовки накатника. Зубозаокруглені торці зубців формували зубозаокруглюючі впадини накатника. Торцева поверхня зубців зубчастого вінця формувалась шляхом обертання навколо своєї осі евольвентної кривої, яка є твірною бокової поверхні зубців (рис. 2).

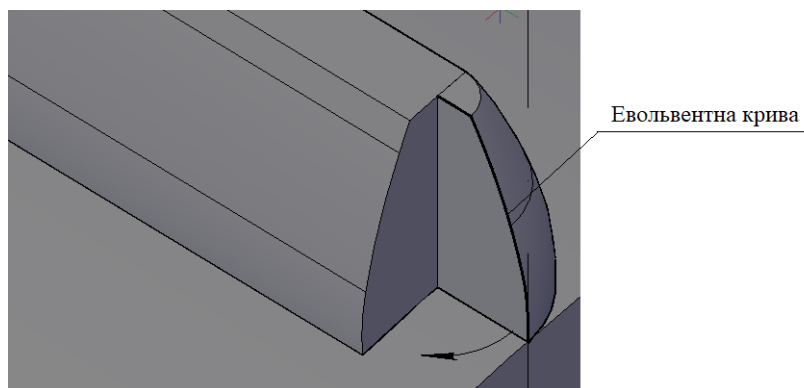


Рисунок 2 – Моделювання торцевої поверхні зубця  
 Figure 2 – Modeling the end surface of the tooth

Для формування безпосередньо зубозаокруглюючих впадин накатника необхідно було на певні кути віртуально повертати, у вказаному стрілками напрямку, зубчастий вінець та заготовку. Після провороту необхідно було в програмі AutoCad, використовуючи команду «Віднімання» – від 3d-моделі диску відняти 3d-модель зубчастого вінця. В результаті даної дії утворюється відбиток зубця. Однак в даному випадку модель зубчастого вінця зникає. Для того, щоб це уникнути необхідно було попередньо зробити копію моделі вінця. Потім проводиться наступний проворот моделей від точки «0» до точки «1» (потім від точки «2» до «3» і так далі) у напрямку, вказаному стрілкою. Після чого, операція віднімання з копіюванням повторюється, допоки не утвориться повна 3d-модель зубозаокруглюючого накатника.

Для правильного відтворення зачеплення необхідно, щоб 3d-моделі повертались на різні кути, оскільки зубчастий вінець має 37 зубців, а накатник 33 зубця. Тому довільно вибрані окружності 3d-моделей (див. рис.1) були поділені на кількість частин, кратну кількості зубців кожної. В нашому випадку для зубчастого вінця окружність була поділена 148-ма точками, а накатника – 132-ма (відповідно –  $37 \times 4 = 148$ ,  $33 \times 4 = 132$ ). Велика кількість точок була вибрана для того, щоб утворена поверхня була більш плавною. Для зручності умовного повертання на 3d-моделях були зроблені мітки.

В результаті 3d-моделювання в програмі AutoCad було візуалізовано зубозаокруглюючий накатник та зубчастий вінець деталі, що знаходяться між собою в зачепленні (рис. 3).



Рисунок 3 – Візуалізоване зображення 3d-моделі зубозаокруглюючого накатника та зубчастого вінця  
Figure 3 – A rendered image of a 3d model of a tooth-rounding knurling tool and gear ring

Даний віртуальний процес обкатування показав, що у внутрішній частині зубозаокруглюючої впадини утворюється певний дефект у вигляді підминання поверхні обкатування (при нарізанні зубців це явище називається підризування) (рис. 4). Це пояснюється тим, що моделювання даних 3d-об'єктів здійснювалось в умовах безззорного зачеплення.

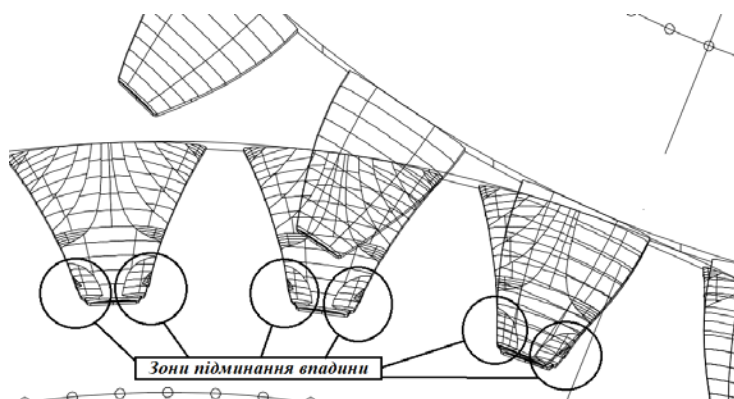


Рисунок 4 – Дефекти зубозаокруглюючих впадин при їх формуванні обкатуванням (виділені кружечками)  
Figure 4 – Defects of tooth-rounding depressions when they are formed by rolling (marked with circles)

Для перевірки процесу формування зубзоакруглюючої впадини торцевою поверхнею зубців зубчастого вінця були надруковані на 3d-принтері з ABS-пластику фрагменти зубзоакруглюючої впадини та торцевої поверхні зубця (рис. 5).



Рисунок 5 – Зображення надрукованих на 3d-принтері з пластику фрагменти зубзоакруглюючої впадини та торцевої поверхні зубця: а – деталі розміщені окремо; б – деталі знаходяться в зачепленні  
 Figure 5 – Image of the fragments of the tooth-rounding cavity and end surface of the tooth printed on a 3d-printer from plastic: a – details are placed separately; b – the parts are engaged

Дані фрагменти були закріплені на дисках, міжцентрові моделі КПД-300, схема якого представлена на рис. 6.

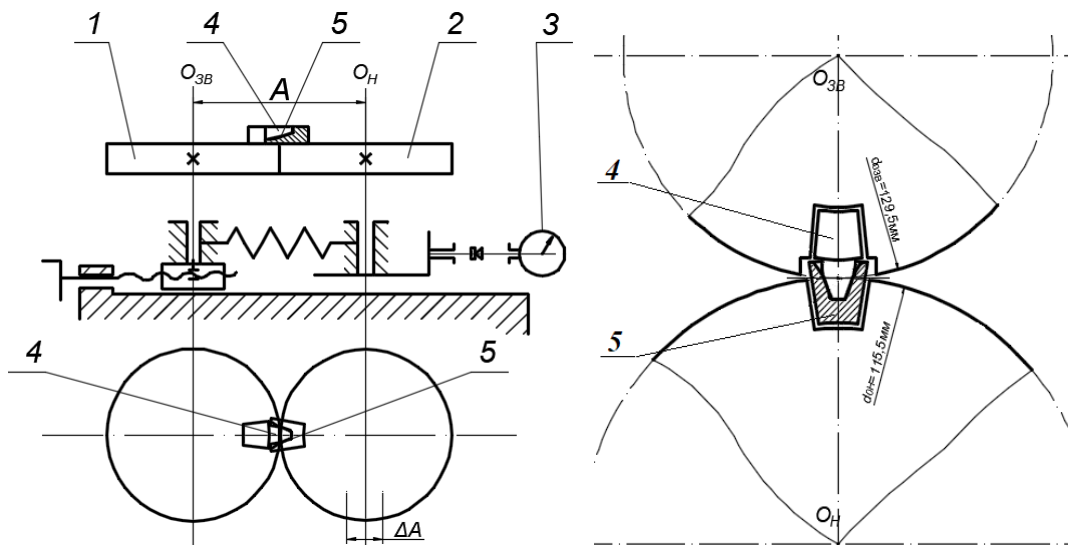


Рисунок 6 – Схема приладу для визначення коливання вимірювальної міжцентрової відстані:  
 1, 2 – обертаючі диски; 3 – індикатор; 4 – пластикова модель зубця; 5 – пластикова модель зубзоакруглюючої впадини

Figure 6 – Scheme of the device for determining the fluctuation of the measuring intercenter distance:  
 1, 2 – rotating discs; 3 – indicator; 4 – plastic model of a tooth; 5 – plastic model of the tooth-rounding cavity

Пристрій був використаний для перевірки обкатування зубзоакругленого профілю торцевої поверхні зуба та профілю заокруглюючих западини накатника. Виготовлення моделей профіля зуба та накатника підтвердили можливість формування зубзоакругленого профіля накатника в програмі AutoCad.

#### **Виготовлення накатника для заокруглення торцевих поверхонь зубців.**

На підставі отриманих даних та побудованого фрагменту зубзоакруглюючої впадини та торцевої поверхні зубця були проведені розрахунки накатника для заокруглення торцевої поверхні зубців із синхронізуючим вінцем [3]. Дана схема накатування забезпечує синхронне обертання

шестерні та накатника під час накатування. Виготовлення зубозаокруглюючих впадин накатника проводилося фасонною пальцевою фрезою (за розмірами близькою до розмірів зубця) (рис. 7).

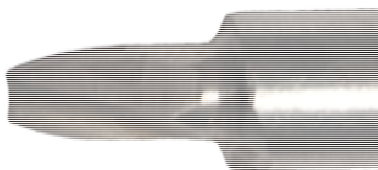


Рисунок 7 – Фасонна пальцева фреза  
Figure 7 – Shaped finger mill

Під час обробки фреза отримувала обертальний рух. Рух обкатування та осьової подачі надавався заготовці накатника (рис. 8). Рух обкатування складався з обертового та поступального руху накатника паралельно його осі. В результаті цих двох рухів досягалося обкатування накатника відносно фрези.

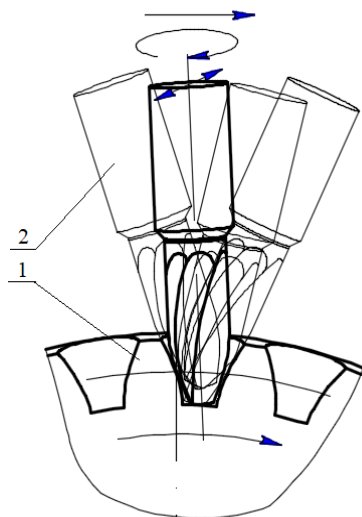


Рисунок 8 – Рух накатника та пальцевої фрези під час виготовлення зубозаокруглюючої впадини  
Figure 8 – The movement of the knurling tool and the finger cutter during the production of the tooth-rounding cavity

Внаслідок реалізації процесу зубофрезерування були виготовлені фасонні зубозаокруглюючі впадини (рис. 9) зубозаокруглюючого накатника (рис. 10). Для якісного формування торцевих поверхонь зубців зубчастих коліс даний інструмент має синхронізуючий вінець та зубозаокруглюючі впадини. Синхронізуючий вінець забезпечує синхронне обертання накатника відносно зубців шестерні, що заокруглюються.

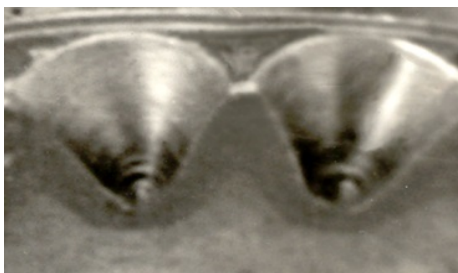


Рисунок 9 – Поверхня зубозаокруглюючих впадин накатника  
Figure 9 – The surface of the tooth-rounding depressions of the knurling tool

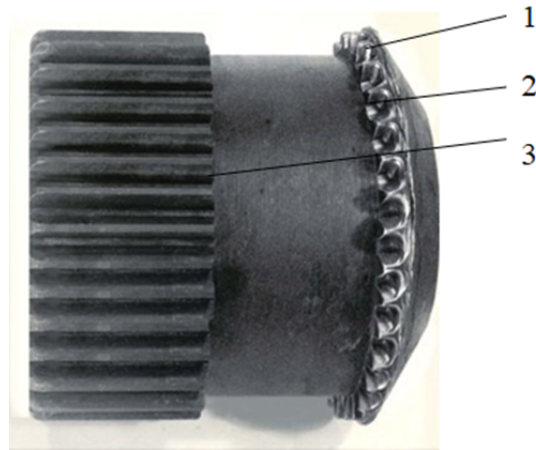


Рисунок 10 – зубозаокруглюючий накатник: 1 – відрізний ніж; 2 – зубозаокруглююча впадина;  
3 – синхронізуючий вінець  
Figure 10 – Tooth-rounding knurling tool: 1 – cutting knife; 2 – tooth-rounding  
depression; 3 – synchronizing crown

Розрахунок геометричних параметрів синхронізуючого вінця накатника (табл.1) здійснювався по аналогії із розрахунком звичайного зубчастого колеса, при цьому була прийнята кількість зубців  $z_H = 33$ , що пояснюється конструктивними розмірами пристрою для накатування.

Згідно запропонованій схемі [2] проводилось заокруглення торцевих поверхонь зубців шестерень ( $z = 37, m = 3,5$  мм).

Випробування зубозаокруглюючого накатника проводилося на токарному верстаті 16К20. Схема пристосування показана на рис.11. Синхронізуюча шестерня закріплюється в патроні токарного верстата та піджималася обертовим центром. Зубозаокруглюючий накатник закріплюється на супорті токарного верстата. Накатування проводилося з осьовою та радіальною подачею.

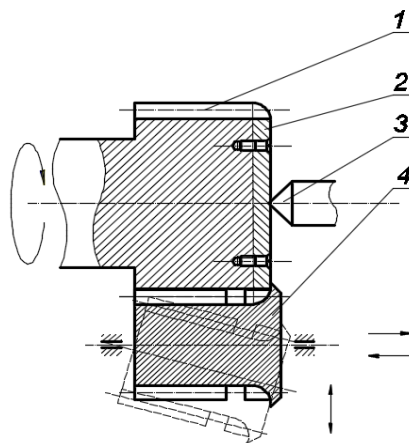


Рисунок 11– Схема пристосування для випробування накатника для заокруглення торців зубців на бронзових зразках: 1 – синхронізуюча шестерня; 2 – бронзова заготовка  
3 – центр задньої бабки; 4 – зубозаокруглюючий накатник  
Figure 11 – Scheme of the device for testing the knurling tool for rounding the ends of the teeth on bronze samples: 1 – synchronizing gear; 2 – bronze workpiece  
3 – center of the rear headstock; 4 – tooth-rounding knurling tool

Накатування торцевої поверхні проводилося на бронзових зразках без нагрівання шестерні. При взаємному обкатуванні накатника та поверхні торців зубців були отримані зубозаокруглюючі поверхні торців зубців, що за формою відповідають вимогам ДСТУ [4, 5]. Зовнішній вигляд зразка представлений на (рис. 12). Так як даний процес здійснювався без нагрівання заготовки, то в розрахунках міжцентрової відстані не враховувалась зміна геометричних параметрів деталі та інструменту внаслідок температурного розширення матеріалу.



Рисунок 12 – Торцеві поверхні зубців бронзового зразка утворені при накатуванні накатником  
 Figure 12 – The end surfaces of the teeth of the bronze sample were formed by rolling with a roller

Для перевірки формування торцевої поверхні зубців режими накатування вибирались із найменшим навантаженням на деталь при окружній швидкості накатування 0,46 м/с та швидкості радіальній подачі накатника  $0,710^{-3}$  м/с [2]. Заміри геометричних параметрів, фактично отриманого і теоретично розрахованого, профілю зубців мали розбіжність в межах 0,08...0,10 мм враховуючи, що допуск на відхилення радіуса заокруглення торця зубців для модуля 3,5 мм складав 0,7 мм. Зміщення центра заокруглення від площини симетрії зуба знаходилось в межах допуску 0,3 мм. Шорсткість сформованої поверхні не перевищувала  $R_a = 0,92$  мкм.

Отримані дані підтвердили, що накатування зубців зубчастих коліс запропонованим інструментом дозволяє забезпечити форму торцевої поверхні зубців, геометричні параметри якої відповідають технічним вимогам. На якість формування торцевої поверхні зубців впливало дотримання відповідної міжцентрової відстані при накатуванні, збільшення якої до 0,3...0,5 мм призводило до недоформування зубозаокруглених поверхонь (рис. 13).



Рисунок 13 – Недозаокруглена торцева поверхня зуба  
 Figure 13 – Underrounded end surface of the tooth

При зменшенні міжцентрової відстані на величину 0,3...0,5 мм виникало підрізання торцевої поверхні (рис. 14). Попередні експериментальні дослідження із заокруглення торцевої поверхні зубців бронзових зразків в холодному стані показали необхідність дотримання заданої міжцентрової відстані з відхиленням радіуса заокруглення 0,1...0,7 мм (при допустимому  $\pm 0,7$  мм), а відхилення осі симетрії зуба становило 0,1...0,15 мм (при допустимому 0,3 мм). Шорсткість поверхні дорівнювала  $R_a = 0,86...0,92$  мкм.

Отже, дані дослідження підтвердили можливість проведення розрахунків геометричних параметрів зубозаокруглюючих накатників запропонованою методикою, які б забезпечили якісне формування робочих поверхонь зубців зубчастих коліс.

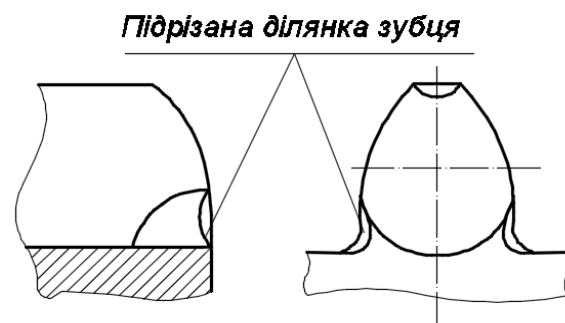


Рисунок 14 – Підрізана торцева поверхня зубця  
Figure 14 – The cut end surface of the tooth

### **Висновки.**

1. Моделювання процесу обкатування в програмі AutoCad дозволяє достатньо просто отримати профілі взаємно огинаючих поверхонь та візуально визначити дефекти формування зубозаокруглюючих впадин.
2. 3d-моделювання в програмі AutoCad дає можливість отримати пластикові зразки поверхонь шляхом друку на 3d-принтері.
3. Попереднє обкатування надрукованих на 3d-принтері зразків дозволяє скоригувати геометричні розміри інструменту для нарізання зубозаокруглюючих впадин.
4. Використання схеми накатування, при якій накатування евольвентного профілю та заокруглення торцевої поверхні здійснюється різними накатниками є більш доцільним.
5. Це дає можливість підвищити ступінь точності накатаних зубчастих коліс, так як вимоги до їх евольвентних поверхонь значно вище, ніж до форми заокруглення торцевої поверхні зубців.
6. Виготовлення зубчастих коліс для автомобільних коробок передач та верстатів попереднім (чорновим накатуванням) дає можливість одночасно формувати заокруглення та фаски на торцевих поверхнях зубців, що значно зменшує трудомісткість виробництва цих деталей.

### **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Prabhudev Mallapur, Shiva Krishna J, Umesh Hosmani et al. Design of Gear Tooth Rounding and Chamfering Machine. Trends in Machine Design. 2017; 4(3): 38–44p. DOI: 10.13140/RG.2.2.29305.93285.
2. Голяк Олег. Визначення оптимальних режимів відновлення шестерень накатуванням / Олег Голяк, Андрій Дулеба // Вісник Національного Транспортного університету. – 2004. – № 9 . С. 23–27.
3. Голяк Олег. Методика розрахунку геометричних параметрів зубозаокруглюючого накатника / Олег Голяк, Володимир Леонов, Андрій Дулеба, Юрій Сопочко // Вісник Національного Транспортного університету. – 2004. – №9. С. 15–20.
4. ДСТУ ISO 1328-1:2006 Колеса зубчасті циліндричні. Система точності ISO. Частина 1. Терміни та визначення понять і встановлені допуски відхилень бічних поверхонь зубців зубчастого колеса (ISO 1328-1:1995, IDT).
5. ДСТУ ISO/TR 10064-1:2006 Колеса зубчасті циліндричні. Правила контролю. Частина 1. Контроль однойменних профілів зубців зубчастих коліс (ISO/TR 10064-1:1992, IDT).

### **REFERENCES**

1. Prabhudev Mallapur, Shiva Krishna J, Umesh Hosmani et al. Design of Gear Tooth Rounding and Chamfering Machine. Trends in Machine Design. 2017; 4(3): 38–44p. DOI: 10.13140/RG.2.2.29305.93285.[in English]/
2. Holiak Oleh, Duleba Andrii. (2004). Vyznachennia optymalnykh rezhymiv vidnovlennia shesteren nakatuvanniam [Determination of optimal modes of recovery of gears by rolling]. Visnyk Natsionalnoho Transportnoho universytetu – Bulletin of the National Transport University. 2004. – No. 9. P. 23–27 [in Ukrainian].



3. Oleh Holiak, Volodymyr Lieonov, Andrii Duleba, Yurii Sopotsko. (2004). *Metodyka rozrakhunku heometrychnykh parametriv zubozaokruhliuiuchoho nakatnyka* [The method of calculating the geometric parameters of the tooth of a circular knurled tool]. *Visnyk Natsionalnoho Transportnoho universytetu – Bulletin of the National Transport University*. 2004. – No. 9. P. 15–20 [in Ukrainian].

4. ДСТУ ISO 1328-1:2006 Колеса зубчасті циліндричні. Система точності ISO. Частина 1. Терміни та визначення понять і встановлені допуски відхилень бічних поверхонь зубців зубчастого колеса (ISO 1328-1:1995, IDT)/

5. ДСТУ ISO/TR 10064-1:2006 Колеса зубчасті циліндричні. Правила контролю. Частина 1. Контроль однойменних профілів зубців зубчастих коліс (ISO/TR 10064-1:1992, IDT).

#### РЕФЕРАТ

Дулеба А.Д. 3D-модельовання зубозаокруглюючих впадин накатника для формування торцевих поверхонь зубців шестерень транспортних засобів накатуванням / А.Д. Дулеба, Ю.О. Сопощко, Н.В. Дулеба // *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

В статті теоретично обґрунтована та практично підтверджена можливість формування торцевих поверхонь зубців шестерень обкатуванням зубозаокруглюючим накатником. В програмі AutoCad було змодельоване зачеплення обкатуваних заготовки накатника та шестерні із заокругленими торцевими поверхнями зубців. В результаті чого, були утворені фасонні впадини зубозаокруглюючого накатника, які дозволяють формувати заокруглені торцеві поверхні зубців обкатуванням. На 3d-принтері були надруковані із пластику зразки фрагментів зубозаокруглюючої впадини накатника та торцевої поверхні зубця шестерні. Отримані зразки були закріплені на спеціальному обертальному пристрої для перевірки можливості зачеплення фасонної впадини накатника із торцевою поверхнею зубця шестерні. При обкатуванні зразків модель торцевої поверхні зуба чітко входила у модель фасонної впадини та виходила з неї. Це підтверджувало обернену можливість формування торцевої поверхні зубців змодельованою фасонною впадиною.

На основі результатів моделювання був виготовлений накатник із фасонними зубозаокруглюючими впадинами із сталі. Формування фасонної впадини здійснювалось пальцевою фрезою. На спеціальному пристосуванні, створеному на базі токарного верстата, було здійснено формування торцевої зубозаокругленої поверхні зубців виготовленим накатником на бронзових зразках. Результати досліджень показали задовільну якість утворення торцевої поверхні зубців зразків.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** НАКАТУВАННЯ, ЗУБОЗАОКРУГЛЮЮЧИЙ НАКАТНИК, ФАСОННА ВПАДИНА, ТОРЦЕВА ПОВЕРХНЯ ЗУБЦЯ ШЕСТЕРНІ, 3D-МОДЕЛЬ ФАСОННОЇ ВПАДИНИ, 3D-МОДЕЛЬ ТОРЦЕВОЇ ПОВЕРХНІ ЗУБЦЯ, БРОНЗОВИЙ ЗРАЗОК ШЕСТЕРНІ.

#### ABSTRACT

Andrii Duleba, Yurii Sopotsko, Nadiia Duleba. 3D modeling of the tooth-rounding depressions of the roller for forming the end surfaces of the teeth of the gears of vehicles by rolling. *Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences»*. Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article theoretically substantiates and practically confirms the possibility of forming the end surfaces of gear teeth by rolling with a tooth-rounding roller. In the AutoCad program, the engagement of the rolled-in blanks of the knurl and the gear with the rounded end surfaces of the teeth was modeled. As a result, shaped depressions of the tooth-rounding knurl were formed, which allow forming the rounded end surfaces of the teeth by rolling. Samples of fragments of the tooth-rounding depression of the knurl and the end surface of the gear tooth were printed on a 3d printer. The obtained samples were fixed on a special rotary device to check the possibility of engagement of the shaped recess of the knurled wheel with the end surface of the gear tooth. When the samples were rolled, the model of the end surface of the tooth clearly entered and exited the model of the shaped cavity. This confirmed the inverse possibility of forming the end surface of the teeth with a modeled shaped depression.

Based on the modeling results, a knurling tool with shaped tooth-rounding depressions made of steel was manufactured. The shaped depression was formed with a finger mill. On a special device, created on the basis of a lathe, the formation of the tooth-rounded end surface of the teeth was carried out using a knurling tool on bronze samples. The results of the research showed the satisfactory quality of the formation of the end surface of the teeth of the samples.

KEY WORDS: ROLLING, TOOTH ROUNDING KNUCKLE, SHAPED POCKET, END SURFACE OF GEAR TEETH, 3D MODEL OF SHAPED POCKET, 3D MODEL OF TOOTH END SURFACE, BRONZE SPECIMEN OF GEAR.

**АВТОРИ:**

Дулеба Андрій Дмитрович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: a.d.duleba@gmail.com, тел. (044)2809805, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к.104а, orcid.org / 0000-0001-6333-1737

Сопощко Юрій Олександрович, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: yuriysopotsko@gmail.com, тел. (044)2809805, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к.102, orcid.org/0000-0002-0458-7844

Дулеба Надія Вікторівна, кандидат економічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри економіки, e-mail: N.V.Duleba@gmail.com, тел. (044)2803016, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к.313, orcid.org/0000-0002-3881-2413

**AUTHOR:**

Duleba Andrei D., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: a.d.duleba@gmail.com, tel. (044)2809805, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 104a, orcid.org / 0000-0001-6333-1737.

Sopotsko Yury O., National Transport University, senior lecturer of the department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: yuriysopotsko@gmail.com, tel. (044)2809805, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich-Pavlenko str., 1, of. 102, orcid.org/0000-0002-0458-7844

Duleba Nadiya V., associate professor, National Transport University, associate professor of the Department of Economics, e-mail: N.V.Duleba@gmail.com, tel. (044)2803016, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich-Pavlenko str., 1, of. 313, orcid.org/0000-0002-3881-2413

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Лісовал А.А., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

Калініченко В.І., кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, Київ, Україна.

**REVIEWER:**

Lisoval A. A., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Professor of the Department of engines and heat engineering, Kyiv, Ukraine.

Kalinichenko V.I., candidate of technical sciences, Senior Research Fellow, G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.