

УДК 621.86

Ляшук О. Л. д. т. н, доц., Дячун А.Є. к. т. н. доц, О.Л. Третьяков
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ЗАГОТОВКИ В ПРОЦЕСІ НАРІЗАННЯ ЗОВНІШНІХ РАДІУСНИХ КАНАВОК ПРИСТРОЄМ ІЗ ДЕКІЛЬКОМА РІЗЦЯМИ

Наведено конструкцію пристрою для визначення деформації заготовки в процесі нарізання зовнішніх радіусних канавок чотирма різцями одночасно. Виведені аналітичні залежності для визначення деформації заготовки в напрямку осі у при статичних навантаженнях та одержано диференціальне рівняння пружної лінії деформації заготовки в напрямку осі z : Наведено графічні залежності величини деформації в напрямку осі у заготовки із сталі діаметром $d=20$ мм довжиною $l=140$ мм в процесі нарізання зовнішньої канавки. Встановлено, що для забезпечення вищої точності нарізання зовнішньої канавки доцільно застосувати пристрій для нарізання канавки замість використання одного різця, оскільки це призводить до зменшення величини деформації заготовки за рахунок вищої жорсткості системи заготовка-пристрій, а також часткової компенсації сил різання протилежно розташованих різців.

Ключові слова: гвинтова канавка, технологічний процес, гвинтовий елемент, різцева головка

Постановка проблеми. Стан розвитку технологічних процесів у машинобудуванні вимагає істотного покращення експлуатаційних і технологічних параметрів машин та технологічного оснащення, які б забезпечили високу конструктивну та технологічну якість виготовлення деталей машин, що дало б змогу підвищити та покращити якість продукції, підвищити надійність і довговічність машин, зменшити собівартість їх виготовлення і відновлення. На основі вище сказаного виникає необхідність у дослідженні навантажень на елементи системи пристрій-різці-заготовка та характер деформації її складових.

Аналіз результатів останніх досліджень. Дослідження технологічних процесів проточування циліндричних поверхонь різцевими головками та їх динаміки присвячені роботи вчених Глубенцова А.Н. [1], Комарова М.С. [2], Гевка Б.М. [3] та інших. Однак питання навантаження окремих елементів різцевих головок в процесі нарізання в їхніх роботах не розглядалися. Дослідженням питання проектування і виготовлення гвинтових елементів присвячені праці Гевка Б.М. [3, 9], Пилипця М.І. [3, 8], Рукотяна С.Е. [6], Василькова В.В. [3, 10] та багатьох інших. Однак в цих працях обґрунтовано лише технології виготовлення гвинтових елементів, а питання проектування технологічних процесів і технологічного забезпечення для виготовлення вузлів на їх основі залишилося поза увагою.

Мета роботи є дослідження деформацій окремих елементів різцевих головок, зокрема різців в процесі нарізання ними зовнішніх радіусних канавок.

Реалізація роботи. Деформація заготовки в процесі нарізання зовнішніх радіусних канавок декількома різцями одночасно на токарно-гвинторізному верстаті призводить до виникнення відхилень форми гвинтової канавки, тому дослідження цього процесу є важливою задачею. Основними причинами відхилень форми гвинтової канавки є:

- 1) недосконалість конструкції різців, їх ріжучих і направляючих елементів;
- 2) неправильна подача інструментів на початку проточування;
- 3) неправильно вибрані режими різання;
- 4) не достатня жорсткість пристрою для нарізання канавки;
- 5) неоднорідність матеріалу оброблюваної деталі;
- 6) втрата стійкості різців в процесі різання;
- 7) затуплення ріжучих кромки різців;
- 8) відсутність взаємного врівноважування радіальних сил різання на різцях.

Перші чотири причини носять систематичний характер і можуть бути легко усунені. Решта причин потребують більш детального вивчення, тому що їх поява носить випадковий характер.

Отже, найсуттєвіший вплив на точність гвинтової канавки мають фактори, що діють в площині, яка перпендикулярна осі обертання заготовки.

В процесі розрахунків приймаємо жорсткість шпинделя і патрона набагато більшою ніж жорсткість заготовки, тому деформації у цих елементах не враховані. Радіальні переміщення заготовки визначаємо із аналізу деформацій пружної системи, представленій на рисунку 1, на якому зображено розрахункову схему для визначення деформації заготовки 5 в процесі нарізання зовнішньої радіусної канавки 8 чотирма різцями 1, 2, 3, 4 одночасно, що розміщені у пристрої для нарізання канавки. Ріжучі кромки різців опираються на поверхні різання. Розглянемо в першому наближенні статичні деформації заготовки.

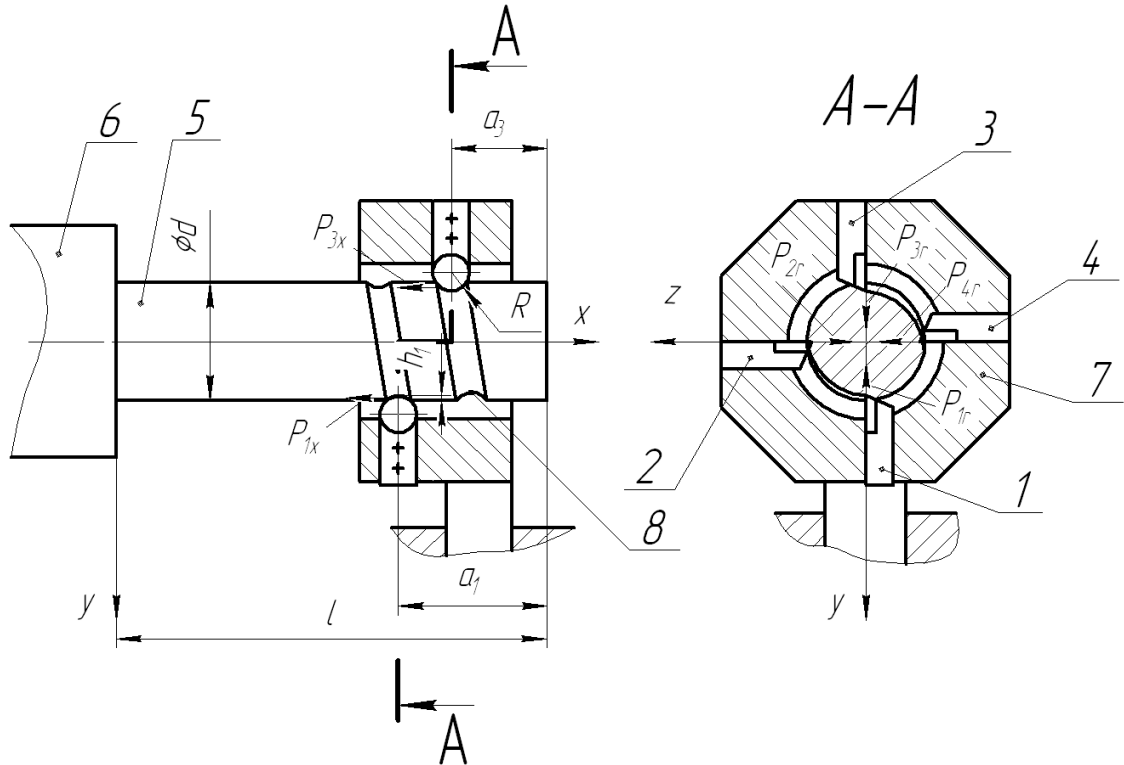


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення деформації заготовки в процесі нарізання зовнішніх радіусних канавок чотирма різцями одночасно: 1, 2, 3, 4 – радіусні канавочні різці; 5 – заготовка; 6 – патрон; 7 – пристрій для нарізання канавки; 8 – зовнішня радіусна канавка

На заготовку в процесі різання радіусної канавки діють радіальні $P_{1r}, P_{2r}, P_{3r}, P_{4r}$, осьові $P_{1x}, P_{2x}, P_{3x}, P_{4x}$ та тангенціальні $P_{1z}, P_{2z}, P_{3z}, P_{4z}$ сили різання на кожному різці. Ці сили різання залежать від величини подачі різців S , швидкості різання V , радіуса R та глибини канавки h_i і визначаються експериментальним методом. При цьому їх можна представити степеневими функціями:

$$P_{ir} = K_1 R^{m_1} S^{y_1} V^{n_1} h_i^{z_1}; \quad (1)$$

$$P_{ix} = K_2 R^{m_2} S^{y_2} V^{n_2} h_i^{z_2}; \quad (2)$$

$$P_{iz} = K_3 R^{m_3} S^{y_3} V^{n_3} h_i^{z_3}; \quad (3)$$

де $K_1, K_2, K_3, m_1, m_2, m_3, y_1, y_2, y_3, n_1, n_2, n_3, z_1, z_2, z_3$ – коефіцієнти, що визначаються експериментально і залежать від властивостей оброблюваних та різальних матеріалів, а також від геометрії різального інструменту;
 i – номер різця.

Для заготовки при статичному навантаженні диференціальне рівняння пружної лінії деформації в напрямку осі y в процесі нарізання зовнішньої канавки одним різцем без застосування пристрою для нарізання канавки має наступний вигляд [7, 8]:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M(x) - P_{ix} \cdot y, \quad (4)$$

де E – модуль пружності матеріалу заготовки, МПа;
 I – момент інерції поперечного перерізу циліндричної заготовки, мм⁴;
 $M(x)$ – момент згину, Н·мм;

Диференціальне рівняння пружної лінії деформації заготовки в напрямку осі y в процесі нарізання зовнішньої канавки декількома різцями із застосуванням пристрою для нарізання канавки має наступний вигляд:

$$(EI + E_2I_2) \frac{d^2y}{dx^2} = M(x) - (P_{1x} + P_{2x} + P_{3x} + P_{4x}) \cdot y, \quad (5)$$

де E_2 – модуль пружності матеріалу пристрою для нарізання канавки, МПа;
 I_2 – момент інерції поперечного перерізу пристрою для нарізання канавки в напрямку осі y , мм⁴.
Момент згину визначаємо за формулою:

$$M(x) = \int_x^{l-a_3} P_{3r} dx + \int_x^{l-a_1} -P_{1r} dx + M(0), \quad (6)$$

де l – довжина заготовки, мм;
 $M(0) = 0$ – момент згину в початковому перерізі, Н·мм;
 a_i – відстань від кінця заготовки до середини розташування різця, мм;
Підставляючи рівняння (6) в рівняння (5), одержуємо:

$$(EI + E_2I_2) \frac{d^2y}{dx^2} = \int_x^{l-a_3} P_{3r} dx + \int_x^{l-a_1} -P_{1r} dx - (P_{1x} + P_{2x} + P_{3x} + P_{4x}) \cdot y. \quad (7)$$

Момент інерції поперечного перерізу циліндричної заготовки [7]:

$$I = \frac{\pi d^4}{64}, \quad (8)$$

де d – діаметр циліндричної заготовки, мм.

Після інтегрування рівняння (7), враховуючи (8), одержуємо:

$$\left(E \frac{\pi d^4}{64} + E_2I_2 \right) \frac{d^2y}{dx^2} = P_{3r}(l - a_3 - x) - P_{1r}(l - a_1 - x) - (P_{1x} + P_{2x} + P_{3x} + P_{4x}) \cdot y. \quad (9)$$

Диференціальне рівняння (9) описує деформацію заготовки в напрямку осі y при статичних навантаженнях.

Проводячи аналогічні розрахунки, одержуємо диференціальне рівняння пружної лінії деформації заготовки в напрямку осі z :

$$\left(E \frac{\pi d^4}{64} + E_2I_3 \right) \frac{d^2z}{dx^2} = P_{4r}(l - a_4 - x) - P_{2r}(l - a_2 - x) - (P_{1x} + P_{2x} + P_{3x} + P_{4x}) \cdot z. \quad (10)$$

де I_3 – момент інерції поперечного перерізу пристрою для нарізання канавки в напрямку осі z , мм⁴.

Загальні розв'язки диференціальних рівняння (9) та (10) мають вигляд:

$$y = A_1 \sin(k_1x) + A_2 \cos(k_1x) + y^*, \quad (11)$$

$$z = A_3 \sin(k_2x) + A_4 \cos(k_2x) + z^*, \quad (12)$$

де A_1, A_2, A_3, A_4 – коефіцієнти, які визначаються із початкових умов, мм;

y^*, z^* – часткові розв'язки рівнянь;

k_1, k_2 – частотні характеристики.

Початкові умови для розв'язку рівнянь (9) та (10) наступні при $x=0$: $y=0, \frac{dy}{dx}=0, z=0,$

$$\frac{dz}{dx}=0.$$

Відхилення від круглості деталі після проточування визначається виразом

$$\Delta r = y - z. \quad (13)$$

Загальна деформація заготовки при статичних навантаженнях:

$$u = \sqrt{y^2 + z^2}. \quad (14)$$

Оскільки диференціальні рівняння (9) та (10) є досить складними, проводимо його точний розв'язок за допомогою числового методу. Результати розв'язку представлено у вигляді графіків на рис. 2, 3, 4.

Реальне значення величин деформації заготовки в процесі нарізання зовнішніх радіусних канавок є вищими внаслідок виникнення динамічних навантажень. Оскільки частота обертання заготовки є набагато нижчою за частоту власних коливань заготовки та пристрою для нарізання канавки і ймовірність виникнення резонансу є незначною, реальне значення величини деформації заготовки в процесі нарізання зовнішніх радіусних канавок визначається добутком величини загальної деформації заготовки при статичних розрахунках на коефіцієнт динамічності: $u_d = u \cdot k_d$.

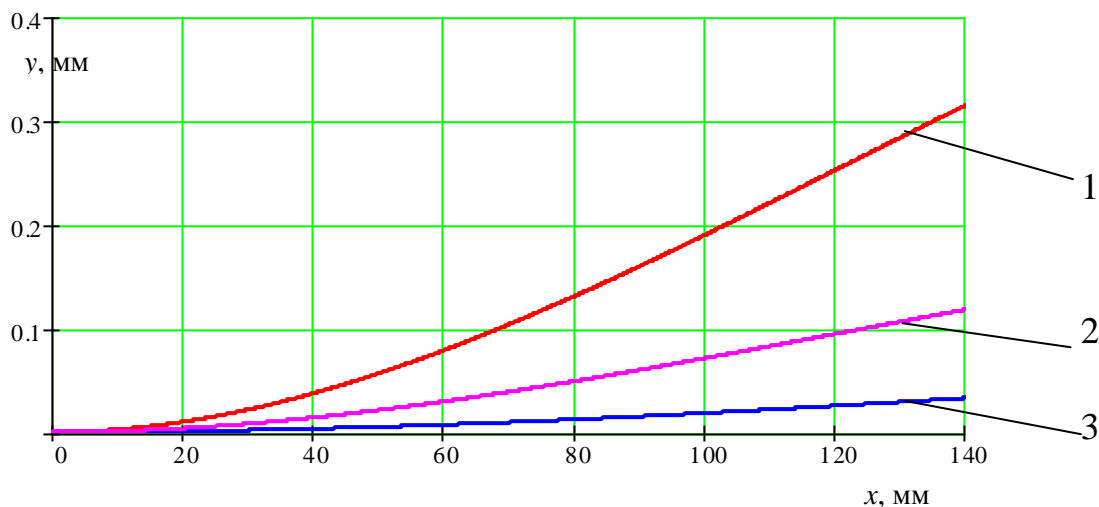


Рис. 2. Графіки залежності величини деформації в напрямку осі y заготовки із сталі діаметром $d=20$ мм довжиною $l=140$ мм в процесі нарізання зовнішньої канавки: 1) при нарізанні канавки одним різцем без застосування пристрою для нарізання канавки; 2) при врізанні першого різця, коли не відбувається часткова компенсація сил різання протилежно розташованих різців із застосуванням пристрою для нарізання канавки 3) при нарізанні канавки всіма різцями із застосуванням пристрою для нарізання канавки

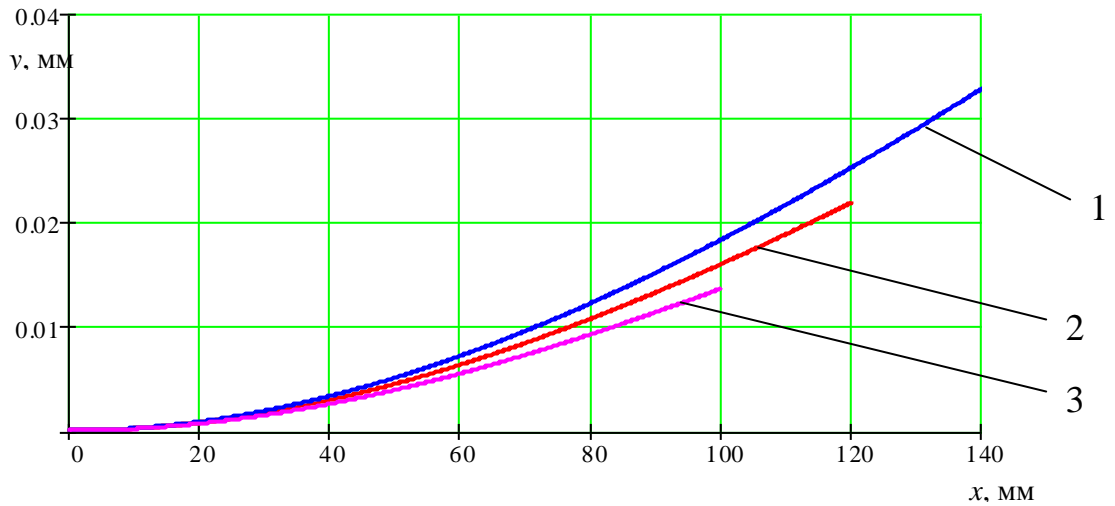


Рис. 3. Графіки залежності величини деформації в напрямку осі у заготовки із сталі діаметром $d=20$ мм при нарізанні канавки всіма різцями із застосуванням пристрою для нарізання канавки: 1) $l=140$ мм; 2) $l=120$ мм; 3) $l=100$ мм

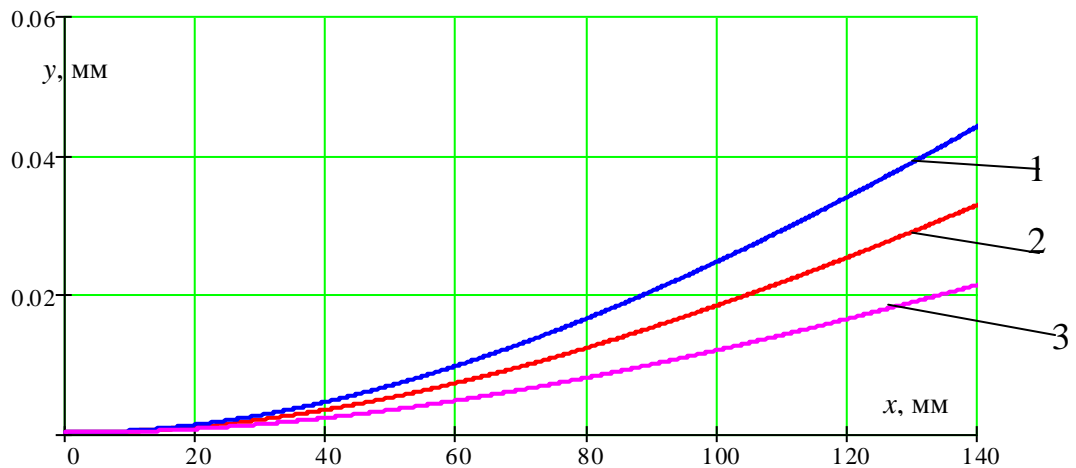


Рис. 4. Графіки залежності величини деформації в напрямку осі у заготовки із сталі довжиною $l=140$ мм при нарізанні канавки всіма різцями із застосуванням пристрою для нарізання канавки: 1) $d=15$ мм; 2) $d=20$ мм; 3) $d=25$ мм

Висновки. Для забезпечення вищої точності нарізання зовнішньої канавки доцільно застосувати пристрій для нарізання канавки замість використання одного різця, оскільки це призводить до зменшення величини деформації заготовки за рахунок вищої жорсткості системи заготовка-пристрій, а також часткової компенсації сил різання протилежно розташованих різців. Із рисунка 3 можна побачити, що збільшення довжини заготовки l призводить до збільшення величини деформації заготовки в напрямку осі y , а на рисунку 4 наведено, що зменшення діаметра заготовки d призводить до збільшення величини деформації заготовки в напрямку осі y .

Інформаційні джерела

1. Голубенцев А.Н. Динамика переходных процессов в машинах со многими массами / Голубенцев А.Н. – М.: МАШГИЗ, 1969. – 238 с.
2. Комаров М.С. Динамика механизмов машин / Комаров М.С. – М.: Машиностроение, 1969. – 296 с.
3. Теоретичні основи формоутворення різнопрофільних гвинтових заготовок деталей машин / [Гевко Б.М., Пилипець М.І., Васильків В.В., Радик Д.Л.]. – Тернопіль: ТДТУ, 2009. – 457 с.

4. Павловський М. А. Теоретична механіка / Павловський М. А. – К.: Техніка, 2002. – 512 с.
5. Бронштейн И. Н. Справочник по математике / И. Бронштейн, К. Семендяев – М.: Наука, 1981. – 718с.
6. Деформация при холодной вальцовке спиралей шнеков / С.Е.Рокотян, В.Е. Гурвич // Кузнечно-штамповочное производство. – 1983. – №10. – С. 8-10.
7. Беляев Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. – М. : Наука, 1976. – 608 с.
8. Пилипець М.І. Науково-технологічні основи виробництва навивних заготовок деталей машин: дис... д-ра техн. наук: 05.02.08 / Михайло Ількович Пилипець; Нац. ун-т «Львів. Політехніка». – Львів, 2002. – 445 с.
9. Технологічні основи формоутворення спеціальних профільних гвинтових деталей / [Б. М. Гевко, О. Л. Ляшук, І. Б. Гевко та ін.]. – Тернопіль : ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. – 367 с.
10. Васильків В.В. Розвиток науково-прикладних основ розроблення технологій виробництва гвинтових і шнекових заготовок з використанням уніфікації: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.02.08 / Василь Васильович Васильків; Нац. ун-т «Львів. Політехніка». – Львів, 2015. – 312 с.

Ляшук О. Л. д. т. н, доц., Дячун А.Е. к. т. н. доц, О.Л. Третяков
Тернопольський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ЗАГОТОВКИ В ПРОЦЕССЕ НАРЕЗКИ ВНЕШНИХ РАДИУСНЫЕ КАНАВОК УСТРОЙСТВОМ С НЕСКОЛЬКИМИ РЕЗЦАМИ

Приведено конструкцію пристрою для визначення деформації заготовки в процесі різки зовнішніх радіусних канавок чотирма різцями одночасно. Виведені аналітичні залежності для визначення деформації заготовки в напрямленні осі у при статических навантаженнях і отримано диференціальне рівняння пружої лінії деформації заготовки в напрямленні осі z. Приведені графічні залежності величини деформації в напрямленні осі у заготовки з сталі діаметром $d = 20$ мм довжиною $l = 140$ мм в процесі різки зовнішньої канавки. Установлено, що для забезпечення високої точності різки зовнішньої канавки цілесообразно применити пристрій для нарізання канавки замість використання одного різця, оскільки це приводить до зменшенню величини деформації заготовки за рахунок більш високої жорсткості системи заготовка пристрій, а також частичної компенсації сил різання протилежно розположених різців.

Ключевые слова: винтовая канавка, технологический процесс, винтовой элемент, резцовая головка

O. Lyashuk, A. Diachun, A. Tretyakov
Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

THE STUDY OF THE WORKPIECE DEFORMATION IN THE PROCESS OF CUTTING EXTERNAL RADIUS GROOVES BY THE DEVICE WITH SEVERAL CUTTING TOOLS

The design of the device for determining the deformation of the workpiece during the cutting of outer radius grooves with four incisors simultaneously is given. The derived analytical dependences for determining the deformation of the workpiece in the direction of the y axis under static loads, and the differential equation of the elastic deformation line of the workpiece in the z axis direction is obtained. Graphical dependences of the deformation amount in the direction of the y axis of the workpiece from steel with a diameter $d = 20$ mm of length $l = 140$ mm during cutting outer groove. It is found that for high accuracy cutting external groove advisable to use a device for cutting a groove instead of using a cutter, as it leads to a decrease of the preform deformation due to the higher stiffness of the system preform device, as well as partial compensation for the cutting forces oppositely disposed incisor.

Keywords: screw groove, technological process, screw element, incisive head

Стаття надійшла до редакції 15.05.2018.