

УДК 621 7.043

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-26

Васильків В.В., Пилипець М.І., Данильченко Л.М., Радик Д.Л.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НАВИВАННЯ КІЛЬЦЕВИХ СЕКТОРНИХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК

*Отримано аналітичні залежності, які описують зв'язок параметрів початкових кільцевих секторних заготовок та інструментів на силові показники процесу формування. Досліджено вплив геометричних параметрів початкових заготовок, температури їх нагріву, параметрів інструментів та мастильних матеріалів на енергосилові показники процесу виготовлення гвинтових заготовок. Наведено залежності впливу радіуса початкових кільцевих секторних заготовок і діаметра ролика інструменту на конструктивні параметри гвинтових заготовок та енергосилові параметри процесу. Встановлено, що зі зростанням радіуса зовнішньої крайки початкової заготовки при однаковому плечі зусилля згинання зростає момент навивання та затрачена робота. Використання секторних кільцевих заготовок зі змінним за їх довжиною радіусами зовнішньої крайки дозволяє отримати гвинтові заготовки із однаковими зовнішніми та внутрішніми діаметрами, але з різною товщиною зовнішніх та внутрішніх крайок витка. Дослідження впливу кроку трикутних вирізів на початкових заготовках на енергосилові параметри показали, що наявність вирізів суттєво зменшує зусилля деформації. Отримані результати можуть бути також використані для розрахунку параметрів кільцевої секторної заготовки при виготовленні навивних гвинтових заготовок.*

**Ключові слова:** гвинтові заготовки, навивання, кільцева секторна заготовка.

**Постановка проблеми.** Технологічна операція виготовлення гвинтових (ГЗ) заготовок є однією із основних у виробництві гвинтових виробів до яких належать робочі органи екструдерів, шнекових транспортерів, грануляторів, змішувачів, морських якорів, штанг гвинтових бурів, паль та анкерів, гвинтових пресів, тощо. Їх номенклатура та типорозміри постійно розширюється [1]. Одним із ефективних технологічних способів отримання згаданих заготовок є навивання смуг ребром на оправи. Така технологія дозволяє отримувати вироби з питомою висотою витка (відношенням висоти витка  $B$  до його максимальної товщини  $H$ ) до 20 од. і радіусом внутрішньої крайки витка не менше  $(1,6 \dots 1,8)B$ . Такі граничні значення зумовлені наявністю обмеження, при якому видовження зовнішніх шарів не повинно призвести до їх руйнування. Розроблення технології виготовлення широковиткових ГЗ із  $B/H > 20$  та малим внутрішнім діаметром дасть можливість розширити номенклатуру та типорозміри виробів, виготовлених із таких заготовок.

**Аналіз відомих результатів досліджень.** Дослідження стосовно розроблення технологій виготовлення широковиткових ГЗ із малим внутрішнім діаметром витка присвячені праці [1-15]. Вони охоплюють технологічні способи прокатування, формування в штампах, оброблення різанням та навивання смуг на оправи. Однак існуючі технічні рішення характеризуються енерговитратністю і реалізуються з використанням спеціального устаткування в умовах масового та крупносерійного типів виробництв. Однією із раціональних технологій, яка дозволяє отримувати ГЗ із  $B/H > 20$  в умовах дрібносерійного та одиничного типів виробництв є спосіб навивання ребром на оправу початкової кільцевої секторної заготовки (КСЗ) спеціальної форми, виконаної у вигляді кільцевого сектору, спіралі чи смуги з певним радіусом кривизни [16]. Крім цього, в окремих випадках у такій кільцевій секторній заготовці зі сторони її внутрішньої крайки можуть бути виконані трикутні вирізи. У такому випадку коефіцієнт нерівномірності витягування  $\psi_s$  гвинтової заготовки, отриманої з КСЗ, є меншим за коефіцієнт нерівномірності витягування  $\psi_l$  гвинтової заготовки, отриманої з прямолінійної смуги. При цьому граничне значення  $\psi_{lim}$  такого коефіцієнта визначається пластичністю матеріалу і залежить від відносного видовження  $\delta_s$  при стандартному випробуванні металу на розтяг [15]:  $\psi_{lim} = (1 + 2\delta_s)^2$ . Завдяки цьому у процесі навивання КСЗ зменшено ступінь деформації такої початкової заготовки порівняно з прямолінійною плоскою стрічкою, за інших однакових умов, створюючи резерв для зменшення енергосилових

параметрів процесу формоутворення таких заготовок, збільшення ширини витка та зменшення мінімального радіусу згинання стрічки до граничного значення, який обмежується ресурсом пластичності металу.

Така технологія дозволяє без кінцевого оброблення за зовнішньою крайкою отримувати ГЗ із великими значеннями висоти та малим діаметром внутрішньої крайки витка. Тому для ефективного практичного використання такої технології існує необхідність у визначенні ширини початкової заготовки з врахуванням значень конструктивних параметрів формувального ролика та особливостей його розміщення відносно оправи, а також їх впливу на силові параметри процесу навивання.

**Мета роботи.** Отримати аналітичні залежності, які описують зв'язок параметрів початкових КСЗ та інструментів на силові показники процесу формоутворення і конструктивні параметри ГЗ у процесі їх виготовлення способом навивання. Дослідити вплив геометричних параметрів КСЗ, параметрів інструментів та мастильних матеріалів на енергосилові показники процесу виготовлення ГЗ.

**Викладення основного матеріалу.** У процесі навивання ребром на оправу початкової заготовки у вигляді КСЗ має місце усадка стрічки такої заготовки внаслідок зминання за зовнішньою крайкою та згину під впливом обтискного ролика (рис. 1). Внаслідок цього ширина  $B_0$  КСЗ є більшою від ширини витка ГЗ на величину

$$\Delta B = B_0 - B = \Delta B_{z_2} - 2\Delta B_p, \quad (1)$$

де  $\Delta B_{z_2}$  – усадка стрічки початкової заготовки від згину,  $2\Delta B_p$  – усадка стрічки від зминання на деформувальному ролику,  $B_0$  – ширина початкової заготовки.

З урахуванням ділянки зминання значення плеча  $l$  прикладання сили  $P$

$$l = l_0 + 0,5l_k / \cos \alpha_p, \quad (2)$$

де  $l_0$  – плече прикладання сили  $P$  за відсутності ділянки зминання;  $l_k$  – довжина джерела пластичного контакту стрічки з роликом;  $\alpha_p$  – кутовий параметр розміщення обтискного ролика.

Із  $\Delta O_y O O_1$  кутовий параметр  $\alpha_p$  розміщення обтискного ролика визначається:

$$\alpha_p = \arccos \left[ \frac{(R_z - d_0 - B_0)^2 + (R_z - \Delta B_p + 0,5D_p)^2 - (0,5d_0 + H_k + 0,5D_p)^2}{2(R_z - d_0 - B_0)(R_z - \Delta B_p + 0,5D_p)} \right]. \quad (3)$$

де  $D_p, d$  – відповідно діаметри обтискного ролика та оправи;  $H_k$  – висота калібру між поверхнями оправи та обтискного ролика (у граничному випадку  $H_k = B_0$ );  $R_z$  – радіус зовнішньої крайки початкової заготовки.

Оскільки  $\Delta B_p \ll R_z + 0,5D_p$ , то вираз (3) можна подати так:

$$\alpha_p = \arccos \left[ \frac{(R_z - d_0 - B_0)^2 + (R_z + 0,5D_p)^2 - (0,5d_0 + H_k + 0,5D_p)^2}{2(R_z - d_0 - B_0)(R_z + 0,5D_p)} \right], \quad (4)$$

Величину плеча прикладання зусилля згину визначаємо за формулою:

$$l_0 = (R_z - \Delta B_p) \operatorname{tg} \alpha_p, \quad (5)$$

або  $l_0 = R_z \operatorname{tg} \alpha_p$ , так як

$$R_z \gg \Delta B_p. \quad (6)$$

Із  $\Delta O_y M N$  величина усадки стрічки на ролику

$$\Delta B_p = D_p + R_z - \sqrt{D_p^2 - l_k^2} - \sqrt{R_z^2 - l_k^2}. \quad (7)$$

Величина усадки стрічки від згину визначаємо за формулою:

$$\Delta B_{z_2} = B_0 - \Delta B_p - (R_{z_2} - 0,5d) = B_0 - \Delta B_p - \left( \frac{R_x R_z}{R_x R_z} - 0,5d \right) \quad (8)$$

де  $R_{z_2}$  – радіус кривизни зовнішньої крайки витка.

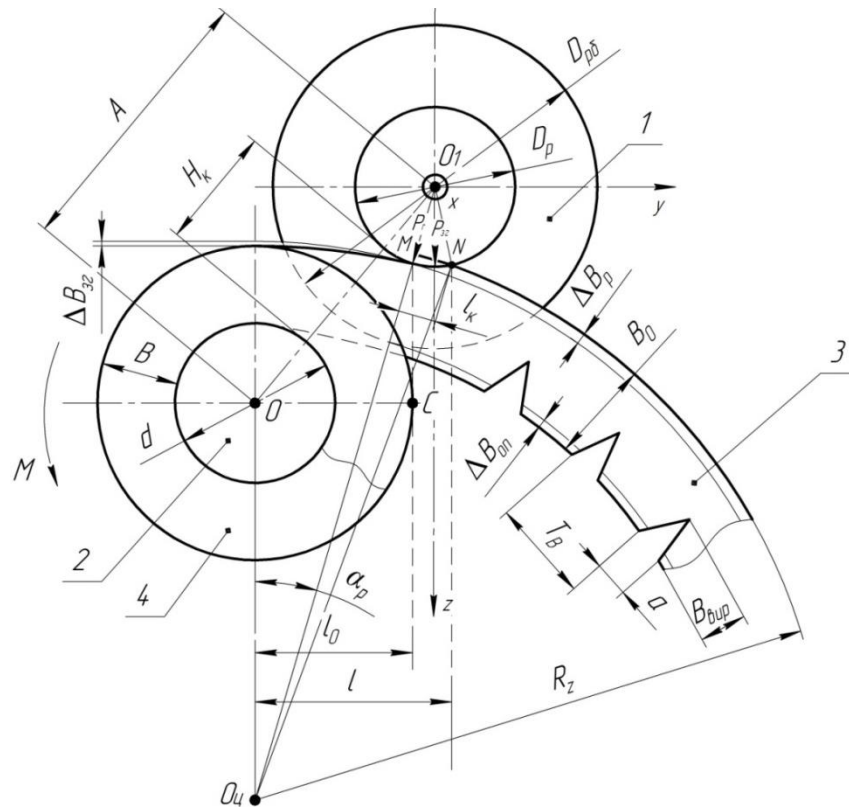


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення конструктивних параметрів початкової заготовки для інструменту з паралельним розміщенням осей ролика та оправи при виготовленні ГЗ за допомогою обтискного ролика, оснащеного притискним буртом:

1 – ролик; 2 – оправа; 3 – кільцева секторна заготовка; 4 – гвинтова заготовка

Параметр  $R_x$  визначаємо із рівняння, що враховує зміщення нейтральних шарів стрічки у процесі згинання на основі використання методики, описаної в роботі [17]:

$$R_x^4 - B_0 R_x^3 + a R_x^2 + b R_x + c = 0, \text{ у якому } a = 0,25 B_0^2 - 2 r_x^2 - B r_x;$$

$$b = r_x B_0 (r_x - 0,5 B_0); c = r_x^2 (r_x^2 + B_0 r_x + 0,25 B_0^2); r_x = \frac{0,5(R_z - B)d}{R_z - B - 0,5d}; R_x > 0.$$

Із аналізу такого виразу бачимо, що зі зменшенням радіуса  $R_x$  зовнішньої крайки початкової заготовки зменшується величина  $\Delta B_{32}$ , що зумовлено зменшенням ступеня деформації такої заготовки.

Припустивши, що для розглядуваного випадку справедлива формула, аналогічна залежності для визначення моменту чистого згину, то:

$$M_{32} = \varphi_\sigma \sigma_s H_0 B_S^2 / 4, \quad (9)$$

де  $H_0$  – товщина заготовки;  $B_S = B_0 - B_{вп}$ ;  $\varphi_\sigma$  – коефіцієнт, який враховує зміну напруженого стану залежно від ширини заготовки. Загалом  $\varphi_\sigma = \varphi_\sigma(D, d_0)$  і для розглядуваного випадку  $\varphi_\sigma \in [0,8; 1,15]$ .

Тоді значення сили згину  $P_{32}$  із умов згинання і змінання стрічки на ділянці довжиною  $l_k$  визначаються так:

$$P_{32} = \frac{\varphi_\sigma \sigma_s H_0 B_S^2}{4(l_0 + 0,5 l_k / \cos \alpha_p)}; \quad (10)$$

$$P_{32} = \frac{\sigma_{зм} l H_0}{\cos \alpha_p}, \quad (11)$$

де  $\sigma_{зм}$  – розрахункове напруження змінання.

Прирівнявши вирази (10) і (11), визначаємо величину джерела пластичного контакту стрічки з роликком:

$$l_k = \left( \sqrt{l_0^2 + \frac{\varphi_{\sigma} \sigma_s}{2\sigma_{зм}} B_S^2} - l_0 \right) / \cos \alpha_p \quad (12)$$

Довжину джерела пластичного контакту криволінійної стрічки з роликком можна визначити також за формулою:

$$l_k = 1,26 \frac{(P_r / 2H_0)^{0,77}}{HB^{0,88} (2D_p^{-1} + R_z)^{2,3}}, \quad (13)$$

де  $P_r / 2H_0$  – навантаження на одиницю довжини обтискного ролика;  $H_0$  – товщина заготовки;  $HB$  – твердість матеріалу заготовки;  $P_r$  – радіальна складова зусилля згину заготовки.

Із наведених залежностей бачимо, що у випадку навивання на оправу початкової заготовки із  $R_z \neq const$ ,  $R_z \in [R_{z\min}; R_{z\max}]$ ,  $B_0 = const$ ,  $B \neq const$ ,  $B \in [B_{\min}; B_{\max}]$  у якій значення  $B_{\max}$  і  $B_{\min}$  залежатимуть від відповідних граничних значень  $R_{z\min}$  і  $R_{z\max}$ .

Таким чином, розрахунок параметрів початкової заготовки здійснюють в такому порядку:

1. Вихідними даними для розрахунку є параметри  $D_p, R_z, d_0, H_k, B_0$ .
2. За формулою (4) визначають  $\alpha_p$ , за формулою (5) – величину  $l_0$ , за формулою (12) – параметр  $l_k$ .
3. Визначають величину  $l$  прикладання зусилля згину за формулою (2).
4. Визначають уточнені складові усадки стрічки: за формулою (7) величину  $\Delta B_p$ , а за формулою (8) величину  $\Delta B_{зг}$ .
5. Визначають висоту  $B$  витка ГЗ за формулою (1).
6. Коригують величину  $B_0$  і (або)  $H_k$ .
7. Повторюють розрахунок за п. 1-6 до отримання уточненого значення висоти  $B$ .

Здійснено дослідження моменту навивання та виконаної роботи, силових параметрів процесу, а також товщини зовнішньої та внутрішньої крайок витка та його ширини залежно від радіуса зовнішньої крайки КСЗ, виду змашувальних матеріалів, діаметра ролика та розмірів трикутних вирізів на початкових заготовках.

Проведено навивання КСЗ із різними радіусами  $R_z$  (62 мм; 70 мм; 78 мм) їх зовнішніх крайок, на оправі діаметром 40 мм. КСЗ товщиною 2 мм та шириною 32,5 мм зі сталі 20 попередньо нагрівали до температури 1200 °С.

Параметри налагодження інструменту: висота калібру  $A = 75$  мм, відстань між осями оправу та ролика в напрямку осі у  $l = 25$  мм.

В дослідженні використано ступеневі ролики з різними діаметрами  $D_p$  (40 мм; 60 мм; 80 мм і 100 мм). Діаметр  $D_{p\delta}$  більшої ступені підтискної частини ролика дорівнює 100 мм при  $D_p = 40$  мм, а також для значень  $D_p$ , які визначено за формулою  $D_{p\delta} = D_p + 30$  мм.

У дослідженні використовували як суцільні КСЗ, так із трикутними вирізами зі сторони її внутрішніх крайок.

Параметри вирізів були такими: крок  $T_B$ : 15; 25; 35; 45 мм; висота  $B_{\text{вир}} = 10$  мм; довжина основи вирізів – 9,6 мм; радіус  $r_B$  округлення вершини вирізів – 1 мм. При цьому використовували такі мастила: водо-графітна суміш «Графітол-В»; водна суспензія солі з добавками азотнокислого натрію.

На рис. 2 представлено залежності впливу радіуса КСЗ на геометричні параметри ГЗ та енергосилові параметри процесу їх формоутворення, на рис. 3 – залежності впливу діаметра ролика інструменту на конструктивні параметри ГЗ та енергосилові параметри процесу їх формоутворення.

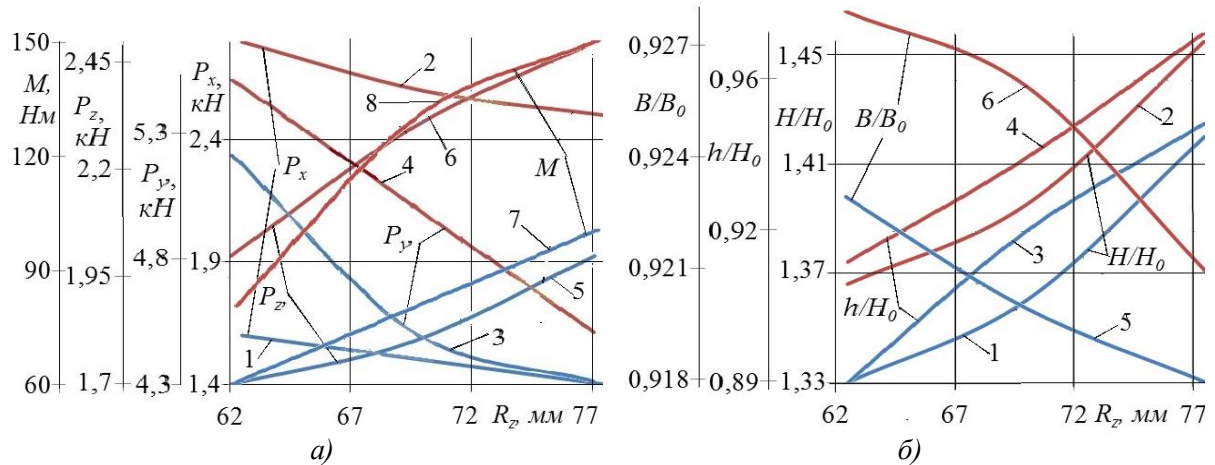


Рис. 2. Залежності величини зусиль  $P_x$  (1, 2),  $P_y$  (3, 4),  $P_z$  (5, 6) на згинаючому роликуні та моменту навивання (а), а також відношення  $H/H_0$  товщини внутрішньої крайки витка до номінальної товщини смуги (1, 2), відношення  $h/H_0$  товщини зовнішньої крайки витка до номінальної товщини смуги (3, 4) та усадки  $B/B_0$  стрічки (5, 6) від радіуса заготовки (б) при навиванні на оправу діаметром  $d = 40$  мм стрічкової заготовки зі сталі 20 при температурі  $t = 1200^\circ\text{C}$  із використанням: 1, 3, 5, 7 – водо-графітової суміші «Графітол-В»; 2, 4, 6, 8 – водної суспензії солі з добавкою азотнокислого натрію

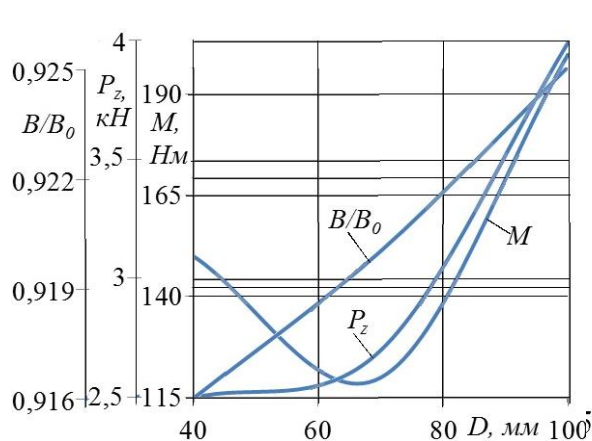


Рис. 3. Залежність моменту навивання, зусилля на роликуні, величини усадки стрічки  $B/B_0$  та силових параметрів від діаметра обтискного ролика при навиванні на оправу діаметром  $d = 40$  мм, стрічкової заготовки зі сталі 20 із  $H_0 = 2$  мм,  $B_0 = 32,5$  мм,  $A = 75$  мм,  $l = 25$  мм,  $R_z = 77,5$  мм,  $D_{p\sigma} = D_p + 30$  мм при температурі  $t = 1200^\circ\text{C}$  із використанням мастильного матеріалу у вигляді водної суспензії солі з добавкою азотнокислого натрію

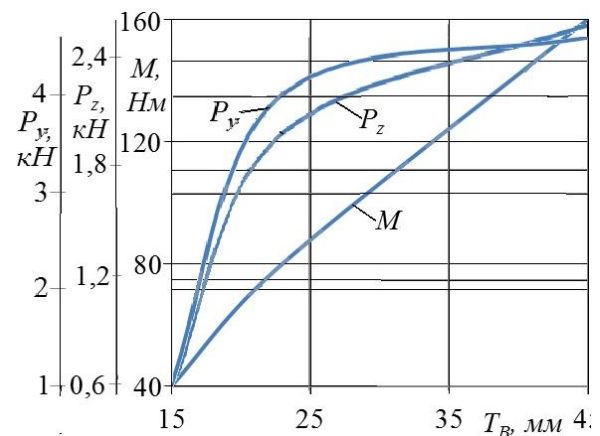


Рис. 4. Залежності моменту навивання та силових параметрів на згинаючому роликуні від кроку вирізів на заготовці при навиванні на оправу діаметром  $d = 40$  мм, стрічкової заготовки зі сталі 20 із  $H_0 = 2$  мм,  $B_0 = 32,5$  мм,  $R_z = 78$  мм,  $A = 75$  мм,  $l = 25$  мм,  $D_p = 40$  мм,  $D_{p\sigma} = 100$  мм,  $B_{вир} = 11$  мм,  $a = 9,6$  мм,  $r_B = 1$  мм при температурі  $t = 1200^\circ\text{C}$  із використанням водо-графітової суміші «Графітол-В»

З графіків, представлених на рис. 2, випливає, що зі зростанням радіуса  $R_z$  при однаковому плечі  $l$  зусилля згину заготовок зростає момент навивання та затрачена робота. Це зумовлено збільшенням ступеня деформації заготовок (рис. 2): із  $H_0 = 2$  мм,  $B_0 = 32,5$  мм,  $R_z = 78$  мм,  $A = 75$  мм,  $l = 25$  мм,  $D_p = 40$  мм,  $D_{p\sigma} = 100$  мм. Однак, найменші зусилля

деформації спостерігаються при використанні мастила «Графітол–В».

Зростання моменту навивання супроводжується зростанням силового впливу на деформувальний ролик. А використовуючи КСЗ з різним радіусом  $R_z$ , можна отримати ГЗ із однаковими зовнішніми та внутрішніми діаметрами, але різною товщиною зовнішніх та внутрішніх крайок витка.

З графіків, представлених на рис. 3, бачимо, що із збільшенням діаметра  $D_p$  ролика плече  $l$  прикладання сили згину і особливо змінання зменшуються.

При малому значенні плеча прикладання зусилля згину місце притискання заготовки в осьовому напрямку наближаються до зони пластичного згину стрічки, що важливо для попередження гофроутворення за внутрішньою крайкою спіралі.

Зростання питомої висоти перетину ГЗ пов'язано із значним збільшенням діаметра  $D_p$  обтискного ролика, що є неприйнятним із конструктивних міркувань.

Однак, із рис. 3 бачимо, що із збільшенням діаметра  $D_p$  ролика спостерігається зменшення моменту навивання внаслідок зменшення величини усадки стрічки від її контакту з роликом, а при великих значеннях діаметра інструменту ускладняється процес навивання внаслідок збільшення плеча прикладання зусилля згину стрічки та можливої втрати її стійкості.

Дослідження впливу кроку трикутних вирізів на початкових заготовках на енергосилові параметри процесу формоутворення ГЗ (рис. 4) показали, що наявність вирізів суттєво зменшує зусилля деформації. Зменшення кроку вирізів з 45 мм до 15 мм приводить до зменшення моменту навивання на 25%.

Отримані результати можуть бути використані для розрахунку параметрів КСЗ у ТП виготовлення навивних ГЗ.

**Висновки.** Отримано аналітичні залежності, які описують зв'язок параметрів початкових КСЗ та інструментів на силові показники процесу формоутворення та конструктивні параметри різнопрофільних ГЗ, які отримують способами навивання.

Досліджено вплив геометричних параметрів КСЗ, температури їх нагріву, параметрів інструментів та мастильних матеріалів на енергосилові показники процесу виготовлення навивних заготовок. Наведено залежності впливу радіуса початкових криволінійних заготовок на конструктивні параметри ГЗ та енергосилові параметри процесу їх формоутворення, а також впливу діаметра ролика інструменту на конструктивні параметри ГЗ та енергосилові параметри процесу їх формоутворення.

Показано, що зі зростанням радіуса зовнішньої крайки початкової заготовки при однаковому плечі зусилля згину заготовок зростає момент навивання та, відповідно, і затрачена робота. Однак найменші зусилля деформації спостерігаються при використанні мастила «Графітол–В». Зростання моменту навивання супроводжується зростанням силового впливу на деформуючий ролик. А використовуючи КСЗ з різним радіусом її зовнішньої крайки, отримуємо ГЗ із однаковими зовнішніми та внутрішніми діаметрами, але різною товщиною зовнішніх та внутрішніх крайок витка. Встановлено, що при збільшенні діаметра ролика плече прикладання сили згину і особливо змінання зменшуються.

Дослідження впливу кроку трикутних вирізів на початкових заготовках на енергосилові параметри процесу формоутворення ГЗ, показали, що наявність вирізів суттєво зменшує зусилля деформації. Зменшення кроку вирізів приводить до зменшення моменту навивання.

Отримані результати можуть бути також використані для розрахунку параметрів КСЗ при виготовленні навивних ГЗ.

#### **Інформаційні джерела**

1. Tekhnolohichni osnovy formotvorennya riznoprofil'nykh hvyntovykh zahotovok / Hevko B.M., Pylypets' M.I., Vasylykiv V.V., Radyk D.L. – Ternopil': Vyd-vo TDTU im. I. Pulyuya, 2009. – 457 p. – ISBN 966-305-014-4 [In Ukrainian].
2. Rogatinskiy R., Hevko I., Gypka A., Garmatyk O., Martsenko S. Feasibility study of the method choice of manufacturing screw cleaning elements with the development and use of the software. Acta Technologica Agriculturae // Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2017. - № 2, P. 36-41.
3. Duraipandi R., Manikandan S. Ganesan S & Production team of Zone Eversendai construction private limited; Helicoidal screw fabrication in trichy factory. India. 12-06-2016.

4. Jerry L. Straalsund; Samuel F. Harding; Dirk M. Nuernbergk; and Chris Rorres Experimental evaluation of advanced archimedes hydrodynamic screw geometries. ASCE Journal of Hydraulic Engineering, 2018.
5. Cheng C., Chen W., Yang J., Study on the reel mower helical blade by reverse engineering, 7th Int. Symp. Mach. Mecha. Agr. Biosystems Eng. (2014).
6. Jian Zhong Zhang, Lei Zhao, Fang Fang, Fei Yang Research on Cutting Methods for Conical Spiral Blade Applied Mechanics and Materials. Vol. 341-342, July 2013.
7. Li Zheng Feng, Zhu Juan. Design and Calculation of Helical Blade Drawing Machine. Coal Mine Machinery, 2009 Vol. 30, No. 11.
8. Diachun A., Vasylyk V., Korol O., Myhailiuk V., Golovaty I., Kuras A. (2021) Investigation of geometrical parameters in screw surfaces whirling process. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 101, no 1, pp. 68–78.
9. Tan Chung Ming, Gin Yei Lin. An innovative compression mold design for manufacture of reel mower helical blades. Applied Mechanics and Materials, vol. 851, Trans Tech Publications, Ltd., Aug. 2016, pp. 255–258.
10. Nkakini S. O., Yabefa B. E. Design, fabrication and evaluation of a spiral blade lawn mower, Eur. Int. J. Sci. Technol. 3(4) (2014) 165-172.
11. Li Zheng Feng, Li Qiang Jiang. Design of Combined Helical Blade Manufacturing Device. Advanced Materials Research, vol. 753–755, Trans Tech Publications, Ltd., Aug. 2013, pp. 1386–1390.
12. Zhou Zhe Bo, Tong Jie Zhang, Liang Chen, Chao Yin, and Jian Xu. Study on molding processing method of new type shotcrete machine helical blade. Advanced Materials Research, vol. 787, Trans Tech Publications, Ltd., Sept. 2013, pp. 572–576.
13. Zhang, JZ, Zhao, L., Fang, F., & Yang, F. Research on cutting methods for conical spiral blade. Applied Mechanics and Materials, (2013) 341–342, 482–484.
14. Feng Guang- liang<sup>1</sup>, Bai Yin-shan. Some Moulding Ways of Spiral Vane. Coal Mine Machinery, 2006. Vol. 27, No. 9.
15. Gevko B. M. Tekhnologiya izgotovleniya spiraley shnekov. Vishcha shkola, – 1986, 128 p., L'vov. (In Russ.)
16. Vasylyk V.V. Tekhnologiya izgotovleniya navivnykh vintovykh zagotovok. Vestnik TulGU. Avtomatizatsiya: problemy, idei, resheniya: Mater. Mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. "APIR-15". Pod red. V.V. Preysa, Ye.V. Davydovoy – V 2 –kh chastyakh. – CH. 2. – Tula: Izd.– vo TulGU. – 2010. – pp. 56-61. (In Russ.)
17. Moshnin Ye.M. Gibka i pravka na rotatsionnykh mashinakh / Ye.M. Mosh-nin. – M: Mashinostroyeniye, 1977. – 269 p. (In Russ.)

**Vasyl Vasylykiv, Mykhailo Pylypets, Larisa Danylchenko, Dmytro Radyk**  
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

#### **RESEARCH OF TECHNOLOGY OF WINDING OF THE SECTOR RING BILLETS FOR PRODUCTION OF SCREW FLIGHTS**

*Analytical dependencies are obtained, which describe the relationship between the parameters of the initial ring sector billets and tools on the energy-power indicators of the forming process. The influence of geometric parameters of the initial billets, their heating temperature, parameters of tools and lubricants on the energy-power parameters of the manufacturing process of wound screw flights are studied. The dependences of the influence of the radius of the initial ring sector billets and the diameter of the tool roller on the design parameters of the screw flights and the energy-power parameters of the forming process are given.*

*It is established that with the increase of the radius of the outer edge of the initial billet with the same arm of the bending force increases the winding moment and expended work. The use of ring sector billets with variable radius of the outer edges allows to obtain screw flights with the same outer and inner diameters, but different thicknesses of the outer and inner edges of the coil. Research of the influence of the pitch of triangular cutouts on the initial billets on the energy showed that the presence of cutouts significantly reduces the deformation force. The obtained results can also be used to calculate the parameters of the ring sector billet in the manufacture of winding screw flights.*

**Keywords:** screw flights, winding, sector ring billet.

**Василий Васильків, Михаил Пилипец, Лариса Данильченко, Дмитрий Радык**  
Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Украина

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАВИВАНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ СЕКТОРНЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВИНТОВЫХ ЗАГОТОВОК**

*Получены аналитические зависимости, описывающие связь параметров начальных кольцевых секторных заготовок и инструментов силовые показатели процесса формообразования. Исследовано влияние геометрических параметров начальных заготовок, температуры их нагрева, параметров инструментов и смазочных материалов на энергосиловые показатели процесса изготовления винтовых заготовок. Представлены зависимости воздействия радиуса начальных кольцевых секторных заготовок и диаметра ролика инструмента на конструктивные параметры винтовых заготовок и энергосиловые параметры процесса. Установлено, что с увеличением радиуса наружной кромки начальной заготовки при одинаковом плече усилия гибки возрастет момент навивки и затраченная работа. Использование секторных кольцевых заготовок с переменным по их длине радиусами внешней кромки позволяет получить винтовые заготовки с одинаковыми наружными и внутренними диаметрами, но с разной толщиной наружных и внутренних кромок витка. Исследование влияния шага треугольных вырезов на энергосиловые параметры показали, что наличие вырезов существенно уменьшает усилия деформации. Полученные результаты могут быть использованы также для расчета параметров кольцевой секторной заготовки при изготовлении витых винтовых заготовок.*

**Ключевые слова:** винтовые заготовки, навивка, кольцевая секторная заготовка.