

А. Є. Дячун, доц., канд. техн. наук, **В. Ю. Грасовник**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

e-mail: dyachun_andriy@ukr.net

Теоретичні дослідження силових параметрів навивання стрічкових гвинтових заготовок

Представлено конструкцію оснащення для формування навивних стрічкових гвинтових заготовок, перевагами якого є підвищення якості формування навивних стрічкових гвинтових заготовок, що включає зменшення ймовірності утворення гофр у зоні стискання матеріалу стрічки та забезпечення можливості формування витків із кроком, що є більшим за товщину стрічки. На основі розробленої розрахункової схеми проведено теоретичні дослідження силових параметрів операції навивання стрічкових гвинтових заготовок на оправу для проектування спеціального технологічного оснащення, виведено аналітичні залежності, що дозволяють прогнозувати силові параметри процесу залежно від конструктивних параметрів необхідних стрічкових гвинтових заготовок. На основі представлених рівнянь можна проектувати необхідне технологічне оснащення для навивання стрічкових гвинтових заготовок. При цьому встановлено умови для зменшення моменту навивання стрічкової гвинтової заготовки, а отже, і зменшення необхідної потужності виконання вказаного процесу. Побудовано графіки залежності моменту навивання стрічкової гвинтової заготовки та сили навивання стрічки на оправу від конструктивних параметрів стрічки, при цьому встановлено, що збільшення товщини та ширини стрічки призводить до суттєвого квадратичного зростання моменту навивання стрічкової гвинтової заготовки та сили навивання стрічки на оправу, що необхідно враховувати при проектуванні технологічного оснащення та виборі обладнання.

стрічкова гвинтова заготовка, навивання, згин, крутний момент, оснащення, сили процесу, конструктивні параметри

Постановка проблеми. Сучасні тенденції розвитку машинобудування в умовах ринкових відносин зумовлюють необхідність розроблення та впровадження ефективних методів підвищення експлуатаційних і технологічних показників деталей машин і засобів технологічного оснащення. Реалізація таких підходів забезпечує підвищення якості продукції, а також формування гнучких виробничих систем, здатних до швидкого перенастроювання на виготовлення виробів різних типорозмірів відповідно до кон'юнктури ринку. Для сучасного машинобудування, як вітчизняного, так і світового, характерним є суттєве розширення номенклатури деталей різних конструктивних груп, зокрема гвинтового типу. Важливе місце серед них посідають стрічкові гвинтові заготовки, що підтверджується стійкою тенденцією до зростання обсягів їх виробництва та сфер використання. Такі заготовки широко застосовуються у харчовій, хімічній і переробній галузях, а також у сільськогосподарському машинобудуванні та інших секторах промисловості.

Незважаючи на значну кількість наукових праць, що орієнтовані на підвищення ефективності та якості технологічних процесів виготовлення гвинтових елементів, залишається ряд проблемних завдань, що виникають під час їх практичного впровадження. Це зумовлює актуальність розроблення і впровадження більш ефективних, ресурсозберігаючих методів їх виготовлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика проектування технологічного оснащення та інструментів, встановлення параметрів методів формоутворення гвинтових елементів різноманітних типорозмірів охоплена у значній кількості наукових публікацій, серед яких варто відмітити роботи Гевка Б.М. [1, 21], Рогатинського Р.М. [8, 12, 13, 15], Ляшука О.Л. [6–8, 11], Пилипця М.І. [1–3], Васильківа В.В. [2–5], Гевка І.Б. [6–20], у яких представлено теоретичні дослідження технологічних процесів формоутворення гвинтових елементів, запропоновано оптимальні параметри технологічного оснащення, перевірено їх адекватність експериментальними методами та впровадженням у виробництво.

Закономірності зміни силових параметрів та напружено-деформованого стану процесів формоутворення гвинтових елементів методами пластичного гнуття із застосуванням циліндричних оправок досліджено у в роботах [1, 4, 6, 8].

Одними із технологічних підходів формоутворення гвинтових елементів є методи навивання металеві стрічки на оправку, форма якої відповідає необхідній формі гвинтових елементів. При цьому зовнішні силові фактори процесу утворюються внаслідок обертання оправки та взаємодії стрічки із формувальним роликом [3, 4, 11]. Основна увага у відповідних дослідженнях зосереджена на розробленні технологічного оснащення та оптимізації його конструктивних параметрів [9, 10, 14, 19]. Недоліком багатьох пристроїв для навивання профільних гвинтових заготовок одним роликом є зниження якості гвинтових елементів за рахунок зростання ймовірності утворення гофр у зоні стиснення матеріалу стрічки а також відсутня можливість формування витків із кроком, що є більшим за товщину стрічки. У роботі [22] представлено конструкції нового технологічного оснащення для формоутворення гвинтових елементів на токарному верстаті, що потребують додаткового теоретичного та експериментального дослідження.

Метою роботи є теоретичні дослідження силових параметрів операції навивання стрічкових гвинтових заготовок на оправку для проектування спеціального технологічного оснащення.

Виклад основного матеріалу. Розроблене спеціальне технологічне оснащення на базі пристроїв, представлених у роботі [22] для навивання стрічкових гвинтових заготовок (рис. 1, 2) працює таким. Стрічкову заготовку 10 встановлюють у паз 7 оправки 1 та фіксують за допомогою затискного механізму 9 при її розміщенні у нижній частині оправки з контактом кромки стрічки із зовнішньою циліндричною поверхнею оправки 1. Після цього патрон 4 разом з оправкою 1 і закріпленою заготовкою здійснює поворот у напрямку формувального ролика 13 до досягнення вертикального положення стрічки 10. При цьому з боку ролика кут нахилу стрічки відповідає куту встановлення формувального ролика 13. Наступним етапом за допомогою поперечної подачі верстата здійснюють підведення формувального ролика 13 до стрічки 10 із введенням заготовки у паз 15 ролика та одночасно у паз 18 державки 17, забезпечуючи притискання стрічки до поверхні оправки 1 без виникнення пластичної деформації. Після позиціонування елементів вмикають подачу формувального ролика 13, величина якої відповідає заданому кроку витків гвинтової заготовки 8, а також обертальний рух патрона 4 разом з оправкою 1. У результаті реалізується процес навивання стрічкової заготовки 10 на оправку 1 з утворенням гвинтової заготовки 8. По завершенні процесу формоутворення гвинтова заготовка 8 виходить із паза 15 формувального ролика 13. Далі здійснюють відведення заднього центра 5 верстата, розтискання заготовки та зняття сформованої стрічкової гвинтової заготовки 8.

До переваг пристрою відноситься підвищення якості формування навивних стрічкових гвинтових заготовок, що включає зменшення ймовірності утворення гофр у зоні стискання матеріалу стрічки та забезпечення можливості формування витків із кроком, що є більшим за товщину стрічки.

Для проектування технологічного оснащення для формування навивних стрічкових гвинтових заготовок необхідно дослідити силові параметри цього процесу.

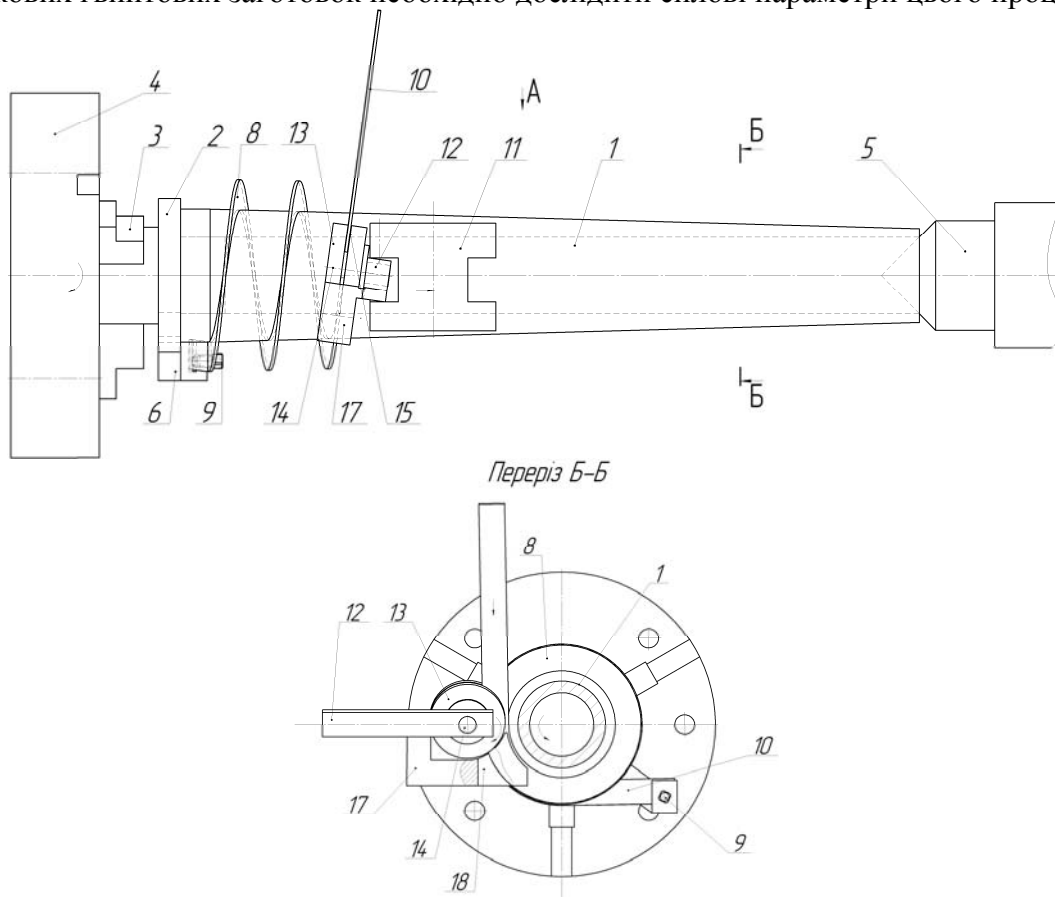


Рисунок 1 – Пристрій для навивання стрічкових гвинтових заготовок: 1 – оправа; 2 – оправа; 3 – кулачок; 4 – патрон; 5 – центр; 6 – державка; 8 - стрічкова гвинтова заготовка; 9 – механізм затиску; 10 – стрічка; 11 – різцетримач; 12 – державка; 13 – формувальний ролик; 14 – вісь; 15 - паз формувального ролика; 17 – державка; 18 - паз державки

Джерело: розроблено авторами

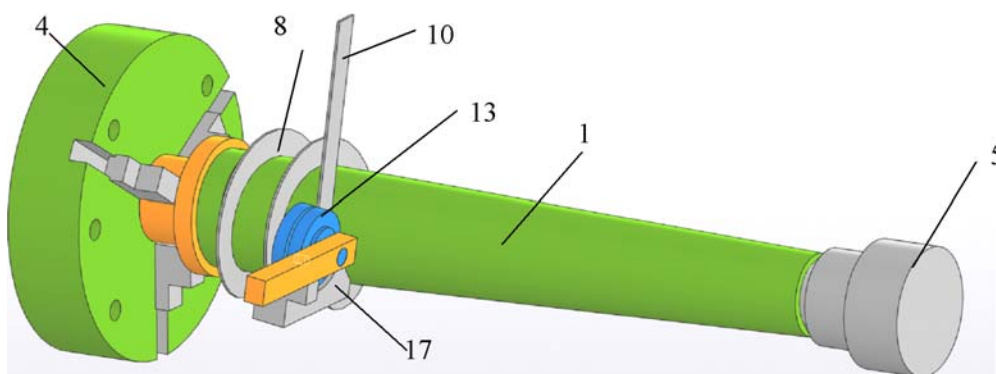


Рисунок 2 – Пристрій для навивання стрічкових гвинтових заготовок

Джерело: розроблено авторами

В наукових працях [1], [8] розглянуто навивання стрічкових гвинтових заготовок з малим кроком витків із застосуванням звичайних роликів без додаткових формувальних елементів. Наявність додаткової державки із пазом під роликом а також формування витків необхідного кроку підвищує якість процесу навивання і призводить до деякої зміни силових параметрів процесу. Розрахункову схему силових параметрів процесу формування навивних стрічкових гвинтових заготовок показано на рисунку 3. Рівняння рівноваги силових параметрів, що діють на гвинтовий елемент записано таким чином:

$$\left. \begin{aligned} \text{по осі } y: F_{t1} + F_{t2} \cdot \cos \theta - N \cdot \cos \theta - F \cdot \sin \theta + F_{t3} \cdot \cos \beta + P_2 \cdot \sin \alpha &= 0; \\ \text{по осі } x: P + F_{t2} \cdot \sin \theta + N \cdot \sin \theta - F \cdot \cos \theta - F_{t3} \cdot \sin \beta &= 0; \\ \text{сума моментів: } P \cdot l + F_{t1} \cdot R_w + F_{t2} \cdot R_0 - N \cdot R_c + F_{t3} \cdot R_c - M_0 &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де F_{t1} - сила тертя між робочими поверхнями ролика та зовнішньою кромкою стрічкової заготовки; F_{t2} - сила тертя між стрічковою гвинтовою заготовкою та оправою; θ - кут зони згину стрічки на оправу; N - поздовжня сила; F - сила реакції оправи у зоні навивання стрічки на оправу; F_{t3} - сила тертя між стрічковою гвинтовою заготовкою та пазом додаткової державки; β - середній кут контакту між стрічковою гвинтовою заготовкою та пазом додаткової державки; P_2 - сила формування кроку витків; P - сила навивання стрічки на оправу; l - зміщення центру формувального ролика вгору відносно оправи; R_w - зовнішній радіус навивної стрічкової гвинтової заготовки; R_0 - зовнішній радіус оправи; R_c - середній радіус навивної стрічкової гвинтової заготовки; M_0 - момент навивання стрічкової гвинтової заготовки.

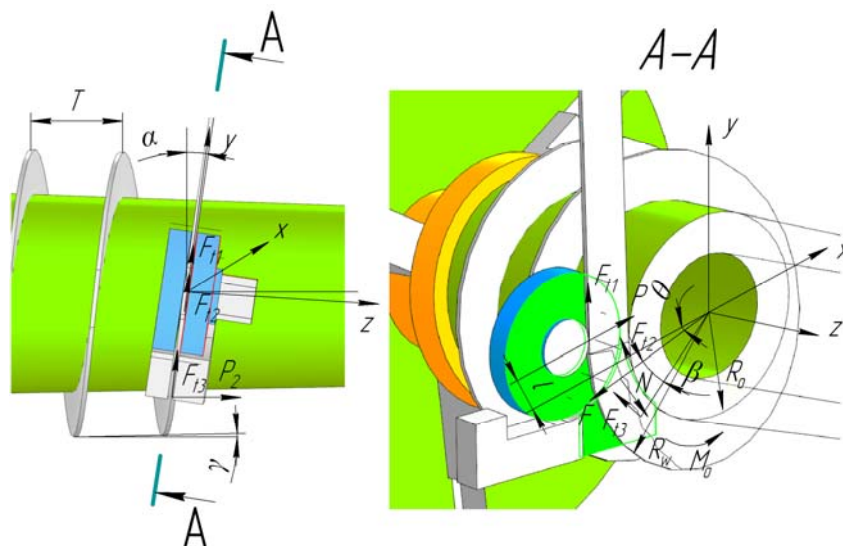


Рисунок 3 – Розрахункова схема силових параметрів процесу формування навивних стрічкових гвинтових заготовок спеціальним пристроєм

Джерело: розроблено авторами

Сили тертя визначено за залежностями:

$$F_{t1} = \mu_1 \cdot P; \quad (2)$$

$$F_{t2} = \mu_2 \cdot F; \quad (3)$$

$$F_{t3} = \mu_3 \cdot P_2, \quad (4)$$

де μ_1 - коефіцієнт тертя між робочими поверхнями ролика та зовнішньою кромкою стрічкової заготовки; μ_2 - коефіцієнт тертя між стрічковою гвинтовою заготовкою та оправою; μ_3 - коефіцієнт тертя між стрічковою гвинтовою заготовкою та пазом додаткової державки.

Із першого рівняння системи рівнянь (1), враховуючи рівняння (2) – (4), знайдено поздовжню силу:

$$N = \frac{\mu_1 \cdot P + F \cdot (\mu_2 \cdot \cos \theta - \sin \theta) + P_2 (\mu_3 \cos \beta + \sin \alpha)}{\cos \theta}. \quad (5)$$

Із другого рівняння системи рівнянь (1) знайдено силу реакції оправи у зоні навівання стрічки на оправу:

$$F = \frac{P \cdot (-\mu_1 \cdot \operatorname{tg} \theta - 1) - P_2 (\mu_3 \cos \beta + \sin \alpha) \operatorname{tg} \theta}{\mu_2 \cdot \sin \theta - \cos \theta - (\mu_2 \cdot \cos \theta - \sin \theta) \operatorname{tg} \theta}. \quad (6)$$

Із третього рівняння системи рівнянь (1) знайдено момент навівання стрічкової гвинтової заготовки

$$M_o = P(l + \mu_1 R_w + \mu_2 R_0) + (-N + P_2) \cdot R_c. \quad (7)$$

Сила навівання стрічки на оправу визначається залежністю:

$$P = \frac{M_b}{l}, \quad (8)$$

де M_b – момент згину стрічки на оправу.

В результаті експериментальних досліджень встановлено [22], що при розташуванні осі формувального ролика вище осі оправи значення кута θ зони згину стрічки на оправу є незначними, тому його для спрощення розрахунків можна прийняти рівним нулю, а рівняння (5) – (7) будуть мати вигляд:

$$P = F; \quad (9)$$

$$N = P(\mu_1 + \mu_2) + P_2 (\mu_3 \cos \beta + \sin \alpha); \quad (10)$$

$$M_o = P(l + \mu_1 R_w + \mu_2 R_0 - (\mu_1 + \mu_2) R_c) + P_2 R_c (\mu_3 \cos \beta + \sin \alpha - \mu_3). \quad (11)$$

Сила формування кроку витків:

$$P_2 = \frac{M_w}{R_c}, \quad (12)$$

де M_w – момент згину стрічки при формуванні кроку витків.

Момент згину стрічки на оправу [1]:

$$M_b = \frac{\beta_\sigma \sigma_{TO}}{3} \left[H \sqrt{\frac{\rho_o}{R_w}} \left(R_w^2 + 2R_0 \sqrt{R_0 \cdot R_w} - 3\rho_H^2 \right) \right] + \frac{\beta_\sigma \Pi}{9} H \frac{\sqrt{\rho_o}}{R_w} \times \\ \times 3 \ln \left(\frac{R_w}{\rho_o} \right) \left(R_w^2 - 3\rho_H^2 \right) + 4\rho_H \sqrt{\rho_H R_w} \left(4 + 3 \ln \frac{\rho_H}{\rho_o} \right) - 2 \left[R_w^2 + 9\rho_H^2 \right] - 2r \sqrt{R_w \cdot R_0} \left(3 \ln \frac{R_0}{\rho_o} - 2 \right), \quad (13)$$

де σ_{T0} - екстрапольована межа текучості матеріалу стрічкової гвинтової заготовки; Π - лінійний модуль зміцнення матеріалу стрічкової гвинтової заготовки; β_{σ} - коефіцієнт, який залежить від співвідношення головних напружень; H - товщина стрічки; ρ_0 - радіус нейтрального шару деформації; ρ_n - радіус нейтрального шару напружень.

Момент згину стрічки при формуванні кроку витків [12]:

$$M_w = \beta_{\sigma} B \cdot \left[\sigma_{T0} \cdot \frac{H^2}{4} + \Pi \cdot \left(\frac{R_1^2 + (R_1 - H)^2}{4} \cdot \ln \sqrt{\frac{R_1}{R_1 - H}} - \frac{R_1^2 - (R_1 - H)^2}{8} \right) \right], \quad (14)$$

де B – ширина стрічки; R_1 – радіус кривизни витка.

На основі представлених рівнянь можна проектувати необхідне технологічне оснащення для навивання стрічкових гвинтових заготовок. При цьому, для зменшення моменту навивання стрічкової гвинтової заготовки, а отже, і зменшення необхідної потужності виконання вказаного процесу, потрібно зменшувати коефіцієнти тертя μ_1 та μ_2 , наприклад, використовуючи змащувальні речовини.

Використовуючи представлені вище рівняння, побудовано графіки залежності моменту навивання стрічкової гвинтової заготовки (рис. 4) із сталі 08кп та сили навивання стрічки на оправу (рис. 5) від конструктивних параметрів стрічки.

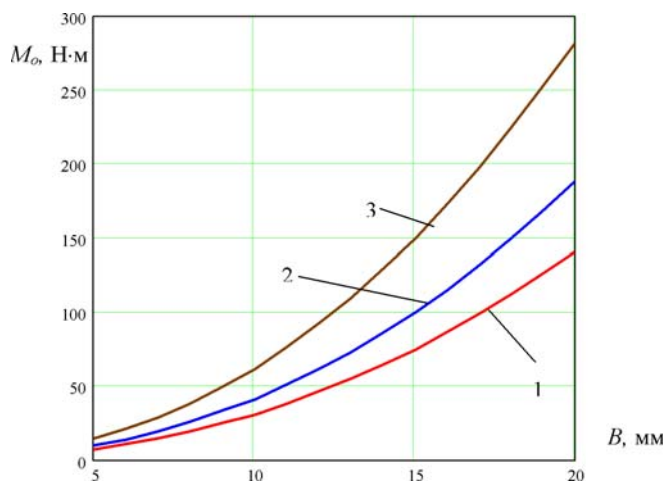


Рисунок 4 – Графіки залежності моменту навивання стрічкової гвинтової заготовки від ширини стрічки: 1) $H=1,5$ мм; 2) $H=2$ мм; 3) $H=2,5$ мм

Джерело: розроблено авторами

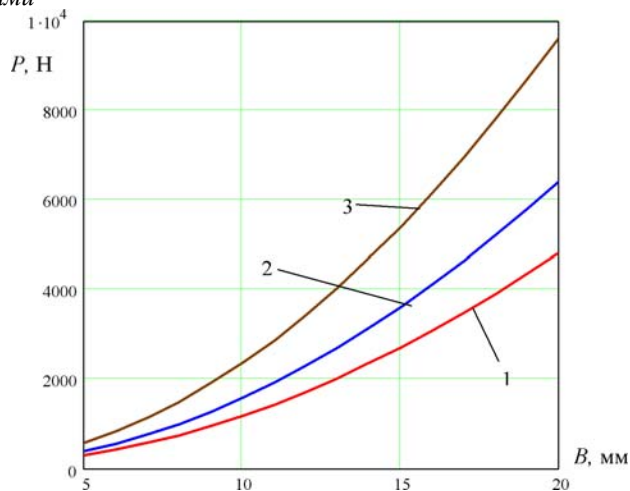


Рисунок 5 – Графіки залежності сили навивання стрічки на оправу від ширини стрічки: 1) $H=1,5$ мм; 2) $H=2$ мм; 3) $H=2,5$ мм

Джерело: розроблено авторами

На основі графіків рис. 4 та 5 встановлено, що збільшення товщини та ширини стрічки призводить до суттєвого квадратичного зростання моменту навивання стрічкової гвинтової заготовки та сили навивання стрічки на оправу, що необхідно враховувати при проектуванні технологічного оснащення та виборі обладнання.

Висновки:

1. Представлено конструкцію оснащення для формування навивних стрічкових гвинтових заготовок, перевагами якого є підвищення якості формування навивних стрічкових гвинтових заготовок, що включає зменшення ймовірності утворення гофр у зоні стискання матеріалу стрічки та забезпечення можливості формування витків із кроком, що є більшим за товщину стрічки.

2. На основі розробленої розрахункової схеми проведено теоретичні дослідження силових параметрів операції навивання стрічкових гвинтових заготовок на оправу для проектування спеціального технологічного оснащення, виведено аналітичні залежності, що дозволяють прогнозувати силові параметри процесу залежно від конструктивних параметрів необхідних стрічкових гвинтових заготовок.

3. На основі представлених рівнянь можна проектувати необхідне технологічне оснащення для навивання стрічкових гвинтових заготовок. При цьому, для зменшення моменту навивання стрічкової гвинтової заготовки, а отже, і зменшення необхідної потужності виконання вказаного процесу, потрібно зменшувати коефіцієнти тертя між робочими поверхнями ролика та зовнішньою кромкою стрічкової заготовки та між стрічковою гвинтовою заготовкою та пазом додаткової державки, наприклад, використовуючи змащувальні речовини.

4. Побудовано графіки залежності моменту навивання стрічкової гвинтової заготовки із сталі 08кп та сили навивання стрічки на оправу від конструктивних параметрів стрічки, при цьому встановлено, що збільшення товщини та ширини стрічки призводить до суттєвого квадратичного зростання моменту навивання стрічкової гвинтової заготовки та сили навивання стрічки на оправу, що необхідно враховувати при проектуванні технологічного оснащення та виборі обладнання.

Список літератури

1. Гевко Б. М., Пилипець М. І., Васильків В. В., Радик Д. Л. Технологічні основи формоутворення різнопрофільних гвинтових заготовок деталей машин. Тернопіль : Вид-во ТДТУ ім. І. Пулюя, 2009. 457 с.
2. Пилипець М. І., Васильків В. В., Радик Д. Л., Пилипець О. М. Передумови розроблення комбінованих операцій виготовлення гвинтових і шнекових заготовок методом обробки металів тиском. *Перспективні технології та прилади*. 2021. Вип. 18. С. 112–123.
3. Vasylyuk V., Pylypets M., Danylchenko L., Radyk D. Investigation of deflections of winded screw flights and auger billets in the processes of their manufacture. *Scientific Journal of TNTU*. Ternopil : TNTU, 2021. Vol. 104, № 4. P. 33–43.
4. Васильків В. В. Розвиток науково-прикладних основ розроблення технологій виробництва гвинтових і шнекових заготовок з використанням уніфікації : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.08. Львів, 2015. 48 с.
5. Васильків В. В., Радик Д. Л., Гевко І. Б. Технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових заготовок з листового прокату. *Наукові нотатки*. 2004. Вип. 14. С. 12–18.
6. Hevko I. B., Dyachun A. Ye., Lyashuk O. L., Martsenko S. V., Gypka A. B. Research the force parameters of forming the screw cleaning elements. *INMATEH – Agricultural Engineering*. Polytechnic University of Bucharest, 2016. Vol. 49, № 2. P. 77–82.
7. Ivan Hevko, Andrii Diachun, Oleg Lyashuk, Yuriy Vovk, Andriy Hupka. Study of Dynamic and Power Parameters of the Screw Workpieces with a Curved Profile Turning. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. Proceedings of the 4th International Conference DSMIE-2021*. Lviv, 2021. Vol. 1. P. 385–394.
8. Oleg Lyashuk, Roman Rogatynskyy, Ivan Hevko, Tetiana Navrotska, Andrii Diachun. Study of power parameters of the screw spirals forming. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. Proceedings of the 7th International Conference DSMIE-2024*. Pilsen, Czech Republic, 2024. Vol. 1. P. 287–298.

9. Гевко І. Б., Дячун А. Є., Дубиняк Т. С., Стібайло О. Ю., Гупка А. Б. Технологічні особливості виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч. 1. С. 75–83.
10. Гевко І. Б., Дячун А. Є., Дубиняк Т. С., Стібайло О. Ю., Золотий Р. З. Дослідження операцій технологічного процесу виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч. 2. С. 99–108.
11. Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Дячун А. Є., Гупка А. Б., Третяков О. Л. Технологічне проектування та виготовлення гвинтових транспортно-технологічних робочих органів. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 457 с.
12. Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Ляшук О. Л. та ін. Перспективні гвинтові конвеєри : монографія. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2019. 212 с.
13. Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Дячун А. Є. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортнотехнологічних механізмів : монографія. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2014. 280 с.
14. Ivan Hevko, Andriy Pik, Roman Komar, Oleh Stibaylo, Serhiy Koval. Peculiarities of technological design of Ushaped screw working bodies. *Scientific Journal of TNTU*. Ternopil : TNTU, 2024. Vol. 113, № 1. P. 5–15.
15. Rogatinskiy R., Hevko I., Gupka A., Garmatyk O., Martsenko S. Feasibility study of manufacturing method choice for screw elements. *Acta Technologica Agriculturae*. 2017. № 2. P. 36–41.
16. Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Гудь В. З., Дмитрів О. Р. та ін. Гнучкі гвинтові конвеєри: проектування та дослідження. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2019. 207 с.
17. Гевко І. Б. Моделювання характеру навантаження на гвинтові робочі органи. *Вісник ТНТУ*. 2011. Т. 16, № 1. С. 69–77.
18. Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Брикса А. О. та ін. Особливості конструкцій і проектування лопатевих гвинтових змішувачів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 8(39), ч. 2. С. 24–34.
19. Гевко І. Б., Рогатинський Р. М., Комар Р. В. та ін. Технологічне проектування способів виготовлення U-подібних гвинтових поверхонь. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч. 2. С. 109–116.
20. Гевко І. Б., Стібайло О. Ю., Лещук Р. Я. та ін. Техніко-економічне обґрунтування виготовлення шнекових спіралей. *Перспективні технології та прилади*. 2025. Вип. 26. С. 29–37.
21. Гевко Б. М., Ляшук О. Л., Гевко І. Б., Драган А. П., Новосад І. Я. Технологічні основи формування спеціальних профільних гвинтових деталей. Тернопіль : ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. 367 с.
22. Дячун, А. Є., Грасовник, В. Ю. Дослідження операції навивання стрічкових гвинтових робочих органів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2026. Вип. 13(44). С. 193–201.

References

1. Hevko, B. M., Pylypets, M. I., Vasylykiv, V. V., & Radyk, D. L. (2009). *Technological fundamentals of shaping of multi-profile screw blanks of machine parts*. Ternopil: Vyd-vo TDTU im. I. Puliuia. [in Ukrainian].
2. Pylypets, M. I., Vasylykiv, V. V., Radyk, D. L., & Pylypets, O. M. (2021). Preconditions for the development of combined operations for manufacturing screw and auger blanks by metal forming. *Perspektyvni tekhnologii ta prylady*, 18, 112–123 [in Ukrainian].
3. Vasylykiv, V., Pylypets, M., Danylchenko, L., & Radyk, D. (2021). Investigation of deflections of winded screw flights and auger billets in the processes of their manufacture. *Scientific Journal of TNTU*, 104(4), 33–43.
4. Vasylykiv, V. V. (2015). *Development of scientific and applied foundations for the development of technologies for the production of screw and auger blanks using unification*. Extended abstract of Doctoral dissertation. Lviv [in Ukrainian].
5. Vasylykiv, V. V., Radyk, L. D., & Hevko, I. B. (2004). Technological and design features of manufacturing screw blanks from sheet metal. *Naukovi notatky*, 14, 12–18 [in Ukrainian].
6. Hevko, I. B., Dyachun, A. Ye., Lyashuk, O. L., Martsenko, S. V., & Gypka, A. B. (2016). Research the force parameters of forming the screw cleaning elements. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 49(2), 77–82.
7. Hevko, I., Diachun, A., Lyashuk, O., Vovk, Y., & Hupka, A. (2021). Study of dynamic and power parameters of the screw workpieces with a curved profile turning. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. Proceedings of the 4th International Conference DSMIE-2021*, 1, 385–394.
8. Lyashuk, O., Rohatynskyy, R., Hevko, I., Navrotska, T., & Diachun, A. (2024). Study of power parameters of the screw spirals forming. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. Proceedings of the 7th International Conference DSMIE-2024*, 1, 287–298.
9. Hevko, I. B., Diachun, A. Ye., Dubyniak, T. S., Stibailo, O. Yu., & Hupka, A. B. (2025). Technological features of manufacturing shredding knives on auger spirals. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 11(42/1), 75–83 [in Ukrainian].

10. Hevko, I. B., Diachun, A. Ye., Dubyniak, T. S., Stibailo, O. Yu., & Zoloty, R. Z. (2025). Research of operations of the technological process of manufacturing shredding knives on auger spirals. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 11(42/2), 99–108 [in Ukrainian].
11. Hevko, I. B., Liashuk, O. L., Diachun, A. Ye., Hupka, A. B., & Tretiakov, O. L. (2025). *Technological design and manufacturing of screw transport-technological working bodies*. Ternopil: FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].
12. Rohatynskyi, R. M., Hevko, I. B., Liashuk, O. L., et al. (2019). *Perspective screw conveyors*: monograph. Ternopil: FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].
13. Rohatynskyi, R. M., Hevko, I. B., Diachun, A. Ye. (2014). *Scientific and applied foundations of creation of screw transport-technological mechanisms*: monograph. Ternopil: TNTU im. I. Puliuia [in Ukrainian].
14. Hevko, I., Pik, A., Komar, R., Stibaylo, O., & Koval, S. (2024). Peculiarities of technological design of U-shaped screw working bodies. *Scientific Journal of TNTU*, 113(1), 5–15.
15. Rogatynskiy, R., Hevko, I., Gypka, A., Garmatyk, O., & Martsenko, S. (2017). Feasibility study of manufacturing method choice for screw elements. *Acta Technologica Agriculturae*, 2, 36–41..
16. Hevko, I. B., Leshchuk, R. Ya., Hud, V. Z., Dmytriv, O. R., et al. (2019). Flexible screw conveyors: design and research. Ternopil: FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].
17. Hevko, I. B. (2011). Modeling of load character on screw working bodies. *Visnyk TNTU*, 16(1), 69–77 [in Ukrainian].
18. Hevko, I. B., Leshchuk, R. Ya., Bryksa, A. O., et al. (2023). Features of designs and design of blade screw mixers. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 8(39/2), 24–34 [in Ukrainian].
19. Hevko, I. B., Rohatynskyi, R. M., Komar, R. V., et al. (2025). Technological design of manufacturing methods for U-shaped screw surfaces. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 11(42/2), 109–116 [in Ukrainian].
20. Hevko, I. B., Stibailo, O. Yu., Leshchuk, R. Ya., et al. (2025). Technical and economic justification for manufacturing auger spirals. *Perspektyvni tekhnologii ta prylady*, 26, 29–37 [in Ukrainian].
21. Hevko, B. M., Liashuk, O. L., Hevko, I. B., Drahan, A. P., & Novosad, I. Ya. (2008). *Technological fundamentals of shaping of special profile screw parts*. Ternopil: TDTU imeni Ivana Puliuia [in Ukrainian].
22. Dyachun, A. Y., & Grasovnyk, V. Y. (2026). The study of the winding operation of strip helical working elements. *Central Ukrainian Scientific Bulletin Technical Sciences*, (13(44), 193–201 [in Ukrainian].

Andrii Diachun, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vasyl Grasovnyk**

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

Theoretical Investigation of the Force Parameters in Winding Strip Helical Blanks

For modern mechanical engineering, both domestic and global, a significant expansion of the range of parts belonging to various structural groups, in particular of the screw type, is characteristic. An important place among them is occupied by strip helical blanks, as evidenced by a steady trend toward increasing production volumes and expanding application fields. Such blanks are widely used in the food, chemical, and processing industries, as well as in agricultural machinery manufacturing and other industrial sectors. The aim of this work is to conduct theoretical studies of the force parameters of the operation of winding strip helical blanks onto a mandrel for the design of specialized technological tooling.

A device design for manufacturing wound strip helical blanks is presented. Its advantages include improved quality of forming wound strip helical blanks due to the prevention of stability loss of the wound turns in the lower part of the mandrel, as well as expanded technological capabilities of the device by enabling the formation of turns with a pitch greater than the strip thickness. Based on the developed computational scheme, theoretical studies of the force parameters of the operation of winding strip helical blanks onto a mandrel for the design of specialized technological tooling have been carried out. Analytical relationships have been derived that make it possible to predict the force parameters of the process depending on the design parameters of the required strip helical blanks. On the basis of the presented equations, the required technological tooling for winding strip helical blanks can be designed. In this case, in order to reduce the winding torque of the strip helical blank, and consequently to decrease the power required to perform the process, it is necessary to reduce the coefficients of friction between the working surfaces of the roller and the outer edge of the strip blank, as well as between the strip helical blank and the groove of the auxiliary holder, for example, by using lubricants. Graphs of the dependence of the winding torque of a steel strip helical blank and the force of winding the strip onto the mandrel on the strip design parameters have been constructed.

It has been established that an increase in the strip thickness and width leads to a significant quadratic growth of both the winding torque of the strip helical blank and the force of winding the strip onto the mandrel, which must be taken into account when designing technological tooling and selecting equipment. I torque.

strip helical blanks, winding, deformation, torque, tooling, forces of the process, design parameters

Одержано (Received) 16.02.2026

Прорецензовано (Reviewed) 02.03.2026

Прийнято до друку (Approved) 10.03.2026