

УДК 621.369

А. Дячун, канд. техн. наук; О. Ляшук, канд. техн. наук;
О. Скиба; А. Палюх

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ ГВИНТОВИХ ЗАТИСКНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Резюме. Розглянуто процес навивання профільних стрічок на оправу. Досліджено силові параметри процесу формоутворення гвинтових затискних елементів, визначено напруження у матеріалі заготовки і момент гнуття у процесі навивання, момент обертання оправу та силу гнуття. Зображено графічні залежності моменту гнуття від конструктивних параметрів гвинтових затискних елементів.

Ключові слова: гвинтовий затискний елемент, технологічний процес, стрічка.

A. Dyachun, O. Lyashuk, O. Skyba, A. Palyuh

INVESTIGATION OF FORCE PARAMETERS OF FORMING SPIRAL CLAMPING ELEMENTS

The summary. The process of wending profile ribbons on mandrel is reviewed. The force parameters of process forming spiral clamping elements are investigated, the stresses in the material of blank, the moment of bending, the moment of rotating and the force of bending during wending process are presented. The graphics of depending of bending moment from construct parameters of spiral clamping elements are developed.

Key words: spiral clamping element, technological process, ribbon.

Умовні позначення:

σ_r – радіальні напруження, МПа;
 β – коефіцієнт, що враховує вплив середнього головного напруження, дорівнює 1,15;
 σ_s – границя текучості матеріалу гвинтового затискного елемента, МПа;
 R – зовнішній радіус гнуття, мм;
 ρ – полярна координата радіуса гнуття, мм;
 σ_θ – тангенціальні напруження, МПа;
 r_1 – найменший внутрішній радіус гнуття полицки, мм;
 α – кут нахилу полицки, град;
 s – товщина стрічки, мм;
 M – момент гнуття, Нмм;
 H – висота полицки гвинтового елемента, мм;
 F_{T1} – сила тертя між роликком та стрічкою, Н;
 F_{T2} – сила тертя між стрічкою та оправою, Н;
 γ – кут повороту оправу, град;
 N – поздовжня сила, Н;
 F – рівнодіюча нормальних контактних напружень на стрічці, Н;
 P – сила гнуття притискним роликком, Н;
 l – відстань між центрами оправу та притискного ролика, мм;
 R_s – середній радіус взаємодії гвинтового елемента, мм;
 R_0 – радіус оправу, мм;
 R_c – середній радіус гвинтового елемента, мм;
 μ_1 – коефіцієнт тертя між притискним роликком та стрічкою;
 μ_2 – коефіцієнт тертя між оправою та гвинтовим елементом;
 σ_r – контактні нормальні напруження на внутрішньому радіусі заготовки, МПа;
 L – довжина трапецієвидного пелюстка на внутрішньому діаметрі, мм;
 M_O – момент обертання оправу, Нмм;
 k_M – коефіцієнт, що враховує конструктивні виконання оправу;
 $\sigma_{T,0}$ – екстрапольована границя текучості, МПа;
 P – лінійний модуль зміцнення, МПа.

Актуальність теми. Машинобудування – це базовий комплекс галузей промисловості, рівень розвитку якого визначає розвиток усього народного господарства. Одним з основних напрямків удосконалення технології механоскладального виробництва є упровадження прогресивних технологічних процесів та їхнє забезпечення технологічним оснащенням, при цьому гвинтові затискні елементи – одні з важливих її частин. Тому технологічні особливості проектування і їхнє виготовлення – актуальна проблема, що має важливе народногосподарське значення.

Аналіз останніх результатів досліджень. Дослідженням конструктивних і технологічних параметрів процесу формоутворення гвинтових елементів технологічного оснащення присвячені праці багатьох науковців. Зокрема, Е.М. Мошнін [3] розробив основи виготовлення гвинтових заготовок на ротаційних машинах із визначенням силових та конструктивних параметрів процесу. М.Е. Зубцов [1] дослідив процес гнuttя тонколистових заготовок, визначивши стан напружень і деформацій у січеннях заготовок та вивівши відповідні аналітичні залежності. Роботи Б.М. Гевка [2] присвячені виготовленню гвинтових заготовок способами прокатування та навивання на оправу, при цьому досліджено особливості цих процесів з відповідними конструктивними та силовими параметрами. Оскільки розвиток технології машинобудування вимагає застосування конструктивно нових гвинтових затискних елементів, процес їхнього формоутворення має свої особливості, які не розглянуті у попередніх дослідженнях.

Мета роботи. Розробити технологічні передумови виготовлення гвинтових затискних елементів з прямокутним поперечним перерізом методом навивання на оправу.

Роботу виконано згідно з координаційним планом Комітету з питань науки і техніки та Міністерства освіти і науки України з розділу "Машинобудування", "Високоєфективні технологічні процеси в машинобудуванні" на 2010-2015 рр.

Реалізація роботи. Виготовлення затискних гвинтових елементів проходить у такій послідовності:

1. Вирубування трикутних пазів на стрічці металу за допомогою преса на спеціальному штампі.
2. Гнуття полочки на стрічці за допомогою роликів.
3. Навивання одержаної стрічки з полочкою на оправу.

Розглянемо процес навивання такої стрічки на оправу, зображений на рис. 1.

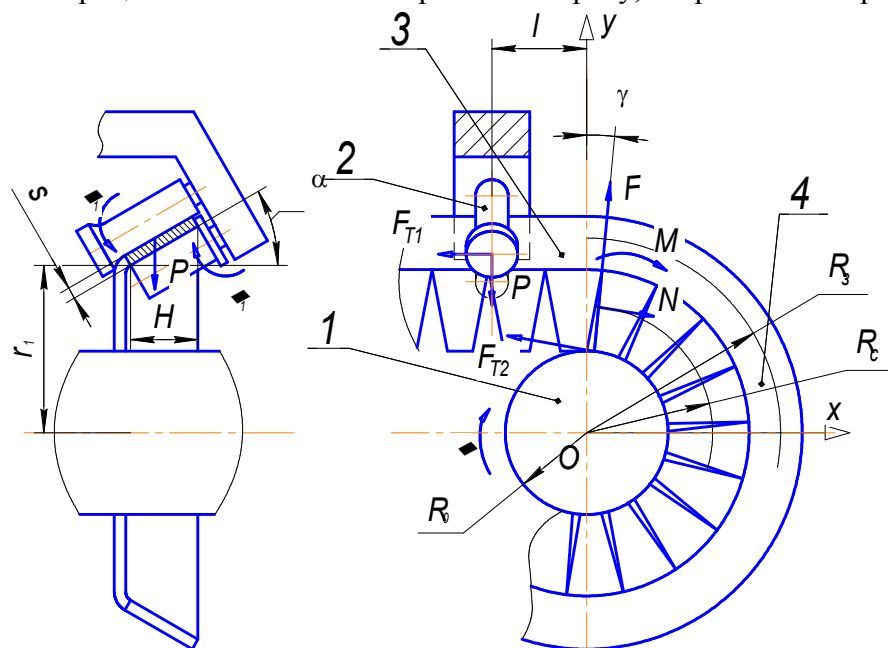


Рисунок 1 – Розрахункова схема процесу навивання стрічки на оправу:

1 – оправа; 2 – притискний ролик; 3 – стрічка; 4 – гвинтовий елемент

У процесі навивання відбувається зближення трапецієвидних пелюстків стрічки на внутрішньому діаметрі і розтяг волокон полицки на зовнішньому діаметрі гвинтового елемента. Тобто в зоні полицки виникають лише деформації розтягу. Визначимо момент згину стрічки в цій зоні, розглянувши процес деформації у гарячому стані.

Як відомо, радіальні напруження, що виникають у полицці стрічки, визначають за формулою [1]

$$\sigma_r = -\beta \sigma_s \cdot \ln \frac{R}{\rho}. \quad (1)$$

Тангенціальні напруження у зоні розтягу

$$\sigma_\theta = \beta \sigma_s \cdot \left(1 - \ln \frac{R}{\rho} \right). \quad (2)$$

Згідно з розрахунковою схемою на рис. 1 радіус гнуття заготовки змінюється від r_1 до $r(x)$, де

$$r(x) = r_1 + x \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (3)$$

Зовнішній радіус гнуття заготовки

$$R(x) = r_1 + \frac{s}{\cos \alpha} + x \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (4)$$

Значення моменту гнуття під час навивання із підігрівом визначаємо як інтегральну суму по висоті заготовки елементарних моментів від тангенціальних напружень, враховуючи формули (2), (3), (4):

$$M = \int_0^H \int_{r_1+x \cdot \operatorname{tg} \alpha}^{r_1+\frac{s}{\cos \alpha}+x \cdot \operatorname{tg} \alpha} \beta \sigma_s \cdot \left(1 - \ln \frac{r_1+\frac{s}{\cos \alpha}+x \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\rho} \right) \cdot \rho d\rho dx. \quad (5)$$

Після перетворень рівняння (5) одержуємо:

$$M = \frac{1}{2} \cdot \beta \cdot \sigma_s \left[bH \left(r_1 + \frac{1}{2}b + H \operatorname{tg} \alpha \right) + \frac{H}{3} (H \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot (-r_1 D + \operatorname{tg} \alpha K H + \frac{1}{2}b + 3r_1 K - D \operatorname{tg} \alpha H) + \right. \\ \left. + 3r_1^2 (K - D) - b(b + r_1) \right) + \frac{r_1^3 (K - D - C + \ln r_1) + b^3 (K - C) + r_1 b^2}{\operatorname{tg} \alpha} \Big], \quad (6)$$

де використано такі позначення:

$$b = \frac{s}{\cos \alpha}; \quad K = \ln(r_1 + b + H \operatorname{tg} \alpha); \quad C = \ln(r_1 + b); \quad D = \ln(r_1 + H \operatorname{tg} \alpha).$$

Згідно з розрахунковою схемою на рис. 1 рівняння рівноваги частини стрічки, що піддається деформації, запишемо наступним чином:

$$\left. \begin{aligned} \text{по осі } x: & -F_{T1} - F_{T2} \cdot \cos \gamma + N \cdot \cos \gamma + F \cdot \sin \gamma = 0; \\ \text{по осі } y: & -P + F_{T2} \cdot \sin \gamma - N \cdot \sin \gamma + F \cdot \cos \gamma = 0; \\ \text{сума моментів:} & P \cdot l + F_{T1} \cdot R_3 + F_{T2} \cdot R_0 - N \cdot R_c - M = 0. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Сили тертя визначаємо за залежностями

$$F_{T1} = \mu_1 \cdot P; \quad (8)$$

$$F_{T2} = \mu_2 \cdot F. \quad (9)$$

Рівнодіючу нормальних контактних напружень знаходимо за формулою

$$F = \sigma_r \cdot s \cdot L. \quad (10)$$

При відомому моменті гнуття M можна знайти усі сили, що виникають у процесі навивання, розв'язавши систему рівнянь (7). У даному випадку

$$F = \frac{-P \cdot (\mu_1 \cdot \operatorname{tg} \gamma - 1)}{\mu_2 \cdot \sin \gamma + \operatorname{tg} \gamma \cdot (-\mu_2 \cdot \cos \gamma + \sin \gamma) + \cos \gamma}; \quad (11)$$

$$N = \frac{\mu_1 \cdot P + F \cdot (\mu_2 \cdot \cos \gamma + \sin \gamma)}{\cos \gamma} \quad (12)$$

Експериментальні дослідження показали, що максимальна сила гнуття P притискним роликом виникає на початковій стадії деформування, тобто коли кут γ рівний нулю. Тому, для спрощення розрахунків, розв'язок системи рівнянь (7) буде таким:

$$P = F; \quad (13)$$

$$N = (\mu_1 + \mu_2) \cdot P; \quad (14)$$

$$P = \frac{M}{l + \mu_1 \cdot (R_s - 1) + \mu_2 \cdot (R_0 - 1)}. \quad (15)$$

Слід зауважити, що тут коефіцієнт тертя μ_1 між притискним роликом і профільною стрічкою є величиною приведеною і не відповідає безпосередньому значенню коефіцієнта тертя для контактуючих матеріалів. Момент, який необхідно прикласти для обертання оправи, залежить від конструктивних особливостей оправ і в загальному випадку визначається згідно з рисунком 1 за залежністю

$$M_o = k_M \cdot P \cdot (l + \mu_1 \cdot R_s). \quad (16)$$

На основі наведених вище формул можна проектувати необхідне технологічне оснащення. При цьому, для зменшення моменту обертання оправи, а отже, і зменшення необхідної потужності навивання заготовок, потрібно звести до мінімуму коефіцієнт тертя μ_1 , наприклад, використовуючи змащувальні речовини.

Якщо процес навивання гвинтового елемента виконувати в холодному стані, у матеріалі заготовки проходить процес зміцнення, унаслідок цього зростає момент гнуття, який можна визначити за формулою

$$M = \int_0^H \int_{r_1 + \frac{s}{\cos \alpha}}^{r_1 + \frac{s}{\cos \alpha} + x \cdot \tan \alpha} \beta \left[\sigma_{TO} \cdot \left(1 - \ln \frac{r_1 + \frac{s}{\cos \alpha} + x \cdot \tan \alpha}{\rho} \right) + \right. \\ \left. + \frac{\Pi}{2} \cdot \left(2 \ln \frac{\rho}{R_c} - \ln \frac{\rho \left(r_1 + \frac{s}{\cos \alpha} + x \cdot \tan \alpha \right)}{R_c^2} \ln \frac{\left(r_1 + \frac{s}{\cos \alpha} + x \cdot \tan \alpha \right)}{\rho} \right) \right] \cdot \rho d\rho dx. \quad (17)$$

Розв'язок рівняння (17) аналітичним методом є досить громіздким, тому визначення конкретного числового значення моменту гнуття доцільно проводити числовим методом, використовуючи відповідні комп'ютерні програми, що значно зменшить час на розрахунок.

Приклад такого розрахунку наведено у вигляді графіка на рис. 2.

Згідно з графіком на рис. 2 робимо висновок, що при збільшенні висоти полицки і кута її нахилу момент гнуття гвинтового елемента зростає.

Згідно з графіком на рис. 3 робимо висновок, що при збільшенні товщини стрічки від 0,5 мм до 3 мм момент гнуття для висоти пружини 30 мм зростає від 10000 Н·мм до 70000 Н·мм.

На основі проведених досліджень можна зробити такі **висновки**:

1. Розроблено технологічні передумови виготовлення гвинтових затискних елементів з прямокутним поперечним перерізом. Наведено спосіб навивання профільних стрічок на оправу. Визначено розподіл напружень у матеріалі заготовки. Встановлено залежність радіуса гнуття заготовки від конструктивних особливостей гвинтових затискних елементів.

2. Досліджено силові параметри процесу формоутворення гвинтових затискних елементів. Визначено момент гнуття профільних стрічок на оправу в гарячому і холодному стані. На основі рівнянь рівноваги встановлено залежність сили гнуття,

поздовжньої сили, рівнодіючої контактних нормальних напружень під час навивання стрічки на оправу залежно від конструктивних параметрів стрічки. Побудовано графічні залежності моменту гнуття від висоти полицки стрічки та її товщини. Розроблено базу для використання даних досліджень у промисловому виробництві.

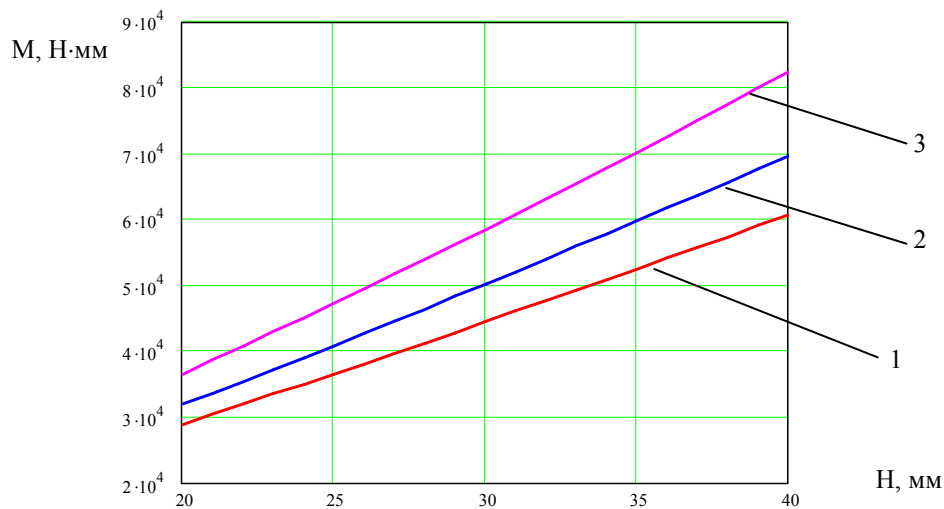


Рисунок 2 – Графік залежності моменту гнуття стрічки від висоти полицки:
1 - $\alpha=10$ град; 2 - $\alpha=20$ град; 3 - $\alpha=30$ град

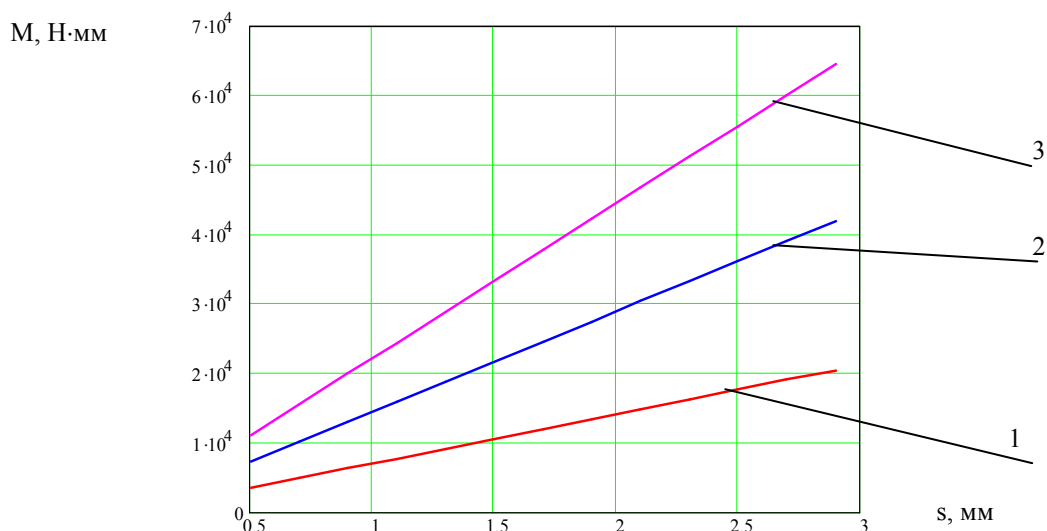


Рисунок 3 – Графік залежності моменту гнуття стрічки від товщини стрічки:
1 - H=10мм; 2 - H=20мм; 3 - H=30мм

Література

1. Зубцов М. Е. Листовая штамповка / Зубцов М. Е. – Л. : Машиностроение, 1980. – 432 с.
2. Гевко Б. М. Технология изготовления спиралей шнеков / Гевко Б. М. – Львов : Вища школа, 1986. – 128 с.
3. Мошнин Е. М. Гибка и правка на ротационных машинах / Мошнин Е. М. – М. : Машиностроение, 1977. – 269 с.
4. Пат. №36854 Україна, МПК B21D 11/06. Пристрій для неперервного навивання гвинтових заготовок / Ляшук О. Л., Палюх А. Я., Івасечко Р. Р., Гевко І. Б.; заявник і патентовласник Тернопільський державний технічний університет. – №200806852 ; заявл. 19.05.08 ; опубл. 10.11.08, Бюл. №21.
5. Пат. №37301 Україна, МПК B21D 11/00. Пристрій для навивання і калібрування гвинтових заготовок / Гевко І. Б., Палюх А. Я., Івасечко Р. Р., Ляшук О. Л.; заявник і патентовласник Тернопільський державний технічний університет. – №20080719 ; заявл. 23.05.08 ; опубл. 25.11.08, Бюл. №22.

Одержано 25.12.2009 р.