

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК ПРИ ФОРМОУТВОРЕННІ

Розглянуто ресурсоощадну технологію виготовлення гвинтових заготовок методом холодного пластичного деформування стрічки на крок. Подано методику розрахунку стійкості стрічки та визначення величини критичної сили, від дії якої прогинається виток заготовки.

Умовні позначення

- B – висота витка гвинтової заготовки (ГЗ);
 T – крок ГЗ;
 H і h – товщини відповідно внутрішнього та зовнішнього контурів витка ГЗ;
 r – радіус оправы;
 u і v – лінійний та кутовий незалежні параметри гвинтової поверхні;
 C – параметр кроку гвинтової лінії;
 b і δ – відповідно ширина та усередня товщина перерізу витка визначені за лінією згину на віддалі ξ від оправы вздовж вісі X ;
 e – максимальне відхилення лінії профілю від осі згину;
 K_e – коефіцієнт впливу форми на момент інерції перерізу;
 α_ξ – кут нахилу витка ГЗ на діаметрі $2(r + \xi)$;
 \mathcal{E} – уточнювальний коефіцієнт;
 ζ – коефіцієнт, що враховує відмінність реального кріплення витка ГЗ від защемлення, прийнятого у розрахунковій схемі;
 \mathcal{E}_1 – коефіцієнт, що враховує вплив нерівномірності товщини стрічки δ ;
 \mathcal{E}_2 – коефіцієнт, що враховує похибки внаслідок розгляду кривої прогину як функції однієї змінної;
 $\psi(\xi)$ – функція прогину;
 $I(\xi)$ – момент інерції поперечного перерізу витка спіралі;
 $M(\xi)$ – згинальний момент;
 E – модуль Юнга;
 ϵ – загальна деформація системи.

Неперервно навивати гвинтові стрічки можна на спеціальному пристрої [1], поданому на рис.1. Це забезпечує підвищення продуктивності праці й зменшення собівартості виготовлення спіралей шнеків. Пристрій складається з оправы 2, закріпленої у патроні 1 токарного верстата, на якій посаджені нерухома 8 і плавальна 16 зі ступінчастим вісьовим отвором втулки, що становлять розрізну втулку, яка має гвинтову канавку 24 для подачі стрічки 6, що згинається в спіраллю під дією ролика 7, встановленого на корпусі пристрою 5.

Плавальна втулка 16 встановлена в отворі корпусу 5 за допомогою байонетного з'єднання 18, що забезпечує обмежене гвинтове переміщення, а з оправою 2 зв'язана шпонковим з'єднанням 25. У більшій сходинці вісьового отвору втулки 16 розміщена привідна втулка 19, що має ривці 20 і зв'язана з оправою 2 шпонковим з'єднанням 17, а з втулкою – храповим механізмом 4, що розміщений на торці втулки 16 і взаємодіє храповиком 26 з ривцями 20 втулки 19 і кулачками 27 з профільним ривцем копіра 3, встановленим у корпусі 5. З боку гвинтового ривця 24 у плавальній втулці 16 виконаний отвір 28, вісь якого паралельна до вісі втулки і в якій встановлено ступінчастий фіксатор 29, підпружинений пружиною 30, закріпленою планкою 21 з ручкою 22 відводу. У

кінцевому положенні він контактує з вимикачем 23. На виході із ривця 24 напрямного механізму стрічка контактує зі ступінчатими обтискними роликами 9, встановленими на приводних валах 13 водила 14, встановленого у підшипниках 15 корпусу. На великих ступенях обтискних роликів 9 виконані гвинтові ривці 12, якими спрямовується спіраль з кроком, що дорівнює або кратний крокові спіралі й ривця 24, а внутрішній діаметр дорівнює діаметрові меншої сходинки.

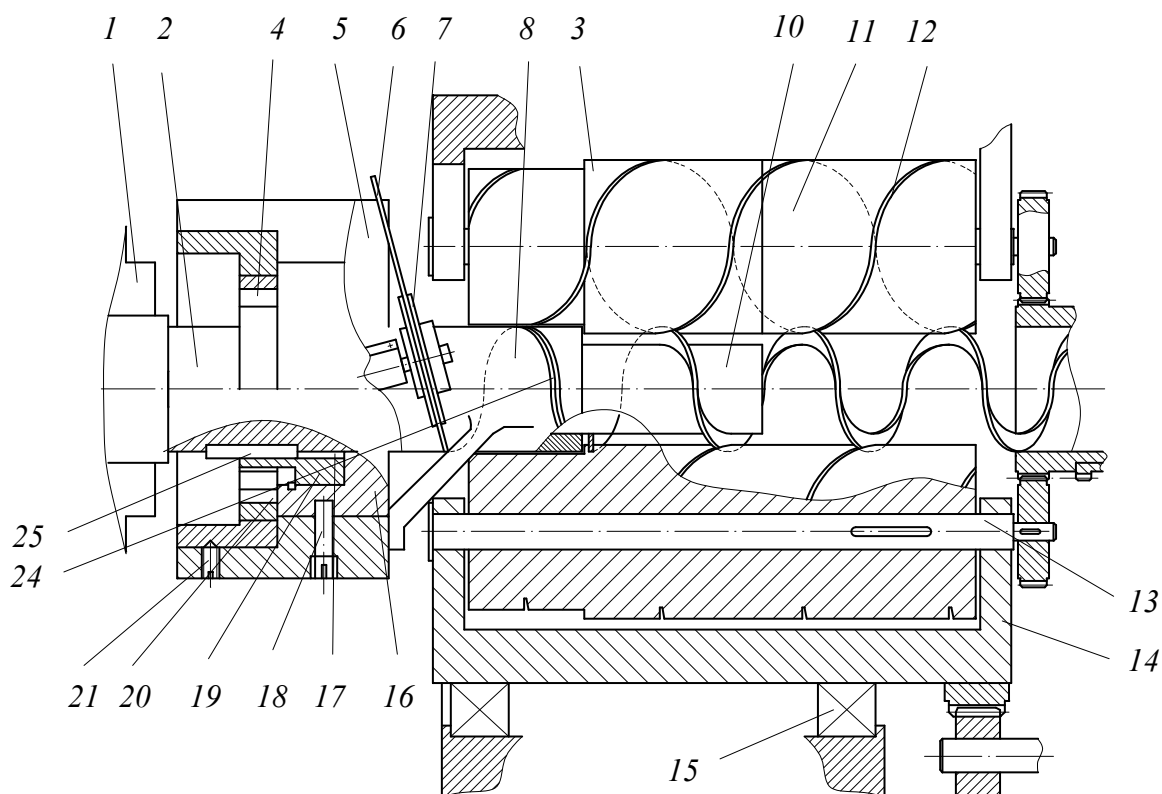


Рис.1. Пристрій для навивання спіралей із заданим кроком

У процесі навивання гвинтових спіралей форма профілю спіралі у перерізі нормальній площині до вісі змінюється поза зоною згину на перехідній ділянці оправи і роликів. Виконуючи холодне пластичне деформування стрічки, що взаємодіє з деформувальним інструментом (роликом) [2], спостерігаємо втрату стійкості витка, що впливає на стабільність процесу формоутворення та якість виготовлення заготовки.

Керування якістю заготовки і прогнозування технологічної спадковості на стадії проектування викликає інтерес. Показниками якості заготовки, одержаної методом холодного пластичного деформування, є відсутність тріщин, гофрів, складок, прогинів; відхилень розмірів у допускових границях. Комплексним показником може служити ресурс пластичності матеріалу, при вичерпуванні якого заготовка прогинається. У цьому плані, важливим є визначення величини критичної сили, при якій відбувається прогин. Аналітичні залежності, подані у роботі [3], властиві лише при незначних кроках T ГЗ (суцільний пакет витків), однак при $T > H$ вони ускладнюються необхідністю визначення уточнювальних значень коефіцієнтів для кожного конкретного випадку.

Розглянемо стійкість ГЗ з висотою витка B та кроком T . Рівняння гвинтової поверхні у параметричному записі виглядає так:

$$\begin{aligned} x &= u \cos v \\ y &= u \sin v \\ z &= Tv/2\pi \end{aligned} \tag{1}$$

Рівняння кривої, утвореної перетином площини на віддалі ξ від крайньої точки твірної оправи паралельно до площини yoZ (рис. 2) і гвинтової поверхні, визначатиметься так:

$$y = (r + \xi) \operatorname{tg} \frac{2\pi z}{T}, \quad (2)$$

де $\xi \in [0; B]$.

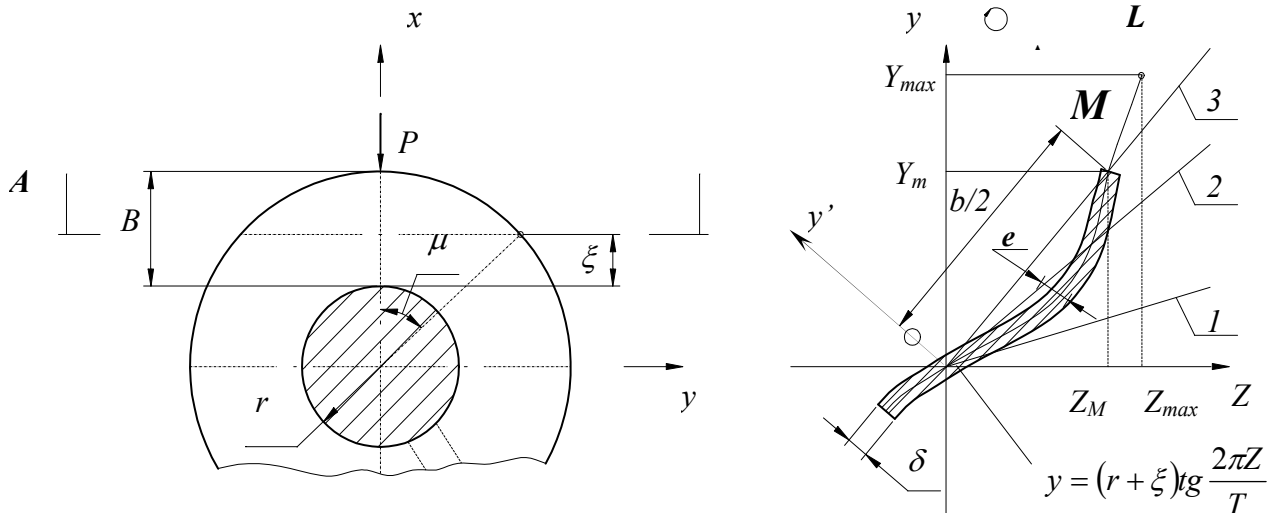


Рис. 2. Розрахункова схема для дослідження стійкості гвинтових заготовок

$$1 - y = 2 \cdot \pi(r + \xi) \frac{Z}{T}; \quad 2 - y = kZ; \quad 3 - y = 2 \cdot \pi(r + \xi) \operatorname{tg} \frac{\mu Z}{T}$$

Координати граничних значень області цієї кривої дорівнюють [4]

$$y_{\max} = \sqrt{2B(r + \xi) + B^2} \quad (3)$$

$$\mu_{\max} = \operatorname{arctg} \frac{y_{\max}}{r + \xi} \quad (4)$$

$$z_{\max} = \frac{T \mu_{\max}}{2\pi} \quad (5)$$

Нормальні напруження у довільному поперечному перерізі витка ГЗ визначають співвідношенням:

$$\sigma(\xi) = \frac{0,5P}{\delta \int_0^{z_{\max}} \sqrt{1 + \left[\frac{d((r + \xi) \operatorname{tg}(2\pi Z/T))}{dz} \right]^2} dz}, \quad (6)$$

виконуючи наближені обчислення, величину товщини перерізу витка можна приймати згідно з [3].

$$\delta = 0,25(H + 3h)$$

Після перетворень вираз (6) можна подати так:

$$\sigma(\xi) = 0,5P \left[\delta \int_0^{z_{max}} \sqrt{1 + \left(\frac{r + \xi}{C \cos^2 \frac{z}{C}} \right)^2} dz \right]^{-1}, \quad (7)$$

де $C = \frac{T}{2\pi}$.

Величину критичної сили в області пружних деформацій визначимо, використовуючи метод Рітца [4].

Загальна деформація системи виглядає так:

$$\epsilon = \frac{1}{2} \int_0^B \frac{M^2(\xi)}{EI(\xi)} d\xi - \frac{1}{2} P \int_0^B \left(\frac{d\psi}{d\xi} \right)^2 d\xi, \quad (8)$$

де $\psi(\xi) = f\xi^2$; $M(\xi) = -Pf(B^2 - \xi^2)$ [2].

Момент інерції визначається за формулою [4]:

$$I(\xi) = \frac{b\delta^3}{12} \left(1 + K_e \frac{e^2}{\delta^2} \right). \quad (9)$$

Для розглядуваного випадку відхилення e дорівнює:

$$e = \frac{T\tilde{y}_{max} - \frac{2\pi(r + \xi)tg\mu_{max}}{\mu_{max}}}{\sqrt{T^2 + \frac{4\pi^2(r + \xi)^2 tg^2 \mu_{max}}{\mu_{max}^2}}}, \quad (10)$$

де $\tilde{y}_{max} = (r + \xi)tg \left(\arccos \sqrt{\frac{\mu_{max}}{tg\mu_{max}}} \right)$.

Ширина поверхні згину b при незначній висоті стрічки ГЗ дорівнює:

$$b = 2\sqrt{(r + \xi)^2 tg^2 \mu_{max} + \mu_{max}^2 C^2} = 2(r + \xi)\mu_{max} \sqrt{1 + \frac{\mu_{max}^4}{9} + tg^2 \alpha_\xi}, \quad (11)$$

де $tg\alpha_\xi = C/(r + \xi)$.

При деформації жорсткого профілю, форма якого не змінюється, головні вісі інерції $oy'z'$ до вісей oy та oz (рис. 1) повернуті на кут $\theta_k = arctg(k)$.

МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

Максимальна ширина поверхні згину для широких стрічок ГЗ:

$$b = 2\sqrt{2B(r + \xi) + B^2 + C^2 \arctg^2} \sqrt{\frac{2B(r + \xi) + B^2}{(r + \xi)^2}}. \quad (12)$$

Згідно з методом Рітца часткова похідна від енергії \in деформації системи має дорівнювати нулеві, тобто

$$\frac{\partial C}{\partial f} = \frac{P^2}{E} \int_0^B \frac{(B^2 - \xi^2)^2}{I(\xi)} f d\xi - \frac{4}{3} PB^3 f = 0. \quad (13)$$

Звідси, приймаючи $f \neq 0$, $P \neq 0$ та підставивши вирази (10) і (12) у (13), величину критичної сили визначимо так:

$$P = \frac{I}{9} E \varepsilon \delta^3 B^3 \left[\int_0^B \frac{(B^2 - \xi^2)^2}{b(I + K_e(e/\delta)^2)} d\xi \right]^{-1}, \quad (14)$$

де $\varepsilon = \zeta \varepsilon_1 \varepsilon_2$.

Для розрахунку нормальних напружень у довільному поперечному перерізі витка ГЗ і величини критичної сили складені програми на ЕОМ. Результати розрахунків подані на рис.3, 4, де показані графіки залежності напружень згину і критичної сили від радіуса оправи і висоти стрічки, що навивається.

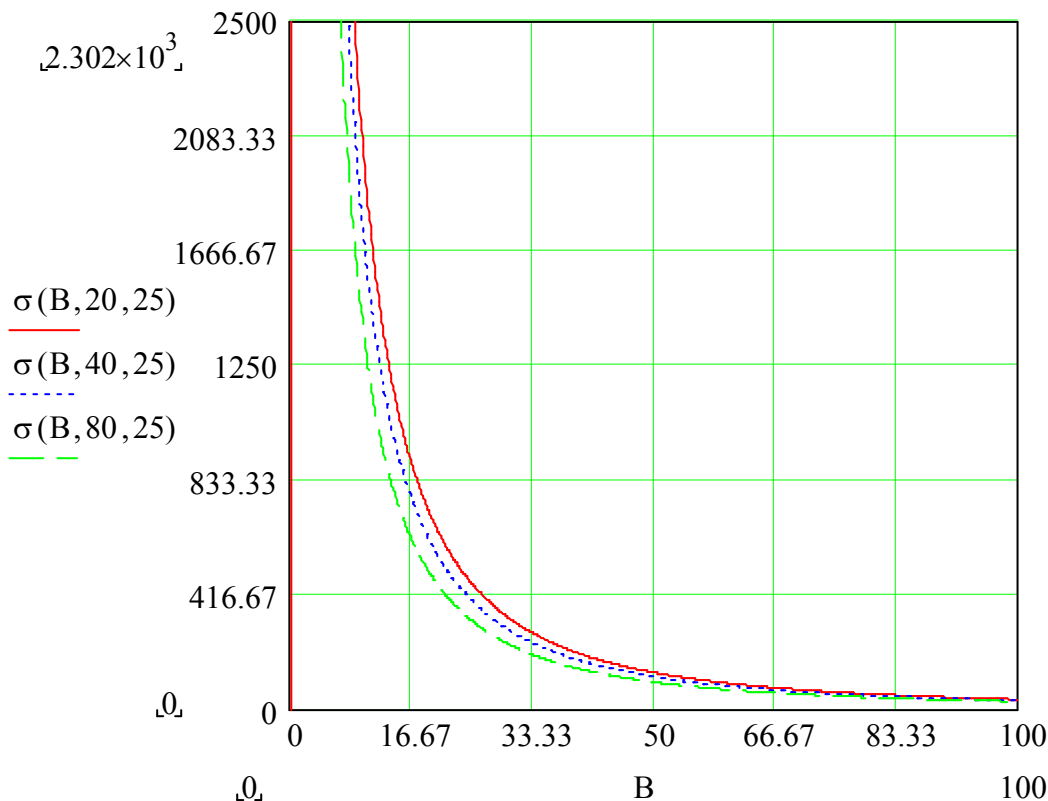


Рис. 3. Залежність зміни напружень згину від ширини заготовки побудована за теоретичними розрахунками для різних ξ .

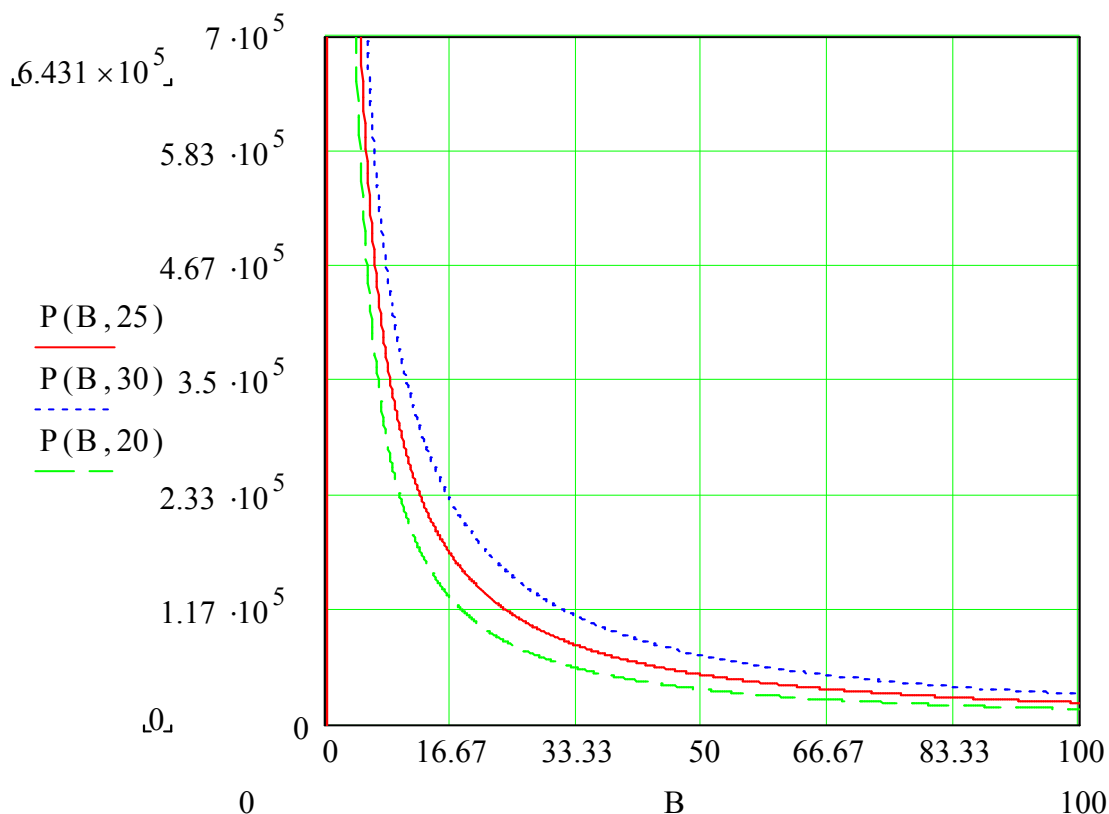


Рис. 4. Крива для визначення критичної сили для різних параметрів навивної заготовки.

Таким чином, досліджуючи стійкість гвинтової заготовки при формоутворенні, встановлено, що напруження згину є домінуючими, причому згин виконується за лінією у площині, паралельній до поверхні оправи. Найбільш небезпечна область, з точки зору втрати пластичності матеріалу навитої заготовки, виготовленої методом холодного пластичного деформування, розміщується нижче від нейтральної лінії на ділянці сформованого витка. У цій області деформації сягають максимальних значень, інформація про величину яких дозволить прогнозувати ймовірність втрати стійкості, що супроводжується “ляганням” витка або появою гофрів залежно від технологічних параметрів процесу.

Подана методика розрахунку величини критичної сили дозволяє вибрати параметри початкової заготовки та діаметр оправи для виготовлення навивних заготовок з кроком $T > H$, забезпечивши стабільність процесу навивання та вимоги до якості заготовки.

Resource economizing technology of screw billet production by means of cold plastic band deformation is described in the article. The method of band resistance calculation and determination of critical force value influencing the bend of billet segment is investigated.

Література

1. Устройство для непрерывной навивки спиралей шнеков: А. с. 1563807 СССР, МКИ В 21 D 11/06/ Б.М.Гевко, М.И.Пилипец, Р.М. Рогатынский и О.И.Дубик. (СССР) –№4386619/31-27; Заявлено 18.01.88; Опубл. 15.05.90. Бюл. № 18.
2. Пилипец М.І. Дослідження процесу навивання ребристих профілів.//Машинознавство. – 1998.-№9-10. – С.36-38.
3. Пилипец М.І., Васильків В.В. Розрахунок статичної стійкості стрічок гвинтових механізмів // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2000. – Т.5. – №3. – С. 43-50.

МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

4. Вольмир А.С. Устойчивость упругих систем. – М.: Гос. изд-во физико-математической литературы, 1963 . – 880 с.

Одержано 26.11.2001 р.