

МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ТА ПРОЦЕСИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

УДК628.91

**Б. Гевко¹, докт. техн. наук; С. Білик², канд. техн. наук, І. Логуш²;
О. Колісник¹**

¹Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

²Бережанський агротехнічний інститут

ІНЖЕНЕРНА МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТА ДЛЯ ПОРІЗКИ КОНВЕЄРНИХ СТРІЧОК

*Наведено інженерну методику проектування верстата для різання конвеєрної стрічки на смуги.
Дано практичні рекомендації виробництву для проектування таких верстатів.*

Умовні позначення

n – частота обертання ножів об/хв;
 V – швидкість обертання ножів, мм/с;
 F – площа зрізу, мм²;
 P – зусилля різання, Н;
 P_p – дійсне зусилля різання, Н;
 t_o – опір матеріалу різання, МПа;
 S – подача стрічки на один оберт, мм/об;
 S_1 – товщина стрічки, мм;
 S_2 – висота виступів, мм;
 d – діаметр різальних ножів, мм;
 φ – кут захоплення, град;
 φ' – кут захоплення з боку виступів, град;
 φ_3 – кут різання, град;
 φ'_3 – кут різання з боку виступів, град;
 M – крутний момент, що передається дисковим ножем, Н мм;
 a – величина перекриття ножів, мм;
 K – коефіцієнт, що враховує вплив вище приведених факторів на процес різання у виробничих умовах і змінюється в межах від 1,1 до 1,4;
 q – кількість різальних ножів;
 η – загальний ККД приводу;
 N_δ – потужність двигуна, кВт;
 $N_{різ}$ – потужність різання, кВт;
 N_x – потужність холостого ходу, кВт (при $N_{різ} = 0$), кВт;
 $N_{под}$ – потужність подачі стрічки, кВт;
 n_1 – кількість обертів шліцевого вала;
 M_1 – крутний момент на шліцевому валу, Н мм;
 $d_{ср}$ – середній діаметр всіх валів шпинделя, мм;
 $\sum n$ – частота обертання всіх проміжних валів об/хв;
 $n_{унт}$ – частота обертання шпинделя верстата, об/хв.
 $K_1=1,5 \dots 2,0$ – коефіцієнт, що враховує підвищення втрати на тертя в шпиндельному вузлі;
 $K_2 = 3 \dots 6$ – коефіцієнт, що залежить від досконалості системи змашування;
 $d_{унт}$ – діаметр шпинделя, мм;
 $P_{под}$ – сила подачі стрічки в зону різання, Н;
 m – модуль зубчастого зачеплення, мм;
 t – крок виступів на стрічці і на валу, мм;
 Z – кількість зубів циліндричних зубчастих коліс приводу шпинделів верстату;
 D – діаметр зубчастого колеса, мм;
 $Z_1=5 \dots 8$ – кількість шліців на валу;
 τ – коефіцієнт тертя між ножами і стрічкою;

α – кут зачеплення в зубчастій передачі, $\alpha = 20^\circ$;
 T_u – крутний момент в циліндричній передачі Н мм;
 M_2, M_6 – вертикальна і горизонтальна складові згинних моментів в небезпечному січенні, мм;
 T – крутний момент в небезпечному січенні, Н мм;
 $[\sigma]$ – допустима міцність матеріалу шпинделя від дії згинних і крутних моментів, МПа;
 K – коефіцієнт запасу, $K = 1,2 \dots 1,3$;
 P_1 – діаметр намотаної стрічки, мм;
 L – довжина стрічки, мм;
 d_2 – діаметр оправки, на яку проводиться намотування стрічки, мм;
 B_1 – ширина стрічки, мм;
 γ – кут зачеплення стрічки з подаючим механізмом, град;
 F_{r1} – радіальна сила, Н;
 F_{r1} – сила з якою притиский механізм діє на стрічку, Н;
 M_{32} – згинний момент, Н мм;
 P_r – радіальна сила передачі, Н;
 P_t – тангенціальна сила передачі, Н;
 T_{max} – найбільший крутний момент, Н мм;
 d_1 – діаметр шпинделя, мм;
 H – висота козла із намотаною стрічкою, мм;
 B – ширина верстату, мм;
 B_1 – ширина основної частини верстату, мм;
 b – ширина захисних пристроїв, мм.

Останнім часом у приводах машин, стрічкових і пружкових транспортерів замість ланцюгових передач широко застосовуються конвеєрні стрічки з відкритими трапецевидними виступами для зачеплення і відповідними шліцевими виступами на привідних валах, що забезпечує передачу обертового руху без пробуксовування. До їх переваг відносять безшумність роботи і менше травмування коренеплодів. Промисловість ФРН випускає такі гумово-бавовняні конвеєрні стрічки в рулонах шириною 2 м і довжиною 50 м і поставляє їх у різні країни світу, в тому числі і в Україну. Для одночасної порізки рулонів на смуги певної ширини з можливістю її регулювання необхідно мати відповідні верстати.

В машинобудуванні широко використовуються конвеєрні стрічки з тканинним чи металічним кордом, пластичні, шкіряні та інші. Цій проблемі присвячені роботи ряду авторів [1, 2, 3]. На жаль, питання проектування таких технологічних процесів, верстатів і різальних систем багаторядної порізки на даний час не вирішено повністю.

Тому метою даної роботи є розробка інженерної методики проектування верстата для різання конвеєрної стрічки, яку виготовлено у ФРН, шириною 2 м і довжиною 50 м на смуги багаторізальною дисковою системою.

Робота виконується в рамках Постанови Кабінету Міністрів України "Про розвиток сільськогосподарського машинобудування і забезпечення агропромислового комплексу конкурентноспроможною технікою на 2002-2006 роки.

Процес різання здійснюється парами круглих обертових ножів верстата. Верхні і нижні ножі обертаються примусово в різні боки в напрямку захоплення стрічки з однаковою кутовою швидкістю.

Етапи розрахунку верстата для порізки конвеєрної стрічки [4]:

1. Встановлення розмірів стрічок, які потрібно розрізати (матеріал, ширина, товщина, довжина, форма і розміри виступів, кількість розрізуваних смуг).

2. Вибір інструменту для порізки стрічки. Використовуються пари верхніх і нижніх дискових ножів, що обертаються примусово в різні боки в напрямку захоплення і подачі стрічки в зону різання з однаковою кутовою швидкістю. Діаметри ножів D від 200 до 250 мм, матеріал: сталь У8А, НРС 50...55.

Товщина ножів від 8 до 15 мм.

Кут заточування при вершині ножа $\beta = 20^\circ - 30^\circ$.

3. Діапазон швидкостей різання $V = 10 - 15$ м/хв.

Частота обертання ножів:

$$n = \frac{V}{\pi \cdot d}. \quad (1)$$

Величина подачі стрічки за один оберт ножів:

$$S = \pi \cdot d. \quad (2)$$

4. Технологічне зусилля різання P дисковими ножами є функцією площі зрізу і опору матеріалу різанню:

$$P = F \cdot t. \quad (3)$$

Площу зрізу стрічок із виступами визначаємо за формулою:

$$F = \frac{S_1^2}{8 \cdot \operatorname{tg} \varphi} + \frac{(S_1/2 + S_2)}{2 \operatorname{tg} \varphi'} - \frac{\pi D^2}{1440} (\varphi_3 - \varphi_3') + D \left[\frac{\cos(\varphi_3/2) S_1}{\sin \varphi} + \frac{\cos(\varphi_3'/2) (S_1/2 + S_2)}{4 \sin \varphi'} \right]. \quad (4)$$

Величини вище наведених кутів захоплення і різання стрічки визначаємо із наступних залежностей:

$$\varphi = \arccos\left(1 - \frac{S/2 + a}{D}\right); \quad (5)$$

$$\varphi_3 = \frac{D - a - S}{D} - \arccos\left(\frac{D - a}{D}\right); \quad (6)$$

$$\varphi' = \arccos\left(1 - \frac{a + S/2 + S_1}{D}\right); \quad (7)$$

$$\varphi_3' = \arccos\left(\frac{D - a - S - 2S_1}{D}\right) - \arccos\left(\frac{D - a}{D}\right). \quad (8)$$

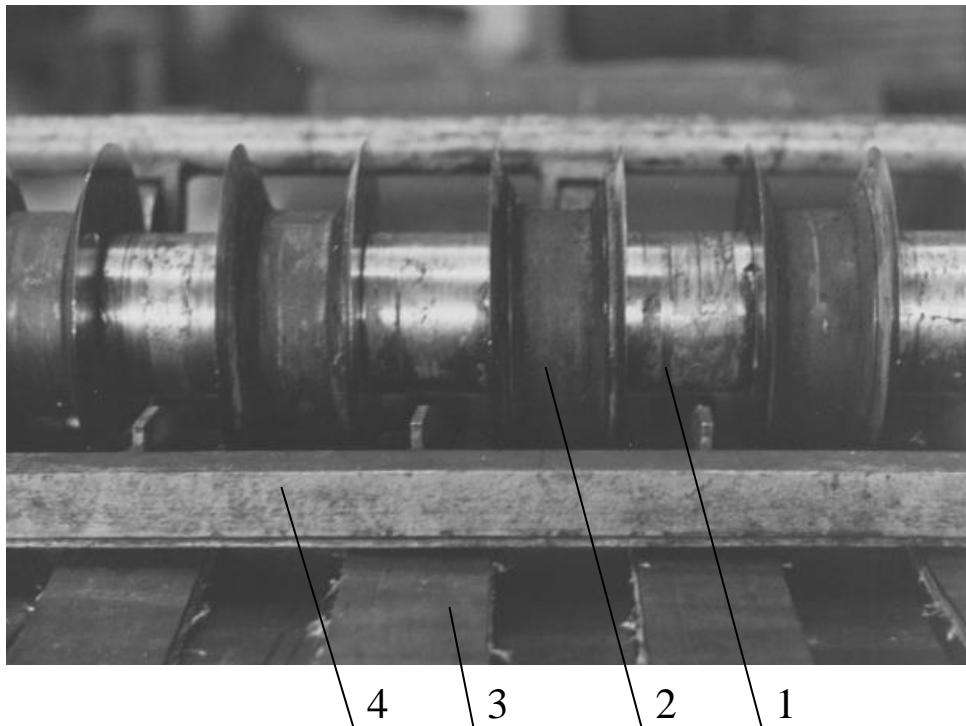


Рисунок 1 - Ножовий блок верстата для порізки конвеєрної стрічки
1-вал; 2-дисковий ніж; 3-конвеєрна стрічка; 4-притискна рейка

Однак на практиці умови різання можуть змінюватися внаслідок затуплення ріжучих крамок ножів, зміни величини зазору між ними, нерівномірності якості поверхні стрічки і т.д. Дійсне зусилля різання може збільшуватися на 20-30%, тому при розрахунку верстата слід користуватися формулою:

$$P_p = K \cdot P. \quad (9)$$

5. Необхідну величину крутного моменту, що передається на кожний дисковий ніж, визначаємо за формулою:

$$M = P_p \cdot \frac{d}{2} \cdot \sin \varphi. \quad (10)$$

6. Потужність різання визначається за формулою:

$$N_{pi3} = \frac{q \cdot P_p \cdot \sin \varphi \cdot V}{61150,8}. \quad (11)$$

7. Побудова кінематичної схеми верстата (рис.1).

8. Розрахунок потужності двигуна:

$$N_o = \frac{N_{pi3}}{\eta} + N_x + N_{nod}; \quad (12)$$

$$N_x = \frac{d_{cp}}{10^6} \left(\sum n + K_1 \frac{d_{unn}}{d_{cp}} n_{unn} \right) K_2; \quad (13)$$

$$N_{nod} = \frac{P_{nod} \cdot V}{102 \cdot 60}. \quad (14)$$

9. Кількість зубів циліндричних зубчастих коліс приводу шпинделів верстата визначаємо за формулою:

$$Z = \frac{2D - a}{m}. \quad (15)$$

Визначене значення Z приводимо до більшого цілого стандартного значення і робимо відповідні коректування у величинах D і a .

10. Подача стрічки в зону різання здійснюється за допомогою шліцевого вала, який приводиться в рух за рахунок пасової передачі від шпинделя верстата. Діаметр шліцевого вала визначаємо за формулою:

$$d = \frac{t \cdot Z_1}{\pi}. \quad (16)$$

Кількість обертів шліцевого вала:

$$n_1 = \frac{D}{d} \cdot n. \quad (17)$$

Передаточне відношення пасової передачі від шпинделя до шліцевого вала:

$$i = \frac{n_1}{n}. \quad (18)$$

Крутний момент на шліцевому валу:

$$M_1 = \frac{P_{nod} \cdot d}{2}; \quad (19)$$

$$P_{nod} = g \cdot P_p \cdot \left(\frac{1}{\cos \varphi + \tau \cdot \sin \varphi} + \frac{1}{\cos \varphi_1 + \tau \cdot \sin \varphi_1} - \tau \cdot \left(\frac{\cos \varphi}{\cos \varphi + \tau \cdot \sin \varphi} + \frac{\cos \varphi^1}{\cos \varphi_1 + \tau \cdot \sin \varphi_1} \right) \right). \quad (20)$$

11. При зачепленні стрічки із подаючим механізмом за допомогою шліцевого вала виникає радіальна сила Fr_1 , що призводить до її піднімання. Для протидії цьому процесу встановлений механізм, що притискає стрічку до шліцевого вала із силою Fr_2 .

$$Fr_1 = P_{nod} \cdot \operatorname{tg} \gamma. \quad (21)$$

$$Fr_2 = 1,3 Fr_1. \quad (22)$$

12. Розрахунок шпинделя верстата на міцність. В результаті порізки стрічки шпинделі верстата піддаються згинним і крутним моментам. При цьому сила різання P_p

розкладається на радіальну силу P_{r1} , направлену до центра шпинделя, і на тангенціальну силу P_{t1} , направлену по дотичній до радіальної кромки ножа.

$$P_{r1} = P_p \cdot \cos \varphi ; \quad (23)$$

$$P_{t1} = P_p \cdot \sin \varphi . \quad (24)$$

Крім того, при дії сили P_p на радіальну кромку ножа із кутом загострення β виникає осьова сила P_{a1} , що направлена паралельно осі обертання ножа. Внаслідок цього виникає згинний момент M_{32} , що діє на ніж і на шпиндель.

$$P_{a1} = \frac{P_p}{\operatorname{tg} \beta} ; \quad (25)$$

$$M_{32} = \frac{P_p \cdot D}{2 \operatorname{tg} \beta} . \quad (26)$$

Крім цих сил, на шпинделі діють сили від циліндричного зубчастого зачеплення, що передає крутний момент від двигуна, через коробку швидкостей на шпиндель:

$$P_t = g \cdot P_p \cdot \sin \varphi . \quad (27)$$

$$P_r = g \cdot P_p \cdot \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \alpha . \quad (28)$$

Після визначення вище приведених сил розрахунки ведуться у горизонтальній і вертикальній площинах. При цьому визначаються реакції опор і згинні та крутні моменти у кожному із основних перерізів шпинделя, будуються відповідні епюри згинних і крутних моментів, за якими визначаються небезпечні січення. Найбільший крутний момент виникає в зоні між шпиндельним колесом і першим різальним ножом.

$$T_{\max} = T_y + \frac{1}{4} q \cdot P_{t1} \cdot D . \quad (29)$$

$$T_y = \frac{1}{2} q \cdot M_{\text{роз}} . \quad (30)$$

Розрахунок діаметра шпинделя ведемо за найбільш навантаженим січенням.

$$d_1 = K^3 \sqrt{\frac{\sqrt{M_2^2 + M_6^2 + T^2}}{0,1[\sigma]}} . \quad (31)$$

13. Габаритні розміри верстата для порізки конвеєрної стрічки.

Висота козла із намотаною стрічкою визначається за формулою:

$$H = 100 + P_1 ; \quad (32)$$

$$P_1 = \sqrt{\frac{(S + S_1) \cdot L_1 \cdot 4}{\pi} + d_2^2} . \quad (33)$$

Ширина верстата:

$$B = B_1 + 2v . \quad (34)$$

де $v = 40 \dots 50$ мм.

В результаті проведених експериментальних досліджень встановлені залежності величини сили різання від величини подачі і діаметра ножів, які зображені відповідно на рис. 2 і 3.

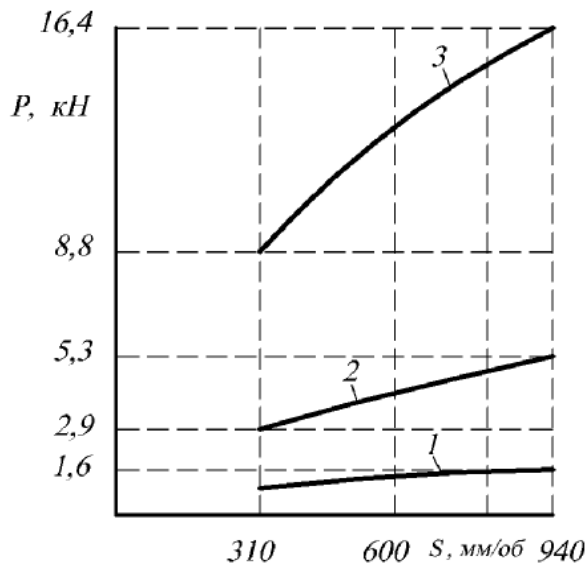


Рисунок 2 - Графік залежності сили різання P від подачі S $\tau_0=50$ МПа:
1 - $t=5$ мм; 2 - $t=10$ мм; 3 - $t=20$ мм.

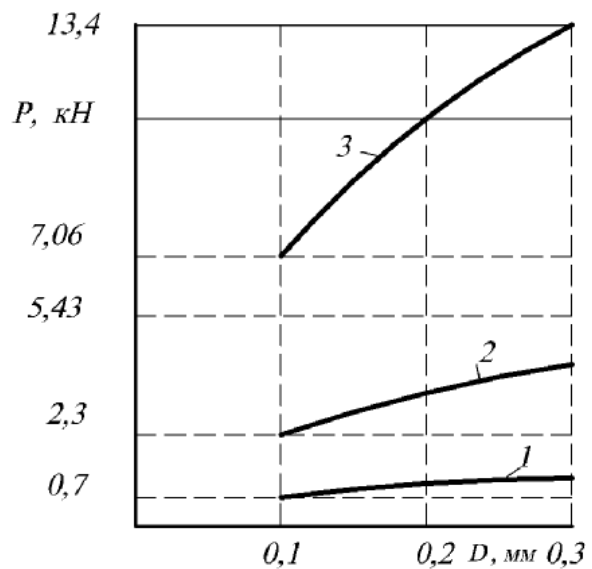


Рисунок 3 - Графік залежності сили різання P від діаметра ножів D $\tau_0=40$ МПа:
1 - $t=5$ мм; 2 - $t=10$ мм; 3 - $t=20$ мм.

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

1. Наведено етапи розрахунку верстата для порізки конвеєрної стрічки на смуги.
2. Дано практичні рекомендації виробництву для проектування даних верстатів і визначення параметрів основних вузлів.

The engineering method of planning to the machine-tool is resulted for cutting of conveyer ribbon on bars. Information practical recommendations to production for planning of these machine-tools.

Література

1. Лепетов В.А., Юрцев Л.Н. Расчеты и конструирование резиновых изделий. Изд. 3-е. - Л.: Химия, 1987.- 408 с.
2. Потураев В.Н. Дыра В.И. Резиновые детали машин. - М.: Машиностроение, 1977. - 216 с.
3. Матвійчук А.В., Логуш І.В., До особливостей порізки транспортних стрічок та автотракторних шин. // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. - Харків: ХДТУСГ, 2004. - С. 332-337.
4. Деклараційний патент України №66164А. Верстат для порізки конвеєрної стрічки на смуги. Матвійчук А.В., Логуш І.В., Гевко І.Б., Михайлишин В.І. Заявлено 07.08.2003р. Опубліковано 15.04.2004. Бюл. №4.

Одержано 21.12.2005 р.