

УДК 621.01.681.31

В. Васильків, канд. техн. наук; Д. Радик, канд. техн. наук

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНСТРУМЕНТІВ НА ЕНЕРГОСИЛОВІ ПОКАЗНИКИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК

Розглянуто питання визначення конструктивних параметрів інструментів з паралельним розміщенням осей ролика та оправ, досліджено вплив конструктивних параметрів та особливостей налагодження інструменту на енергосилові характеристики процесу формоутворення при виготовленні навивних заготовок, а також наведені їх графічні залежності.

Умовні позначення

- B – ширина спіралі;
- B_o – ширина початкової заготовки;
- β – загальний коефіцієнт усадки стружки;
- β_e – коефіцієнт усадки стружки на формуючому інструменті;
- β_p – коефіцієнт усадки стружки внаслідок зміщення нейтральних шарів;
- ζ_p – коефіцієнт, який враховує особливості технологічного процесу формоутворення;
- H_k – висота калібру заходу стрічки;
- A – міжосьова відстань ролика і оправ;
- χ_A – величина можливого зазору між калібруючою частиною формуючого ролика та поверхнею зовнішнього краю навитої стрічки в момент наладки технологічної системи;
- δ_k – глибина канавки заходу стрічки інструмента;
- ΔA – величина зміщення початкової міжосьової відстані оправ і ролика внаслідок пружних деформацій системи ВПД;
- S_b – ордината розміщення інструмента;
- A_o – міжосьова відстань між роликом та оправою для випадку, що розглядається;
- ΔA_m – величина зміни міжосьової відстані;
- F – функція нормального зусилля у sprzęженні ролика з віссю;
- ξ_w – кут нахилу вектора зусилля згину відносно горизонтальної осі;
- C_s – жорсткість пружного елемента;
- m_{rl} – маса ролика з рухомими частинами;
- m_p – маса пружини;
- λ_F – коефіцієнт зведення функції нормального зусилля у sprzęженні ролика з віссю відносно величини зусилля згину стрічки;
- P_w – зусилля згину стрічки у встановленому режимі процесу навивання;
- $S_{p,F}$ – коефіцієнт величини необхідного радіального підтиску;
- ρ_o – радіус нейтрального шару деформації.

Значне місце в сучасному машинобудуванні займають транспортно-технологічні системи, основними робочими органами яких є шнекові механізми. Найбільша тенденція до зростання обсягу та номенклатури машин з гвинтовими робочими органами спостерігається в переробній та харчовій промисловості, сільськогосподарських машинах, технологічному обладнанні. Для забезпечення конкурентоздатності цієї продукції необхідно забезпечити її низьку енергосмність та високу надійність. Тому дослідження енергосилових показників процесу формоутворення навивних гвинтових заготовок (ГЗ) є актуальним.

Дослідження виконувалися в рамках пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки “Новітні та ресурсозберігаючі технології в промисловості, енергетиці та агропромисловому комплексі на 2002–2006 роки” а також згідно з тематикою науково-дослідної роботи ТДГУ ім. І. Пулюя “Розробка та дослідження технологій формоутворення профільних гвинтових елементів технічного обладнання” (номер державної реєстрації 0104U000640).

Розробці фундаментальної теорії виготовлення початкових навивних заготовок із стрічкових профілів присвячені дослідження Б.М.Гевка [1], Р.М.Рогатинського [2], М.І.Пиляпця [3]. Питання розрахунку режимів формоутворення навивних заготовок (НЗ) передбачає визначення кінематичних (подача інструменту, частота обертання оправи) і енергосилових параметрів (вертикальна та горизонтальна складові зусилля підтиску спіралі, момент опору навивання, потужність, яку необхідно затратити для реалізації процесу формоутворення).

У зв'язку із розробленням і впровадженням нового, більш прогресивного технологічного спорядження (ТС) виникає необхідність у проведенні додаткових теоретичних і експериментальних досліджень, спрямованих на уточнення існуючих тверджень для розрахунку енергосилових параметрів проектного ТС, внаслідок урахування їх конструктивних особливостей та налагодження на виконання операції. Зокрема, для визначення загального моменту навивання важливо оцінити втрати енергії у спорядженні технологічної системи. Такі розрахунки повинні враховувати особливості фрикційної взаємодії та їх зношення.

Отже, завданням цього дослідження є встановити аналітичні залежності зв'язку конструктивних параметрів формозмінного інструменту ТС з особливостями виконання геометрії початкових навивних заготовок та енергосиловими показниками при їх формоутворенні, а також особливостями їх налагодження на виконання операції.

Науково обгрунтований вибір конструктивних параметрів інструментів, що використовуються, на основі урахування особливостей розглянутих технологій займає важливе місце у структурі проектних розрахунків. Розглянемо процес навивання смугової початкової заготовки роликком, вісь якого розміщена паралельно до осі оправи (рис. 1).

Внаслідок зминання стрічки за краями та зміщення нейтральних шарів ширина спіралі менша у порівнянні з шириною початкової заготовки.

В загальному випадку складові усадки стрічки процесу навивання визначаються за формулою [4]:

$$\beta = \zeta_p \beta_c^2 \beta_p. \quad (1)$$

Тоді, згідно з [3], зв'язок значень ширини стрічки після зминання деформуючим роликком визначається виразами:

$$B_1 - B_0 + \Delta B_p + \Delta B_o = 0; B_1 - R + r_o - \Delta B_1 = 0; B_1 = B/\beta_p = B_0 - \Delta B_p - \Delta B_o. \quad (2)$$

Згідно з (1), що $\beta_o = \beta_p = \beta_c$, де β_o і β_p - величини коефіцієнтів усадки стрічки відповідно на оправі і ролику. Це дає підстави записати, що $B_o/B_1^S = B_1^S/B_1$, або $B_o B_1 - (B_1^S)^2 = 0$, але $B_o - \Delta B_p = B_1^S$, тому $B_o B_1 = (B_o - \Delta B_p)^2$, звідки одержуємо, що $B_1 = B_o - 2\Delta B_p$, тобто $\Delta B_p = \Delta B_o$.

Із розрахункової схеми рис. 1 видно, що плече прикладання зусилля згину стрічки визначається із трикутників ΔOO_1C і ΔO_1NM :

$$l = l_c + 0,5l_x = \sqrt{A^2 - \left(r_o + \frac{B}{\beta_p} + r_p\right)^2} + 0,5\sqrt{(2r_p - \Delta B_p)\Delta B_p} =$$

$$= \sqrt{H_k^2 + 2(r_o + r_p)\left(H_k - \frac{B}{\beta_p}\right) - \left(\frac{B}{\beta_p}\right)^2} + 0,5\sqrt{(2r_p - \Delta B_p)\Delta B_p}. \quad (3)$$

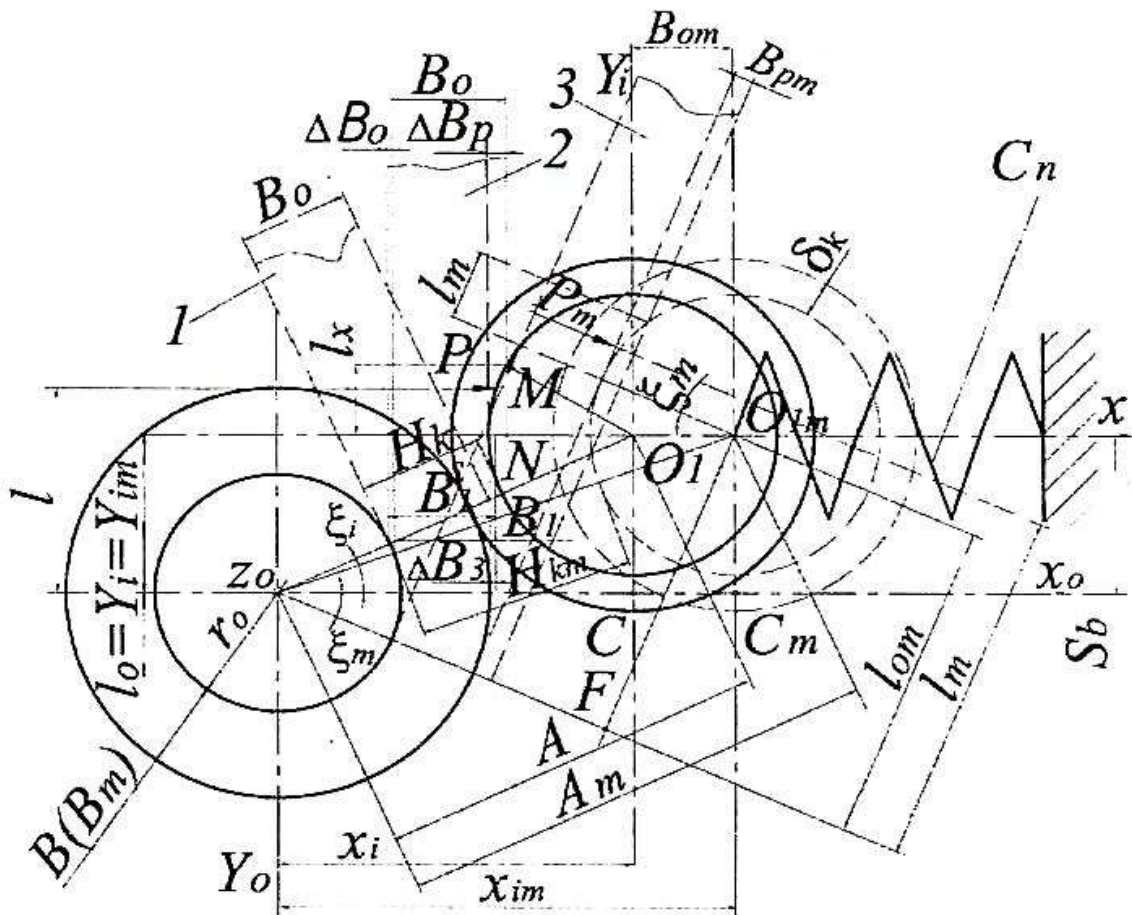


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення конструктивних параметрів інструментів з паралельним розміщенням осей ролика та оправи

Припустивши, що для випадків, що розглядаються, справджується формула аналогічна залежності для визначення моменту чистого згинання, а також співвідношення між зусиллям стискання стрічки перерізу $H_o \times B_o$ відрізка довжиною l_x на ролику, одержимо основну рівність, що визначає параметри процесу формоутворення навивних заготовок:

$$k_\sigma \left(B/\beta_p + 2\Delta B_p \right)^2 = 4H_x. \quad (4)$$

Згідно з [5], коефіцієнт k_σ має значення: $k_\sigma = 0,5 - 0,9$.

Після підстановлення значень одержимо

$$k_{\sigma} \left(\frac{B}{\beta_p} + 2\Delta B_p \right)^2 = 2(2r_p - \Delta B_p) \Delta B_p + 4 \sqrt{\left[H_K^2 + 2(r_o + r_p) \left(H_K - \frac{B}{\beta_p} \right) - \left(\frac{B}{\beta_p} \right)^2 \right]} (2r_p - \Delta B_p) \Delta B_p. \quad (5)$$

Розв'язок вказаної залежності відносно ΔB_p дає можливість визначити величину усадки стрічки на інструменті відносно конструктивних параметрів:

$$\Delta B_p = - \frac{B^3 k_{\sigma}^2 - 4l_o^2 r_p \beta_p^3 - B^2 k_{\sigma} r_p \beta_p}{4B^2 k_{\sigma}^2 \beta_p + 4r_p^2 \beta_p^3 - 8Bk_{\sigma} r_p \beta_p^2} + \left[\left(\frac{B^3 k_{\sigma}^2 - 4l_o^2 r_p \beta_p^3 - B^2 k_{\sigma} r_p \beta_p}{4B^2 k_{\sigma}^2 \beta_p + 4r_p^2 \beta_p^3 - 8Bk_{\sigma} r_p \beta_p^2} \right)^2 - \frac{B^4 k_{\sigma}^2}{16B^2 k_{\sigma}^2 \beta_p^2 + 16r_p^2 \beta_p^4 - 32Br_p k_{\sigma} \beta_p^3} \right]^{0.5}. \quad (6)$$

Для інструментів, оснащених кільцевою канавкою, глибиною δ_K , величина калібру в загальному випадку визначається так:

$$H_K = B + \delta_K + \chi_A + \Delta A. \quad (7)$$

Для інструментів, що реалізують технологічний процес (ТП) неперервного навивання:

$$H_K = B + \delta_K. \quad (8)$$

Виконання навивних заготовок (НЗ), що характеризуються значною мірою складності, та попередження гофроутворень здійснюють шляхом зменшення плеча прикладання зусилля згину [3]. Для цього необхідна значна жорсткість системи ВПД, що мінімізує ΔA , а наладку інструменту необхідно здійснювати так, щоб $\chi_i = 0$, врахувавши горизонтальні пружні переміщення формуючого інструменту (Φ_1) в результаті контактних деформацій в направляючих верхнього супорта токарного верстату. Розрахунок вказаної величини можна здійснювати, використовуючи методику, запропоновану, наприклад, у праці [6].

Одним із напрямків зменшення плеча прикладання зусилля згину є зменшення глибини канавки δ_K , тому їй рекомендується приймати в межах 2 – 4 мм [2].

Варіанти виконання Φ_1 , у яких ролик оснащений підтискним буртом (рис. 1) радіусом r_b є такими:

- для $A > r_o + r_b$, $H_K \geq B$;
- для $A = r_o + r_b$, $H_K = r_b - r_p$.

Для граничних випадків мінімізованої величини прикладання зусилля згину $H_K = B = r_b - r_p$.

Прийнявши $\beta_p = 1.0$ і знехтувавши величиною ΔB_o та розв'язавши рівність (5) відносно величини B_o і прийнявши $d_p = 2r_p$, одержимо величини усадки стрічки ΔB_p і плеча прикладання зусилля згину, що описують вказаний випадок і які наведені у працях [1, 7].

Підвід інструменту, оснащеного кільцевою канавкою, відносно заготовки повинен здійснюватись так, щоб міжосьова відстань становила: $A = r_o + r_b + B + \delta_K$.

Тоді гранична міжосьова відстань установлення інструменту відносно умови контакту є такою: $A_{Lim} = r_o + r_b + B_o - \Delta B_p^{CT}$, де ΔB_p^{CT} - величина змінання стрічки роликком у статичному стані.

Отже, між інструментом і стрічкою існуватиме зазор який можна подати так:

$$A_{\Delta} = B + \delta_K - B_o - \Delta B_p^{CT} \approx \delta_K - 2\Delta B_p - \Delta B_{\beta}. \quad (9)$$

У випадку недостатньої жорсткості системи ВПД, а також використання ФІ з гнучким кінематичним зв'язком системи "навивна заготовка-інструмент", необхідно забезпечити контакт між роликком і стрічкою, так як особливістю процесу формоутворення НЗ згаданим чином є залежність силових параметрів від жорсткості пружного елемента системи. Розглянемо цей процес детальніше.

Нехай інструмент підведений до оправи так, що координати його вісі у системі координат НЗ є такими (поз.1 рис. 1):

$$y_{oi} = S_b; \quad x_{oi} = \sqrt{A_o^2 - S_b^2} = \sqrt{(r_o + B_o + r_p)^2 - S_b^2}. \quad (10)$$

У процесі навивання стрічки розміщення ролика відносно оправи зміниться. Усі параметри, що характеризують такий стан, позначимо індексом m .

Розміщення зміщеного ролика нехай означається координатами:

$$-y_{im} = S_b; \quad x_{im} = \sqrt{A_m^2 - S_b^2} = \sqrt{(r_o + B + r_p + \Delta A_m)^2 - S_b^2}. \quad (11)$$

За аналогією із теорією функціонування швидкохідних кулачкових механізмів, умова динамічної рівноваги, згідно з принципом Д'аламбера:

$$F \cos \theta_F + P_r + c_S(x_{im} - x_{oi}) - (m_{Fl} + m_p/3)\ddot{x}(t) = 0; \quad \theta_F = \bar{F} \wedge \overline{O_1 X}. \quad (12)$$

Нехай ролик переміщується за законом $x(t) = f(\omega t)$, (ω - кутова швидкість обертання оправи) умова контакту: $(m_{Fl} + m_p/3)\ddot{x}(t) \geq P_r + c_S(x_{im} - x_{oi})$; $F \cos \theta_F \geq 0$. Позначивши через P_{min} , P_{max} - межі зміни зусилля формоутворення, одержимо умову навивання:

$$P_{min} \leq P_r + c_S(x_{im} - x_{oi}) - (m_{Fl} + m_p/3)\omega^2 f''(\omega t) \leq P_{max}.$$

Вираз опису умовної рівноваги у спрощеному вигляді для різних положень системи є таким:

$$F \cos \theta_F = P_r + c_S(x_{im} - x_{oi}), \quad (13)$$

або

$$\lambda_F P_m \cos \xi_m = P_r + c_S(x_{im} - x_{oi});$$

$$S_{P/F} = 1 + c_S \Delta x P_r^{-1}; \quad \Delta x = x_{im} - x_{oi}, \quad (14)$$

$$S_{P/F} = \lambda_F P_m \cos \xi_m / P_r.$$

Із трикутників $\Delta O_{1m} OF$ і $\Delta O_{1m} OC_m$:

$$\xi_m = \arctg(l_{om} / (r_o + r_p + B / \beta_p)) - \arctg(S_b / x_{im}), \quad (15)$$

де $l_{om} = l_o$.

На основі вище виведених залежностей (3) і (10), (11) визначимо плече прикладання зусилля згину:

$$l_m = l_{om} + 0,5l_{\lambda m} = \sqrt{(B + \Delta A_m)^2 + 2(r_o + r_p) \left(B + \Delta A_m - \frac{B}{\beta_p} \right) - \left(\frac{B}{\beta_p} \right)^2} + 0,5\sqrt{(2r_p - \Delta B_{pm})\Delta B_{pm}}. \quad (16)$$

У зведеній формі перший вираз (14) подамо так

$$\lambda_p P_m \cos \left[\operatorname{arccotg} \left(\frac{l_{om}}{r_o + r_p + B/\beta_p} \right) - \operatorname{arctg} \frac{S_b}{\sqrt{[r_o + r_p + B_o + \Delta A_m]^2 - S_b^2}} \right] = F_p + c_s \left(\sqrt{[r_o + r_p + B_o + \Delta A_m]^2 - S_b^2} - \sqrt{[r_o + r_p + B_o]^2 - S_b^2} \right). \quad (17)$$

Враховуючи наведені у праці [8] залежності для оцінювання силових факторів процесу навивання стрічки на ребро, запишемо

$$P_m = P_m(l_m) = \frac{\beta_o H_o \left[\sigma_s \sqrt{r_o/(r_o + B)} \left((r_o + B)^2 + 2r_o \rho_o - 3\rho_o^2 \right) \right]}{3 \left[l_m + (\mu_p + \operatorname{tg} \gamma_p)(r_o + B - \rho_o) + \mu_o(r_o - \rho_o) \right]}. \quad (18)$$

$$\rho_o = \sqrt{r_o(r_o + B)}.$$

Розв'язавши рівняння (17) відносно ΔA_m , знаходимо реальне плече прикладання зусилля згину l_m та відповідне значення P_m .

Для розміщення інструменту на початковому етапі ТП в поз. 2 і переміщення в поз. 3 параметри розміщення інструменту визначатимуться за аналогією з формулами (10), (13):

$$y_{02} = S_b; \quad x_{02} = r_o + B_o + r_p; \quad (19)$$

$$-y_{3m} = S_b; \quad x_{3m} = \left[\left(\sqrt{(r_o + B + r_p + \Delta A_m)^2 + S_b^2} + \Delta A_m \right)^2 - S_b^2 \right]^{0,5}; \quad (20)$$

$$\Delta x = x_{3m} - x_{02}. \quad (21)$$

Величина H_K для цього випадку визначається так:

$$H_K = \sqrt{(r_o + B_o + r_p)^2 + S_b^2} + \Delta A_m - r_o - r_p. \quad (22)$$

Отже, причини нерівномірності геометричних параметрів ГЗ є наслідком різниці величини плеча l_m на початковому етапі формоутворення та в усталеному режимі. Забезпечення необхідної величини коефіцієнта $S_{p/f}$ призводить до стабілізації ТП.

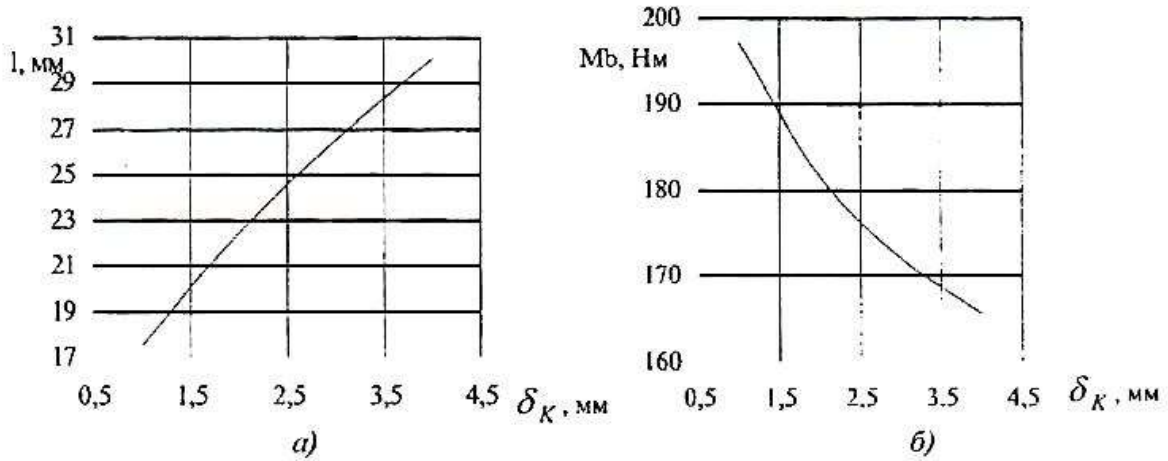


Рис. 2. Залежності величин плеча прикладання зусилля згину (а) і моменту навивання (б) від значення δ_K для $B_o=20$ мм, $H_o=3$ мм, $r_o=27$ мм сталі 08кп

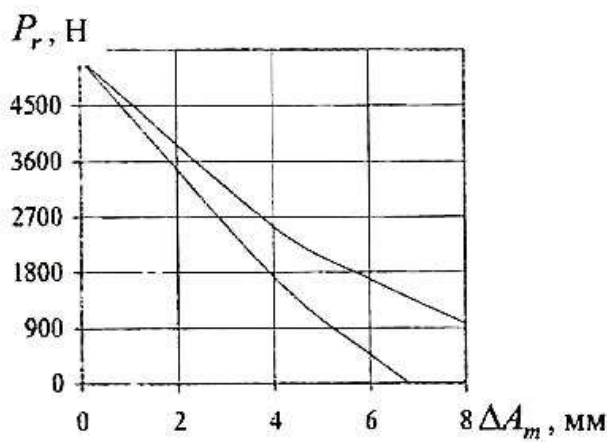


Рис. 3. Залежності зв'язку величин зусилля радіального підтиску НЗ від зміни приросту між осевої відстані для $B_o=18$ мм, $H_o=4$ мм, $r_o=29$ мм, $S_b=20$ мм, $r_p=50$ мм, сталі 08кп

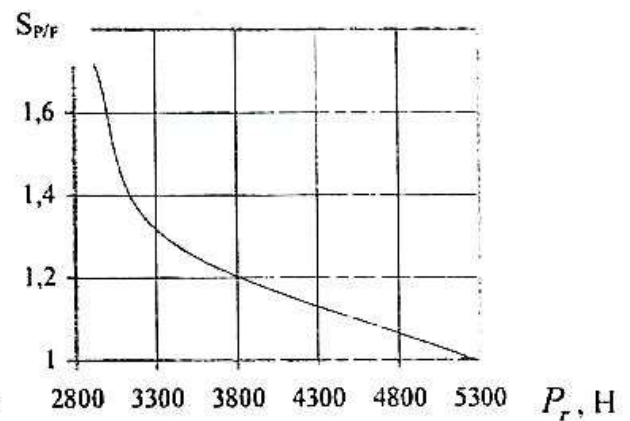


Рис. 4. Залежність параметра $S_{p/F}$ від P_r для $B_o=18$ мм, $H_o=4$ мм, $r_o=29$ мм, $S_b=20$ мм, $r_p=50$ мм, сталі 08кп

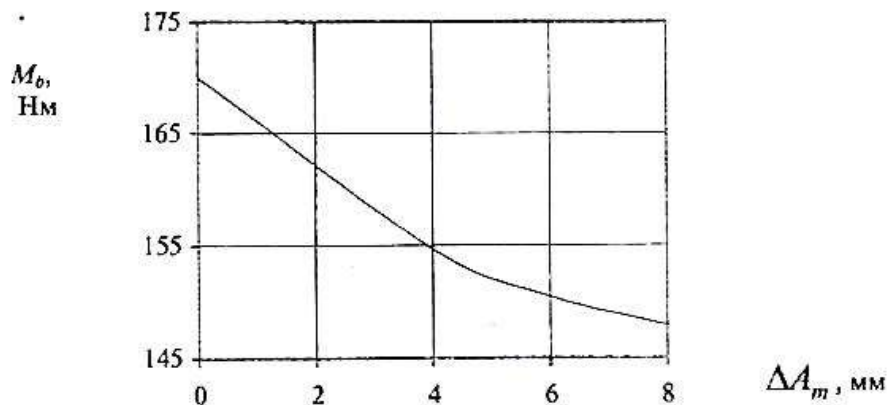


Рис. 5. Залежності зв'язку величини зміни приросту між осевої відстані розміщення інструменту відносно оправі і моменту навивання для $B_o=18$ мм, $H_o=4$ мм, $r_o=29$ мм, $S_b=20$ мм, $r_p=50$ мм, сталі 08кп

Згідно з проведеними дослідженнями можна зробити наступні **висновки**:

1. Виведено аналітичні залежності розрахунку енергосилових параметрів виготовлення ГЗ, які враховують конструктивні параметри інструменту та особливості його налагодження, а також моментів тертя підтискних елементів зі стрічкою та оправою.

2. Встановлено причини нерівномірності геометричних параметрів ГЗ як наслідку різниці величини плеча прикладання зусилля згину стрічки на початковому етапі формоутворення та в усталеному режимі, та визначено величину коефіцієнта необхідного радіального підтискування.

3. Виявлено умови зменшення зусиль формоутворення та підвищення рівномірності усадки стрічки в процесі навивання, що дало можливість більш точного розрахунку конструкцій спорядження та режимів формоутворення ГЗ.

4. Побудовано графічні залежності (рис. 2 – 5) впливу конструктивних параметрів формозмінного інструменту на енергосилові характеристики процесу формоутворення та характер його зміни.

Перспективним подальшим дослідженням в даному напрямку є оптимізація енергозатрат при навиванні шнекових робочих органів зі змінним міжвитковим об'ємом, кулачкових навивних заготовок, а також для концентрації і суміщення операцій вирубування, навивання та одночасного калібрування на крок при виготовленні, зокрема, широкосмугових спіралей.

The problem of determining structural parameters of the tools with parallel roller and holder axis is considered. The influence of structural parameters and tool adjustment peculiarities on the power characteristics of forming while manufacturing spiral blanks is investigated. Graphical dependences are presented.

Література

1. Гевко Б.М. Технология изготовления спиралей шнеков. - Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те. 1986. - 128 с.
2. Гевко Б.М., Рогатынский Р.М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин. - Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1989. - 176 с.
3. Пилипець М.І., Васильків В.В. Теоретична модель усадки стрічки при формоутворенні навиванням гвинтових заготовок // Наукові нотатки. – Луцьк: ЛДТУ. - 2002. – Вип. 10. - С. 85-91.
4. Гергет О.Д. Общий метод расчета плоских заготовок витков прямых и косых геликоидов // Вестник машиностроения. - 2001. - № 5. – С. 18 - 21.
5. Пилипець М.І. Науково-технологічні основи виробництва навивних заготовок деталей машин: Дис... д-ра техн. наук: 05.02.08 - Львів, 2002. – 445 с.
6. Левина З.М., Решетов Д.Н. Контактная жесткость машин. М.: Машиностроение, 1971. - 364 с.
7. Гурвич В.Е. Разработка, определение параметров и внедрение в производство процесса холодной вальцовки спиралей шнеков сельскохозяйственных машин: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.02.06 / Танкостроительный институт. - М., 1985. - 20 с.
8. Дрозд М.С., Матлин М.М., Сидякин Ю.И. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации. - М.: Машиностроение, 1968.- 224 с.

Одержано 03.05.2005 р.