



УДК 514.18

**КОНСТРУЮВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ШНЕКІВ У СИСТЕМІ
СУПРОВІДНОГО ТРИГРАННИКА ЗОВНІШНЬОЇ КРОМКИ ШНЕКА**

С.Ф. ПИЛИПАКА,

доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і
природокористування України, м. Київ, Україна

М.М.МУКВИЧ,

кандидат технічних наук, в.о. доцента ВП НУБІП України
«Ніжинський агротехнічний інститут», м. Ніжин, Україна

*Знайдено залежність між кривиною зовнішньої кромки поверхні
деформації прямолінійної смуги у поверхню шнека та величиною*



горизонтальної складової сили результуючого зусилля згину заготовки. Візуалізовано поверхню деформації у вигляді косоного гелікоїда.

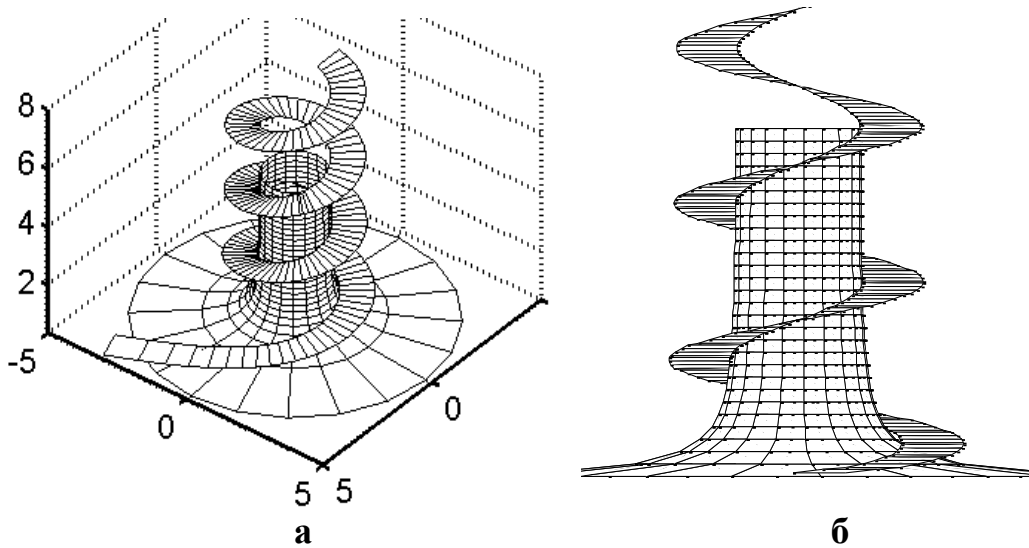
Ключові слова: *поверхня шнека, кривина кривої, косий гелікоїд.*

Постановка проблеми. Конструювання поверхонь технічних форм є однією із важливих проблем прикладної геометрії, яка об'єднує групу задач, щодо створення геометричних моделей за наперед заданими позиційними та диференціальними умовами. Ігноруючи деякі технологічні засади утворення поверхонь технічних форм – деформацію заготовки, утворення складок та ін. [1] зберігається можливість проектування неперервного каркасу поверхонь. Це дозволяє варіювати геометричними та диференціальними характеристиками поверхонь, які проектуються. Особливою умовою конструювання неперервного каркасу поверхонь є знаходження їх аналітичного опису у вигляді параметричних рівнянь.

При проектуванні пристроїв навивки спіралей шнеків із прямолінійних смуг важливою задачею є зменшення опору деформації заготовки. Одним із способів зменшення залишкових напружень заготовки є розподіл сили результуючого зусилля згину на горизонтальну складову і складову, напрямлену з довільної точки смуги, яка деформується, до її зовнішньої кромки вздовж твірної [1]. Це означає, що в якості поверхні деформації прямолінійної смуги доцільно використати косий гелікоїд, твірні якого не є перпендикулярними до осі гелікоїда.

Аналіз останніх досліджень. У роботі [2] створено аналітичну модель поступового формування шнеків із прямолінійної металевої смуги і знайдено математичний опис поверхні напрямної деталі пристрою для формування шнеків [3], де у якості поверхні деформації заготовки використано прямий гелікоїд (рис.1).

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Здійснити аналітичний опис поверхні деформації прямолінійної смуги у поверхню шнека, встановивши залежність між кривиною зовнішньої кромки заготовки та величиною горизонтальної складової сили результуючого зусилля згину заготовки. Візуалізувати поверхню косоного гелікоїда, отриманого деформацією прямолінійної смуги. При цьому врахувати можливість неперервної зміни величини кута між твірною гелікоїда та горизонтальною площиною від деякого значення до нуля в кінці деформації.



**Рис.1. Поверхня деформації прямолінійної заготовки (прямий гелікоїд), обмежена поверхнею обертання:
а) аксонометрія поверхонь, б) фронтальна проекція поверхонь.**

Основна частина. Способи навивки на оправку нараховують більше 50–ти запатентованих різновидів [2], які можна об'єднати за характером калібрувальних пристроїв: навивка із заданим кроком, навивка спіралей на оправку із щільно навитими витками, навивка смуги на оправку з неперервним її сходженням із робочої зони, навивка смуги з обтискуванням та ін.

На рис.2 зображена найбільш поширена технологічна схема процесу навивки спіралей шнеків із металевої прямолінійної смуги [1]. Кінець смуги 1 фіксують за допомогою осьового паза 2, згинаючи заготовку під кутом 90° . Формоутворення спіралі здійснюється за допомогою тиску на заготовку у радіальному і осьовому положеннях ступінчатого ролика 4, який може переміщуватися у паралельному до осі напрямі. Рухому оправку 3 обертають за допомогою спеціального приводного пристрою. Після навивки спіралі ступінчатий ролик відводять і спіраль розтягують до необхідного кроку.

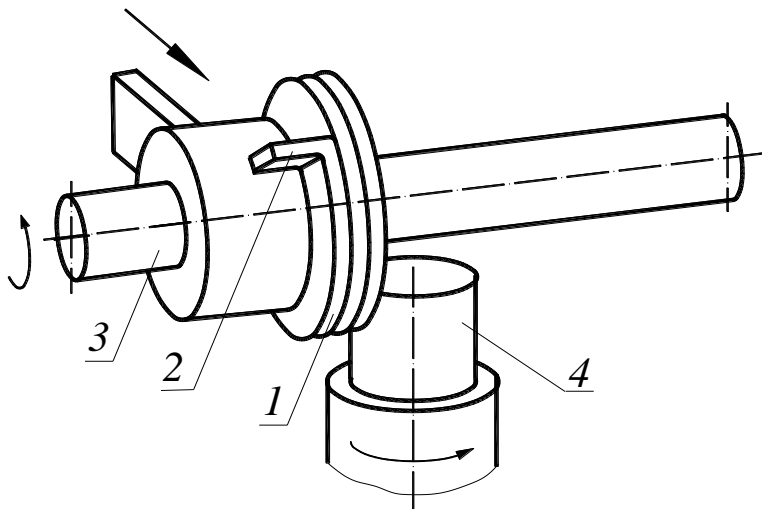




Рис. 2. Технологічна схема процесу навивки спіралі шнека із прямолінійної металевої смуги.

Недоліком даної схеми є труднощі при утворенні спіралей шнеків із прямолінійних смуг, у яких відношення ширини заготовки b до її товщини h менше трьох або більше п'ятнадцяти-двадцяти [1]. Тоді процес навивки є малокерованим – смуга "лягає" на оправку, можливі розриви металу і гофроутворення. З метою покращення технологічних характеристик процесу використовують додаткові формоутворюючі пристрої. Серед сучасних розробок у цьому напрямку можна вирізнити способи навивки з використанням додаткових формоутворюючих П-подібних пластин; конічних формоутворюючих роликів, із нарізаною гвинтовою формуючою канавкою; ротаційного механізму трьох гвинтових роликів, які рухаються навколо осі нерухомої оправки; ротаційного пристрою у вигляді корпусу, всередині якого розташовані конічні деформуючі і калібрувальні ролики та ін. [2]

У роботах [1, 2] розглянуто теоретичні основи деформації поперечного розрізу прямолінійної заготовки, встановлено закони розподілу деформацій та моментів згинання процесу навивки, які підтверджені експериментальними дослідженнями. Зокрема, у роботі [1] значення (абсолютну величину) горизонтальної складової P_x сили $\overline{P}_{рез}$ результуючого зусилля згину, яка діє на прямолінійну смугу у напрямі, протилежному до напрямку руху смуги (рис.3), визначають із співвідношення:

$$P_x = P_{рез} \cdot \sin \gamma_p \quad (1)$$

де $P_{рез}$ – модуль сили результуючого зусилля згину при контактуванні смуги із формоутворюючим інструментом.

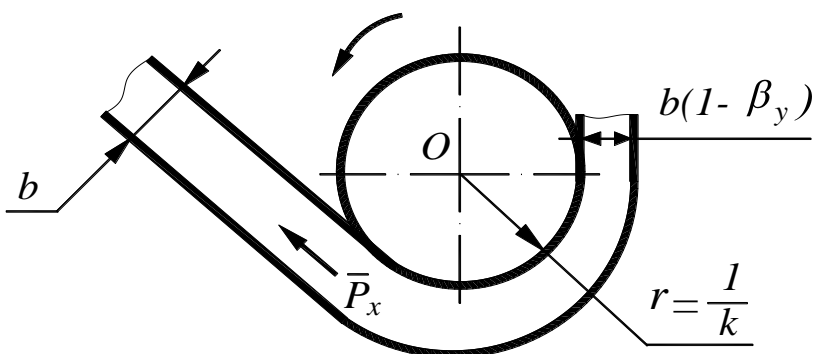


Рис. 3. До аналізу залежності між кривиною кромки k та величиною горизонтальної складової P_x сили результуючого зусилля згину заготовки.

Величину кута γ_p знаходять із формули [1]:



$$\gamma_p = \arctg \sqrt{\frac{(1 - \beta_y) \cdot b}{2r}}, \quad (2)$$

де β_y – коефіцієнт усадки смуги по ширині розрізу, b – ширина смуги, r – радіус кромки.

Користуючись результатами експериментальних досліджень, опублікованими в [1], можна вважати, що для прямолінійної смуги із шириною $b = 10$ мм і товщиною $h = 5$ мм, яку виготовлено прокаткою дроту із конструкційної (пружинної) сталі 65Г, величина коефіцієнта усадки наближено дорівнює $\beta_y \approx 0,03$ (при навивці на оправку радіуса $r = 10$ мм). Указані розміри виконуються при виготовленні шнеків для обладнання птахівництва, яке випускається на підприємстві «ВАТ «Ніжинсільмаш».

Підставивши (2) у (1) і врахувавши рівність для кривини кромки $k = \frac{1}{r}$, отримаємо:

$$P_x(k) = P_{pez} \cdot \sqrt{1 - \frac{2}{b \cdot k \cdot (1 - \beta_y) + 2}}. \quad (3)$$

На рис.4 побудовано графік функції $P_x(k)$, заданої залежністю (3) (для зручності використано значення $P_{pez} = 1$). Навіть при розтягу графіка залежності $P_x(k)$ від осі P у десять разів (рис. 4) очевидним є різке збільшення величини сили P_x , напрям якої протилежний до напрямку руху прямолінійної смуги. Зокрема, збільшення кривини кромки заготовки від нуля до її кінцевої величини на 15-18% зумовлює збільшення величини горизонтальної складової P_x сили результуючого зусилля згину заготовки на 50% від кінцевого значення. Це означає, що у зоні контакту прямолінійної смуги із формоутворюючою поверхнею оправки зміна кривини смуги k від нуля до певного значення спричинює в зоні контакту пристрою навивки значний опір деформації смуги. Наслідком цього є передчасний знос калібровочних деталей, перегрів заготовки та формоутворюючих деталей при неперервному процесі навивки, розриви заготовки. Тому, для зменшення опору деформації, смугу необхідно деформувати так, щоб кривина її кромки змінювалася плавно:

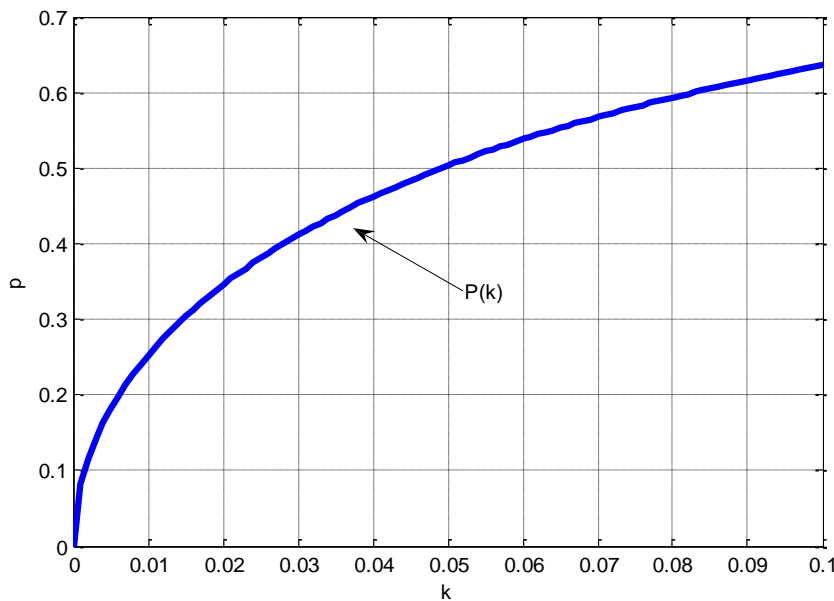


Рис. 4. Графік залежності між кривиною оправки k та величиною горизонтальної складової P_x сили результуючого зусилля згину заготовки.

від нуля на початку деформації до потрібної величини в кінці деформації. Цей результат частково досягається при використанні пристроїв, у яких кривина зовнішньої кромки заготовки протягом деформації змінюється неперервно до заданої величини для зовнішньої кромки поверхні шнека [2,3].

Для подальшого зменшення опору деформації в ролі поверхні деформації прямолінійної смуги доцільно використати косий гелікоїд, твірні якого не є перпендикулярними до осі гелікоїда.

Знаходження параметричних рівнянь косоного гелікоїда, враховуючи можливість зміни величини кута між його твірною і віссю обертання (або горизонтальною площиною), традиційно викликає труднощі при конструюванні неперервного каркасу поверхні. Для розв'язання цієї задачі використаємо спосіб конструювання поверхонь у системі супровідного тригранника Френе напрямної кривої [4]. За напрямну криву візьмемо просторову криву, задану параметричними рівняннями [2]:

$$x_A(s) = \left(\frac{a}{s^2} + \frac{1}{k} \right) \sin(ks); \quad y_A(s) = - \left(\frac{a}{s^2} + \frac{1}{k} \right) \cos(ks), \quad z_A(s) = bs, \quad (4)$$

де: $s = 2,5; 2,7; \dots 30$ – довжина дуги напрямної кривої (зовнішньої кромки заготовки); $a = 15$ – параметр напрямної кривої (1), $k = 0,5$ – кривина зовнішньої кромки спіралі шнека. Параметр $b = 0,177$ знайдемо за формулою [3]:

$$b = \frac{\sqrt{4a^2 + s^2(ak + s^2)^2}}{s^3} \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (5)$$



де $\beta = 10^\circ$ – кут підйому просторової кривої (1) у верхній її точці (дорівнює куту підйому зовнішньої кромки спіралі шнека).

При русі тригранника Френе із вершиною A по напрямній кривій (4) прямолінійна твірна $AB = u$ утворить лінійчату поверхню (рис.5).

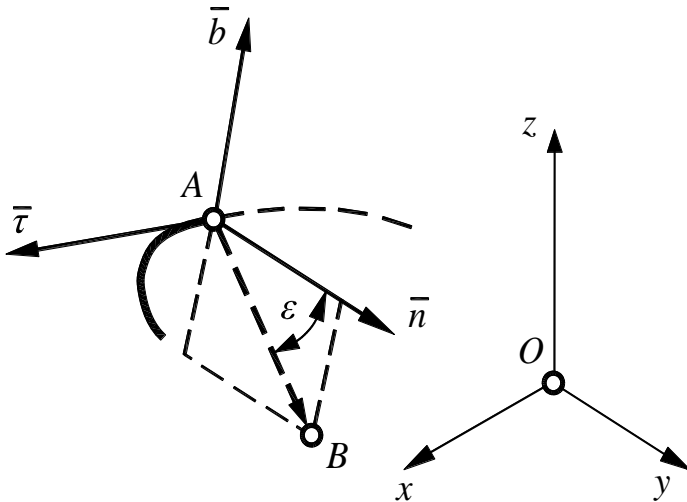


Рис.5. Супровідний тригранник Френе просторової напрямної кривої (4) із прямолінійною твірною AB у його нормальній площині.

Нехай твірна AB буде рухатись у нормальній площині тригранника за законом $\epsilon(s) = -\frac{3}{2s}$, де $\epsilon(s)$ – кут між вектором твірної \overline{AB} поверхні деформації та ортом \bar{n} головної нормалі тригранника. Тоді при неперервній зміні величини s (довжини дуги зовнішньої кромки заготовки) від 2,5 до 30, величина кута $\epsilon(s)$ буде змінюватись від -34° до -2° , утворюючи поверхню косоного гелікоїда відносно нерухомої системи координат $Oxyz$.

На рис.6 зображено поверхню косоного гелікоїда, одержаного деформацією прямолінійної смуги. Цю поверхню побудовано за знайденими параметричними рівняннями, які з метою компактності статті не наводяться.

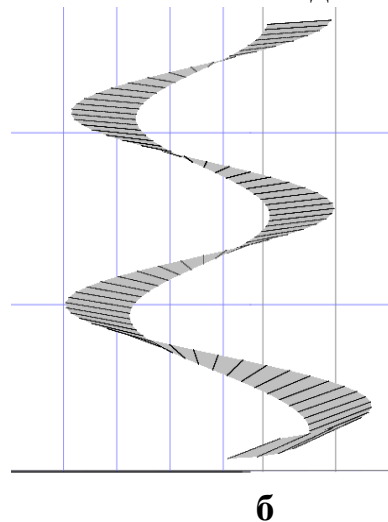
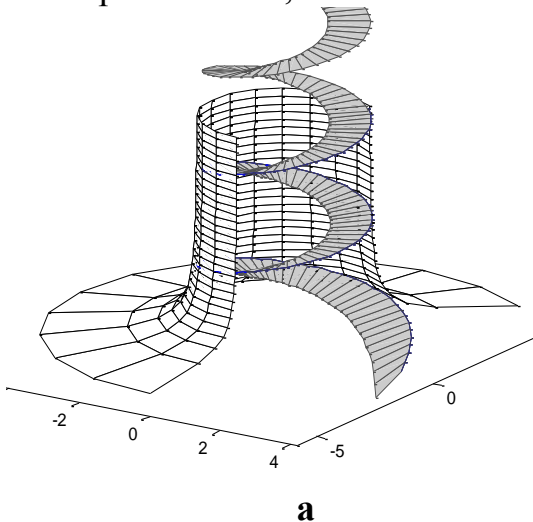




Рис.6. Поверхня деформації прямолінійної смуги (косий гелікоїд), обмежена поверхнею обертання:

а) аксонометрія поверхонь, б) фронтальна проекція косоного гелікоїда.

Висновки. Залежність між кривиною зовнішньої кромки прямолінійної смуги та величиною горизонтальної складової сили результуючого зусилля згину заготовки є суперпозицією функцій, і при незначному збільшенні кривини величина сили деформації значно збільшується. Для зменшення опору деформації заготовки запропоновано використати косий гелікоїд у якості перехідної поверхні деформації прямолінійної смуги. Знайдений аналітичний опис перехідної поверхні деформації заготовки можна використати для математичного аналізу напружено-деформованого стану поверхні деформації заготовки (ненульової товщини) та при проектуванні насипів автомобільних доріг.

Література

1. Гевко Б.М. Технология изготовления спиралей шнеков / Гевко Б.М. – Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1986. – 128 с.
2. Пилипака С.Ф. Поступове формування шнеків із прямолінійної металевої смуги / С.Ф. Пилипака, М.М. Муквич // Праці ТДАТУ.– Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – № 4.– Прикл. геометрія та інж. граф. – Том 43. – С. 43–49.
3. Патент на корисну модель 46149 Україна, МПК(2009) В21D 11/00. Пристрій для виготовлення спіралей шнеків із прямолінійної металевої штаби / Муквич М.М., Пилипака С.Ф. – № u200946149; заявл. 16.07.2009; опубл. 10.12.2009, бюл. № 19.
4. Пилипака С.Ф. Конструювання лінійчатих поверхонь загального виду в системі супровідного тригранника напрямної просторової кривої / С.Ф. Пилипака, М.М. Муквич // Праці ТДАТА.– Мелітополь: ТДАТА, 2007. – № 4. – Прикл. геометрія та інж. граф.– Том 35. – С. 10–18.

Конструирование поверхностей шнеков в системе сопровождающего трёхгранника внешней кромки шнека

Пилипака С.Ф., Муквич Н.Н.

Найдена зависимость между кривизной внешней кромки поверхности деформации прямолинейной полосы в поверхность шнека и величиной горизонтальной составной силы результирующего усилия изгиба заготовки. Визуализирована поверхность деформации в виде косоного геликоида.

Ключевые слова: *поверхность шнека, кривизна кривой, косой геликоид.*

Constructing of surfaces of screws in the system of accompanying three-edge of external edge of a screw

Pylypaka S.F., Mukvich M. M.



Dependence is found between curvature of external edge of surface of deformation of rectilinear bar in the surface of screw and size of horizontal component force of resulting effort of bend of purveyance. The surface of deformation is drawn as a slanting helicoid.

Keywords: *surfase of screw, curvature of curve, slanting helicoid.*