

УДК 621.7.043

Васильків В. В.

СИНТЕЗ СХЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК

Для сучасного вітчизняного і зарубіжного машинобудування характерне розширення номенклатури деталей машин різних класів, в тому числі «тіл обертання» і «гвинтових». Підтвердженням цього є помітна тенденція до зростання обсягу та номенклатури таких деталей у харчовій та переробній промисловості, сільськогосподарських машинах, технологічному обладнанні тощо. Зазначені деталі виготовляють з гвинтових заготовок (ГЗ) (рис. 1, рис. 2), які часто є ширококутовими і мають складну геометричну форму. Незважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені виробництву таких заготовок, рівень технологічного забезпечення їх виробництва в нашій державі та за її межами залишається недостатньо високим, а наукова база для його створення не завжди відповідає сучасним вимогам. Тому вирішення наукового завдання, яке полягає в розробці нових способів формоутворення ГЗ з початкових стрічкових заготовок є актуальним, доцільним, значущим і перспективним для машинобудівної галузі України та інших держав.

У роботах [1–3] розглянуті технології виготовлення гвинтових заготовок та описано метод структурно-векторного синтезу схем їх формоутворення. Однак існуючі технічні рішення не забезпечують постійно зростаючих вимог до збільшення питомої висоти при одночасному зменшенні внутрішнього діаметра витків ГЗ.

Аналіз видів деформації (рис. 3), які лежать в основі схем формоутворення ГЗ виявив можливість покращення показників технологічності ГЗ за рахунок інтенсифікації динамічної взаємодії інструментів, яке досягається складним рухом одного інструменту відносно іншого.

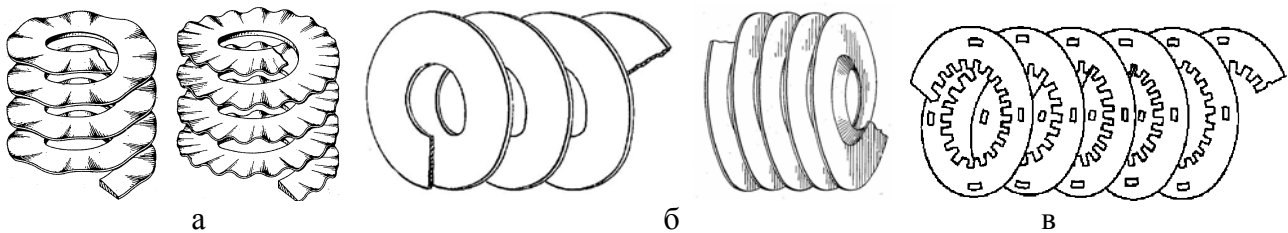


Рис. 1. Види гвинтових заготовок із відкритою навивкою:
а – гофровані; б – звичайні; в – фасонна

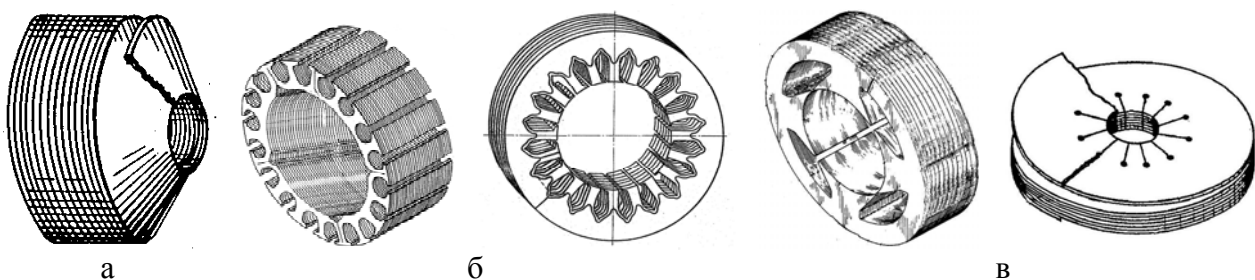


Рис. 2. Види гвинтових заготовок із закритою навивкою:
а – ГЗ із косими гелікоїдними поверхнями; б – фасонні ГЗ; в – ГЗ із прямими гелікоїдними поверхнями

Метою роботи є синтез нових схем формоутворення гвинтових заготовок з підвищеними техніко-економічними показниками.

Нехай процес виготовлення ГЗ здійснюється шляхом проходження початкової заготовки між двома інструментами, які утворюють клиноподібний калібр. При цьому інструмент 1 (рис. 4, а) обертається зі швидкістю $\dot{\varphi}_1 = const$ навколо нерухомої осі $O-O_1$, а інструмент 2 обертається зі швидкістю $\dot{\varphi}_2 = const$ й рухається поступально зі швидкістю $\dot{u}_2(t)$ навколо й уздовж нерухомої осі $O-O_2$.

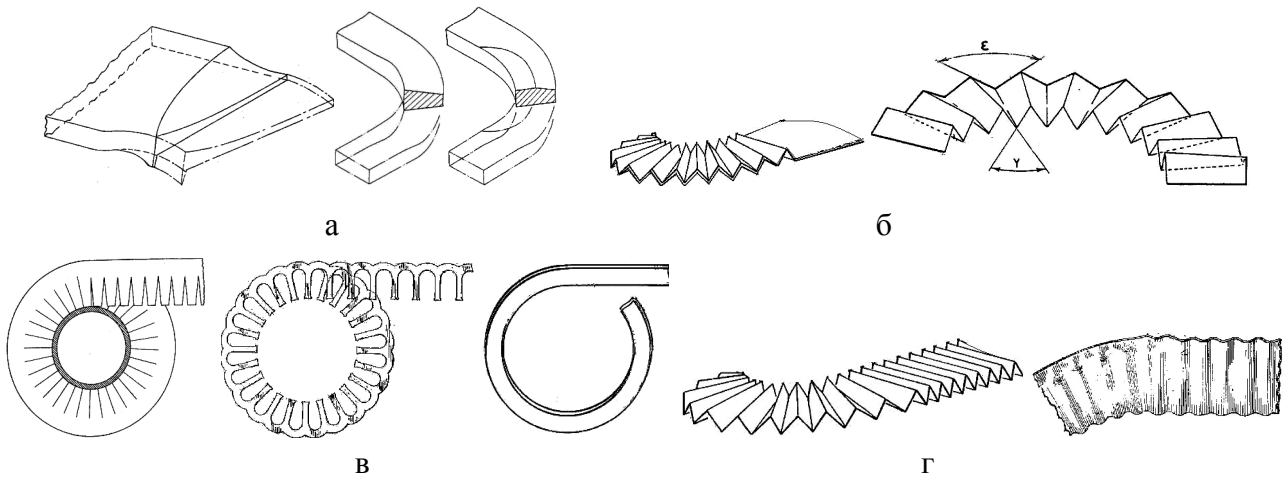


Рис. 3. Схеми згину початкових заготовок у процесах формоутворення гвинтових заготовок:

а – асиметричне обтискування смуги; б – формування гофрів із різними кутами розхилу ϵ і γ відповідно зі сторони зовнішньої і внутрішньої крайок витка; в – згинання на ребро різнопрофільних стрічок; г – асиметричне обтискування гофрованої смуги

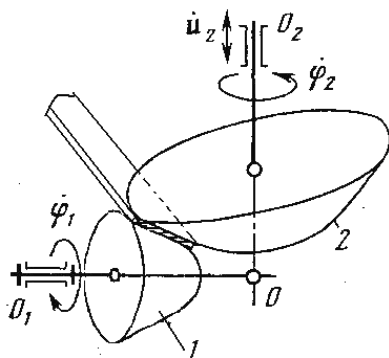


Рис. 4. Схема формоутворення ГЗ

Положення миттєвої гвинтової осі (МГО) і параметр C_{12} відносного руху інструментів знайдемо за формулами:

$$\vec{j}_{12} = \vec{j}_1 - \vec{j}_2, \quad j_{12} = (j_1^2 + j_2^2 - 2j_1j_2 \cos a_5)^{0,5}; \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} a_{51} = \sin a_5 (\cos a_5 - u_{12})^{-1}; \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} a_{52} = \sin a_5 (1 - u_{12} \cos a_5)^{-1};$$

$$z_{5j} = \omega_j \sin a_{52} j_{12}^{-1}, \quad C_{12} = -\omega_2 \cos a_{52} j_{12}^{-1}, \quad (3)$$

де j_{12} – кутова швидкість відносного руху інструментів; a_5 – міжосьовий кут; a_{5j} – кут, відлічуваний від осі j -го інструменту до МГО; $j = 1, 2$ – індекс інструменту; $u_{12} = j_1/j_2$ – передатне відношення; z_{5j} – зсув МГО відносно осьової площини інструментів.

Виберемо праву ортогональну систему відліку j -го інструменту $OX_jY_jZ_j$ з початком у точці перетину осей, вісь Z_j якої збігається з віссю j -го інструменту, а вісь X утворює із вектором \vec{z}_{5j} кут j_j .

З виразів (1)–(3) видно, що миттєва гвинтова вісь описує в нерухомій системі відліку площину, яка перпендикулярна до осьової площини пристрою (нерухомий аксоїд A), а в системі j -го інструменту – рухомі аксоїди A_j , які визначаються за формулами:

$$x_j = z_{5j} \cos j_j - b \sin a_{5j} \sin j_j, \quad y_j = -z_{5j} \sin j_j - b \sin a_{5j} \cos j_j, \quad z_j = b \cos a_{5j} + \int_0^t u(t) dt, \quad (4)$$

де b – координата точки аксоїду уздовж МГО.

З (2)–(4) випливає, що параметри u_{12} , a_5 і $u_2(t)$ однозначно характеризують форми A_j . Розглянемо найбільш важливі окремі випадки.

1. $\omega_2 = 0$. Абсолютні й відносні рухи ланок є обертальними. Аксоїд A збігається із миттєвою гвинтовою віссю, а A_j – кругові конуси $x_j^2 + y_j^2 - z_j^2 \operatorname{tg}^2 a_{5j} = 0$ зі спільною вершиною

в точці O . На рис. 5 і 6 наведені приклади конструктивного виконання таких схем формоутворення різнопрофільних ГЗ із суцільних смугових (рис. 5, а-д, рис. 6, а-г), плоских кільцевих (рис. 5, е) і смугових з вирубленими краями (рис. 5, ж) початкових заготовок.

Можливі також такі часткові варіанти таких схем:

а) A_j – прямі кругові циліндри $x_j^2 + y_j^2 - R_j^2 = 0$ (R_j – радіуси прямих кругових циліндрів) зі спільною вершиною в точці O (рис. 7, а, б);

б) A_1 – круговий конус, A_2 – прямий круговий циліндр зі спільною вершиною в точці O (рис. 7, в).

При $a_{5j} = 270^\circ$ вирази (4) описують площину, що відповідає схемі формоутворення ГЗ за допомогою одного інструменту 1 з плоскою робочою поверхнею та інструменту 2 з конічною робочою поверхнею (рис. 8).

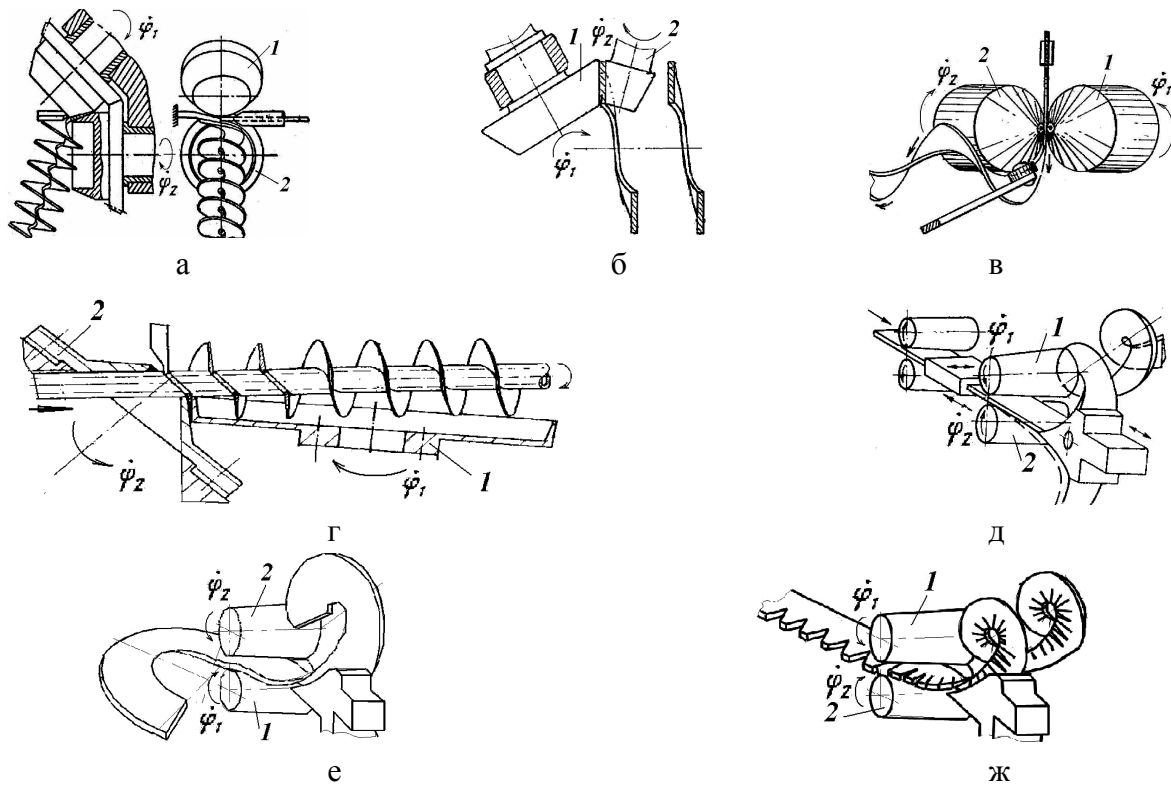


Рис. 5. Схеми формоутворення ГЗ методом прокатування за допомогою інструментів з конусними робочими поверхнями:

а – а. с. СРСР № 360131; б – DE1177595B1; в – US2815790A1; г – ZA9009950, EP0432457A2; д – класична схема; е – а. с. СРСР № 649495, 316511; ж – JP63130235

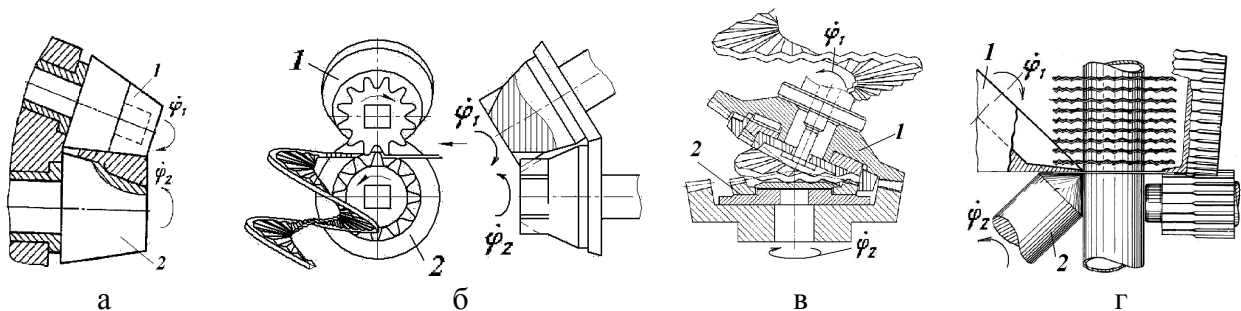


Рис. 6. Схеми формоутворення гофрованих ГЗ з робочими поверхнями інструментів у вигляді різнопрофільних конусних поверхонь:

а – прокатування ГЗ із ребрами жорсткості (SU1215810A); б – гофрування валками (UA26885UU); в – гофрування валками, які характеризуються значною величиною центральних кутів конусних поверхонь; г – прокатування з наступним гофруванням (US3319446A1)

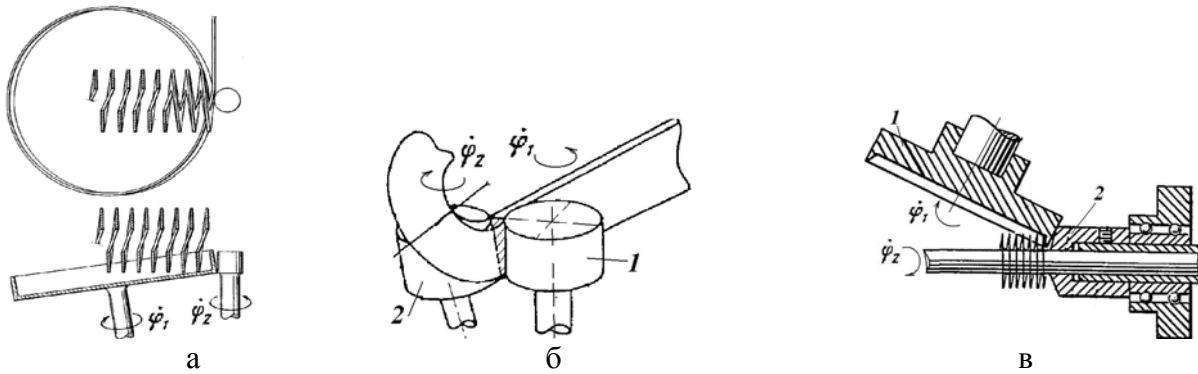


Рис. 7. Схеми формоутворення ГЗ з робочими поверхнями інструментів у вигляді конусних та циліндричних поверхонь згідно патентів:
а – JP59010421; б – JP59046536; в – GB846803F

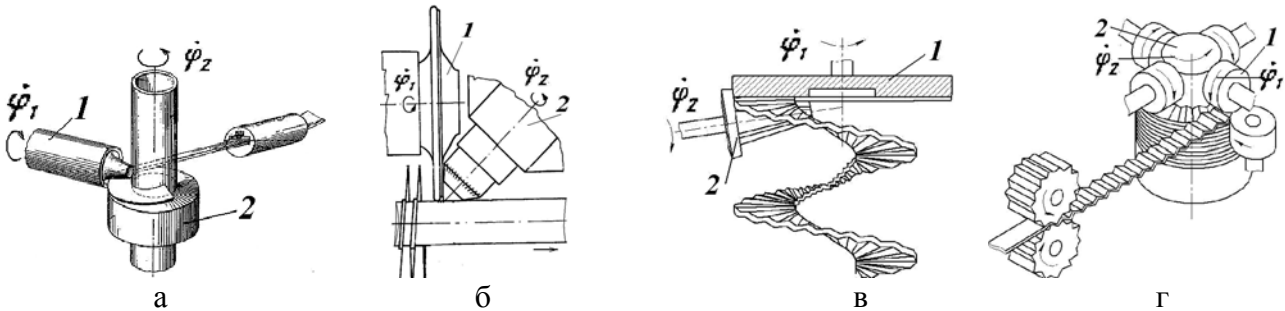


Рис. 8. Схеми формоутворення ГЗ за допомогою інструментів з робочими поверхнями у вигляді конусних та плоских поверхонь:

а – прокатування смуги, пропущеної через індуктор (US2812794); б – прокатування смуги з одночасним навиванням на оправу (HU180319B, DE3201597A1); в – виготовлення гофрованої ГЗ методом прокатування (UA5430UU); г – виготовлення гофрованої ГЗ методом навивання з прокатуванням (а. с. СРСР № 924768)

2. $\dot{u}_2 = const$. Рух одного із інструментів є гвинтовим з постійним параметром $C_2 = \dot{u}_2 / \dot{\varphi}_2$. Аксоїд A збігається із миттєвою гвинтовою віссю, яка перебуває на відстані $\zeta_{5j} = const$ від осьової площини інструментів, A_1 – однополосний гіперboloїд обертання $x_1^2 + y_1^2 - z_1^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_{s1} - \zeta_{5j}^2 = 0$, а A_2 – конволютний гелікоїд $(x_2^2 + y_2^2 - \zeta_{5j}^2)^{0.5} \operatorname{ctg}^2 \alpha_{s2} - z_2 + C_2 \varphi_2 = 0$. При цьому горлова точка в системі $Ox_1Y_1Z_1$ описує окружність радіуса ζ_{5j} , а в системі $Ox_2Y_2Z_2$ — гвинтову лінію постійного кроку $2\pi u_2 / \varphi_2$ на основному циліндрі конволютного гелікоїда. Така схема може бути виконана у вигляді, поданому на рис. 9, а.

Якщо $\alpha_{5j} = 90^\circ$, то A_1 – площина, а A_2 – евольвентний гелікоїд (рис. 9, б). У цьому пристрої можливе тільки неортогональне розташування осей.

Якщо $\alpha_{s2} = 90^\circ$, то із виразу (2) можна записати: $\cos \alpha_5 = u_{12}^{-1}$, A_1 – однополосний гіперboloїд обертання, а A_2 – прямий конволютний гелікоїд. Тоді із другого рівняння (3) $C_{12} = 0$, тобто проковзування аксоїдів, яке визначається швидкістю $v_{12} = C_{12} \dot{\varphi}_{12}$, відсутнє. Така схема дозволяє одержувати ГЗ із відкритою і закритою навивками. Наприклад, схема, наведена на рис. 9, в, ілюструє два процеси: а) прокатування смуги двома інструментами: 1 і 2, які виконані у вигляді валків, причому останній з яких містить гвинтову робочу поверхню; б) навивання стрічки на гвинтову оправу 2. Перша схема є непродуктивною, а ефективність другої схеми може бути підвищена шляхом забезпечення додаткового радіального підтискування стрічки. Саме таке рішення реалізовано у схемі виготовлення ГЗ із закритою навивкою, яка подана на рис. 9, г (а. с. СРСР № 1617541A1). Тут інструмент 1 виконаний ступеневим

із робочою торцевою поверхнею, яка паралельна до поздовжньої осі інструменту 2. При цьому, наявність поверхні прямого конволютного гелікоїда на початку навивки на інструменті 2 забезпечується кільцевим виступом 3 з торцевою гелікоїдною поверхнею, а в усталеному процесі навивки – бічною поверхнею витка навитої стрічки. Схема, подана на рис. 9, д уособлює два можливі процеси виготовлення ГЗ із відкритою навивкою: навивання стрічки на оправу та прокатування стрічки з одночасним навиванням на оправу. Друга схема можлива у випадку використання стрічки із клиноподібним профілем поперечного перерізу (а. с. СРСР № 832852). Наявність такого профілю забезпечує асиметричне обтискування такої стрічки між валками, які утворюють калібр постійної ширини.

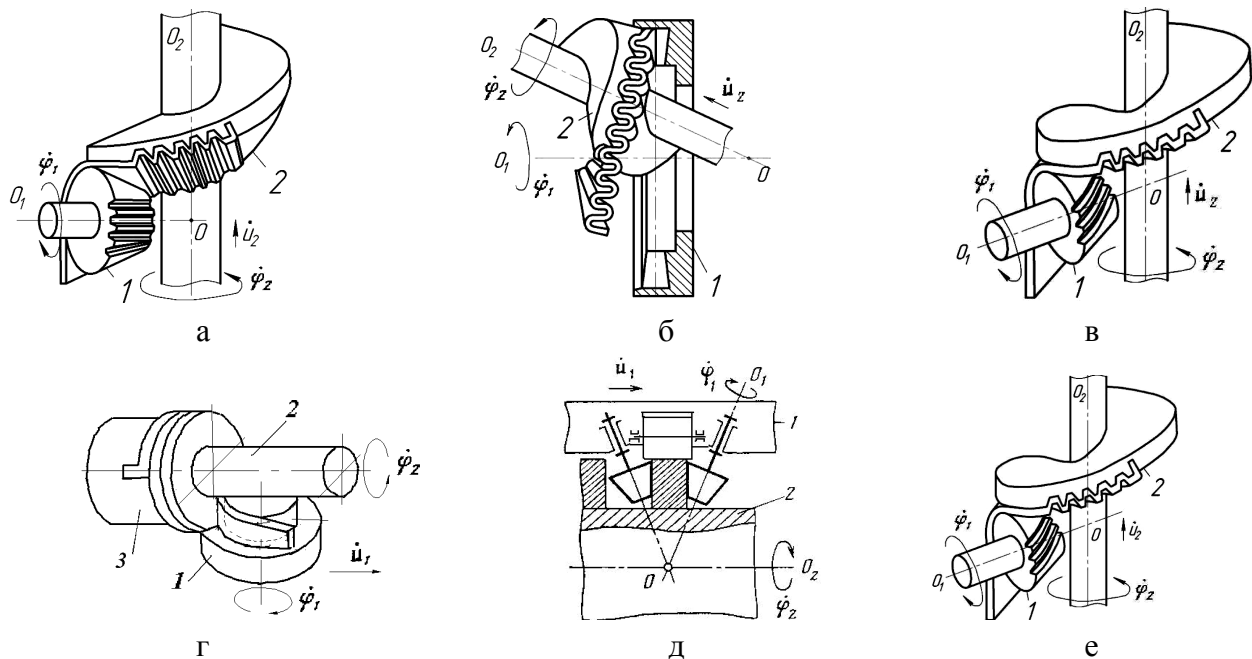


Рис. 9. Схеми формоутворення ГЗ за допомогою інструментів з робочими поверхнями у вигляді гелікоїда та гіперболоїда обертання:

а – гофрування смуги з одночасним навиванням на гвинтову оправу; б – неперервне формоутворення гофрованих ГЗ; в – узагальнена схема виготовлення ГЗ із відкритою і закритою навивками; г – частковий випадок схеми в: виготовлення навивної ГЗ із закритою навивкою; д – схема виготовлення ГЗ із відкритою навивкою методом прокатування або навивання; е – виготовлення ГЗ із косими гофрами і відкритою навивкою методом навивання на гвинтову оправу

За аналогією із вище викладеним, такі схеми можуть використовуватись і для виготовлення гофрованих ГЗ із косими гофрами (рис. 9, е).

З метою підвищення ступеня деформації та попередження розривів смуги при виготовленні гофрованих ГЗ за допомогою інструментів із зубчастими робочими поверхнями із точковим контактом, потрібно забезпечити співпадання лінії зачеплення з нерухомою миттєвою гвинтовою віссю. При цьому точка контакту поверхонь зубів інструментів переміщається уздовж МГО. Такі поверхні можуть утворюватись за принципом твердої або нежорсткої не конгруентної твірної пари, точка контакту твірних поверхонь якої в процесі зубоутворення постійно розташовується на МГО. У цьому випадку степінь деформації стрічки також можна підвищити, якщо в процесі виготовлення інструменту загальну нормаль твірних поверхонь зорієнтувати відносно МГО під кутом $\alpha_7 = \arctg b / (z_{5j} \sin \alpha_3)$, де α_3 – кут між z_{5j} і площиною, яка містить перпендикуляр до b і загальну нормаль до твірних поверхонь. Ймовірність уникнення розриву стрічки підвищується за рахунок виключення радіальної складової сили, яка діє на ведену ланку в точці контакту. Якщо $\mathbf{j} \otimes \mathbf{z} = 0$, то A_1 – круговий

циліндр, A_2 – площа. На основі таких аксоїдів може бути реалізована схема виготовлення гофрованих ГЗ за допомогою інструментів, один із яких виконаний у формі рейки, яка здійснює поступальний рух під довільним кутом α_s до осі другого інструменту, виконаного у вигляді зубчастого колеса. При цьому подача стрічки здійснюється шляхом огинання поверхні такого інструменту. Однак така схема є непродуктивною і може використовуватись лише для виготовлення габаритних гофрованих ГЗ обмеженої довжини.

3. $\dot{u}_2 = Bt$ ($B = \text{const}$). Один із інструментів обертається ($\dot{\varphi}_2 = \text{const}$) і рухається поступально й рівно прискорено. Аксоїд A_1 – спіральна гіперболічна поверхня $x_1^2 + y_1^2 - z_1^2 \text{tg}^2 \alpha_{s2} - B^2 t^2 \sin^2 \alpha_{s2} \dot{\varphi}_{12}^{-2} = 0$ з горловою лінією $\zeta_{s_j} = Bt \sin \alpha_{s2} \dot{\varphi}_{12}^{-1}$, $\varphi_1 = \dot{\varphi}_1 t$ (спіраль Архімеда), а A_2 – нерозгортувана гвинтова поверхня $(x_2^2 + y_2^2 - B^2 t^2 \sin^2 \alpha_{s2} \dot{\varphi}_{12}^{-2})^{0.5} \text{ctg} \alpha_{s2} - z_2 + 0,5 B t^2 = 0$ змінного кроку. Її горлова точка описує гвинтову лінію змінного кроку на параболоїді обертання $x_2^2 + y_2^2 - 2z_2 B \sin^2 \alpha_{s2} \dot{\varphi}_{12}^{-2} = 0$. Тут також можливі часткові випадки, описані в п. 2.

4. $\dot{u}_2 = F(t)$, де $F(t)$ – періодична функція. Один із інструментів крім обертального здійснює циклічний зворотно-поступальний рух. У загальному випадку A_j – незамкнуті лінійчаті поверхні, які не розгортаються. Для їхньої замкнутості період T_F функції $F(t)$ повинен бути пов'язаний з періодом T_j обертання j -го інструменту залежністю $T_j = T_F \varepsilon_j$, де $\varepsilon_j = 1, 2, \dots$ – цілі числа. При цьому значення $F(t)$ повторюються при $\varphi_1 = 2\pi / \varepsilon_1$, а миттєва гвинтова вісь займає відносно інструменту 1 те ж положення, що й при $\varphi_1 = 0$, тобто A_1 є замкнутим. Аналогічно, для замкнутості A_2 необхідно, щоб положення МГО відносно інструменту 2 повторювалося при $\varphi_2 = 2\pi / \varepsilon_2$.

Якщо $u_2 = d \sin(\varepsilon_j \dot{\varphi}_j t)$ ($d = \text{const}$), то горлова точка аксоїдів у системі інструменту 1 описує циклоїдальну лінію $x_1^2 + y_1^2 - d^2 \sin^2 \alpha_{s2} \sin^2(\varepsilon_j \dot{\varphi}_j t) \dot{\varphi}_{12}^{-2} = 0$, а в системі інструменту 2 – замкнуту гвинтову лінію $2\pi d \dot{\varphi}_2^{-1} \sin(\varepsilon_j \dot{\varphi}_j t)$ змінного кроку на еліпсоїді обертання $x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 \varepsilon_j^2 \dot{\varphi}_j^2 \dot{\varphi}_{12}^{-2} \sin^2 \alpha_{s2} - d^2 \dot{\varphi}_{12}^{-2} \sin^2 \alpha_{s2} = 0$. Аксоїди A_j являють собою замкнуті лінійчаті поверхні: $x_1^2 - y_1^2 - z_1^2 \text{tg}^2 \alpha_{s1} - d^2 \dot{\varphi}_{12}^{-2} \sin^2 \alpha_{s2} \sin^2(\varepsilon_j \dot{\varphi}_j t) = 0$, $x_2^2 + y_2^2 - \left\{ z_2 - d \left[1 - \cos(\varepsilon_j \dot{\varphi}_j t) \right] \right\} \times \varepsilon_j^{-1} \dot{\varphi}_j^{-1} \left\}^2 \text{tg}^2 \alpha_{s2} - d^2 \dot{\varphi}_{12}^{-2} \sin^2(\varepsilon_j \dot{\varphi}_j t) = 0$.

Відомо, що використання складних аксоїдних поверхонь у якості початкових не технологічно, тому в досліджуваних схемах доцільно розглядати лише конструкції інструментів відносно простої геометричної форми. На рис. 10, а наведена схема виготовлення гофрованої ГЗ за допомогою одного інструменту 1, виконаного у вигляді циліндричного тіла із прямо- або косозубою робочою поверхнею та другого інструменту 2, який містить незамкнуту гвинтову поверхню із зубами, яка огинає циліндричну поверхню впадин першого інструменту при її гвинтовому русі навколо й уздовж осі другого інструменту. Розташування осей може бути ортогональним і не ортогональним. Така схема відповідає методу навивання на гвинтову оправу.

На рис. 10, б наведена схема виготовлення гофрованих ГЗ за допомогою інструментів, один із яких здійснює циклічний гвинтовий рух. У такій схемі робоча поверхня одного інструменту 1 виконана плоскою прямо- або косозубою, а іншого (інструмент 2) – із зубчастою робочою поверхнею, виконаною на циліндричній початковій поверхні, яка обмежена з боку торців такими поверхнями, у яких осьова координата z_2 лінії їх перетину має вигляд $z_2 = z_0 - C_0 / (\varepsilon_2 \cos \varepsilon_2 \varphi_2)$, де z_0 – початкове значення координати торцевого перетину інструменту 2; C_0 – амплітудне значення параметра гвинтового руху інструменту 2.

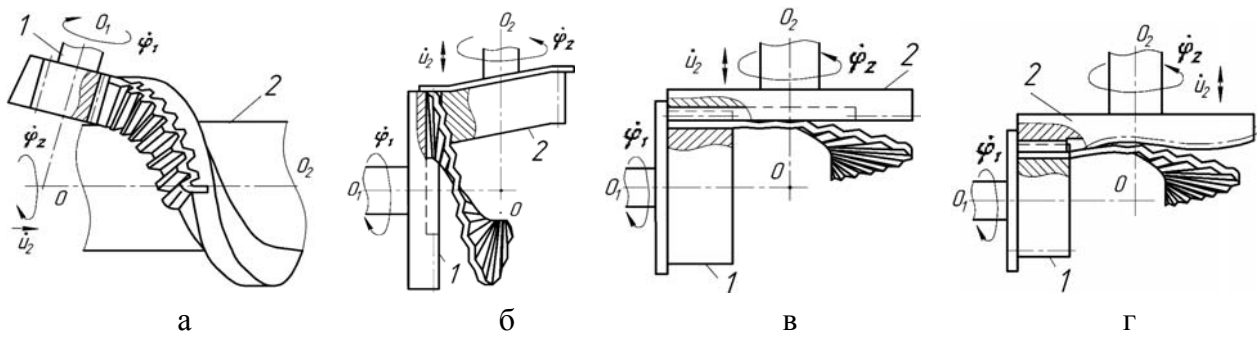


Рис. 10. Синтезовані схеми формоутворення гофрованих ГЗ

На рис. 9, в наведена схема формоутворення гофрованих ГЗ зі змінною амплітудою гофрів за шириною витка. У такій схемі інструмент 1, який виконаний у вигляді циліндричного тіла із прямо- або косозубою робочою поверхнею, встановлений ексцентрично, і інший інструмент 2, з робочою плоскою прямо- або косозубою поверхнею, здійснює циклічний гвинтовий рух. Циклічний гвинтовий рух є сумою обертового та зворотно-поступального руху, який здійснюється за законом $u_2 = e(1 - \cos u_{12}\varphi_2)$, де e – ексцентриситет розміщення інструменту 1. У такій схемі змінний параметр гвинтового руху інструменту 2 зумовлює зміну кроку й товщини зуба по периметрі цього інструменту, а отже і геометричних параметрів гофрів ГЗ. У зв'язку із цим таку схему доцільно використовувати для виготовлення гофрованих ГЗ зі змінним кроком і амплітудою гофрів. Наслідком цього можливий розхил значень діаметральних параметрів гофрованої ГЗ, тому раціональним варіантом такої схеми є малі значення осьового ходу інструменту 2. Зміну кроку гофрів ГЗ можна визначити за формулою $\Delta T_\alpha \approx 2Te$, де T_1 – кутовий крок інструменту 1.

Для одержання гофрованих ГЗ зі змінним кутом нахилу гвинтової лінії можна використовувати схему, представлену на рис. 10, г. За такою схемою інструмент 1 здійснює обертовий рух, а інструмент 2 – циклічний гвинтовий з параметром, що змінюється за синусоїдальним законом. При цьому інструмент 1 виконаний у вигляді циліндричного тіла із евольвентною зубчастою робочою поверхнею, а інструмент 2, у вигляді циліндричного тіла із торцевою зубчастою поверхнею, яка розміщена на хвилястій початковій поверхні, що огинає циліндричну початкову поверхню інструменту 1 при його гвинтовому русі навколо й уздовж інструменту 2 з параметром C_2 .

ВИСНОВКИ

Наведено дослідження аксоїдів і на основі цього синтезовано схеми формоутворення різнопрофільних гвинтових заготовок. Представлено відповідні конструктивні варіанти інструментів, осі яких перетинаються, а один із інструментів здійснює обертовий рух, а інший – гвинтовий рух. Викладені результати дозволяють здійснити проектування й виготовлення таких інструментів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Технологічні основи формотворення різнопрофільних гвинтових заготовок / Б. М. Гевко, М. І. Пилипець, В. В. Васильків, Д. Л. Радик. – Тернопіль : ТДТУ ім. І. Пулюя, 2009. – 457 с.
2. Механізми з гвинтовими пристроями / Б. М. Гевко, М. Г. Данильченко, Р. М. Рогатинський, М. І. Пилипець, А. В. Матвійчук. – Львів : Світ, 1993. – 208 с.
3. Васильків В. В. Методы формообразования винтовых заготовок. Термины и определения / В. В. Васильків, Д. Л. Радик, П. В. Босюк // Материали VII Международной научно-технической конференции «Динамика систем, механизмов и машин». – Омск : ОмГТУ. – 2009. – Книга 2. – С. 225–232.

Васильків В. В. – канд. техн. наук, доц. ТНТУ ім. І. Пулюя.

ТНТУ ім. І. Пулюя – Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, м. Тернопіль.

E-mail: VasylykivV@rambler.ru