

В. Васильків

Канд. техн. наук

О. Лясота

Канд. техн. наук

Тернопільський національний
технічний університет
імені Івана Пулюя,
м. Тернопіль

УДК621.87

ПОКАЗНИКИ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК

Робота присвячена питанням підвищення ефективності техніко-економічного обґрунтування вибору технологічних процесів виробництва гвинтових заготовок деталей машин за рахунок розроблення і систематизації параметрів технологічності. Представлені аналітичні залежності для аналізу конструкцій та оцінювання ефективності процесів формотворення таких заготовок.

гвинтова заготовка, параметр, технологічність

Деталі машин, одержані з гвинтових заготовок (ГЗ) набувають усе більшого використання у різних галузях промислового виробництва. Підтвердженням цього є помітна тенденція до зростання обсягу та номенклатури таких деталей, які використовують в якості: робочих органів гвинтових змішувачів, подрібнювачів, грануляторів, шнекових транспортерів у будівельній, харчовій та переробній промисловостях, сільськогосподарському машинобудуванні; гвинтових елементів теплообмінних апаратів (холодильні установки, апарати повітряного охолодження, калорифери, радіатори, теплоенергонагрівачі тощо) в нафтохімічній, газовій, енергетичній промисловостях, в холодильному машинобудуванні та інших галузях, які використовують теплообмінні процеси; витих (стрічкових) магнітопроводів, роторів електричних машин, трансформаторів в енергетичному та електротехнічному машинобудуванні тощо [1 – 3].

Вибір варіанту конструкції ГЗ та технології її виготовлення у кожному конкретному випадку повинен визначатися техніко-економічним обґрунтуванням, яке базується на використанні показників технологічності. Особливості геометрії таких заготовок дозволяють використовувати, крім загальнопоширених, ще й спеціальні показники технологічності.

Питанням дослідження технологічності ГЗ завжди приділялась значна увага. Так, розробці й дослідженню технологічності ГЗ присвячені праці багатьох учених.

Однак, не зважаючи на значну кількість наукових праць, у літературі відсутні систематизовані дані про показники технологічності, які комплексно характеризують ефективність розглядуваних технічних рішень.

Тому метою роботи є аналіз, розроблення й систематизація показників технологічності ГЗ.

У результаті проведених досліджень можна виділити декілька груп параметрів, які характеризують технологічність ГЗ: параметри, які характеризують просторову геометричну форму ГЗ; параметри, які характеризують профіль поперечного перерізу витка ГЗ; параметри, які характеризують геометричну форму початкових заготовок (ПЗ), що використовуються для виготовлення ГЗ; параметри, які характеризують пластичність ГЗ; параметри, які характеризують технологію виготовлення ГЗ; параметри, які характеризують економічність технологічного процесу (ТП) виготовлення ГЗ.

Основними конструктивними параметрами гвинтової заготовки (рис. 1,а) є зовнішній діаметр D і внутрішній d , крок витка T , кут нахилу твірної витка відносно поздовжньої осі заготовки θ ; кількість витків i . Якщо осі симетрії поперечного перерізу витка направити по нормалі \bar{n} і бінормалі \bar{b} гвинтової осі, то довжину сторони прямокутного перерізу, яка паралельна бінормалі, позначають буквою H_C , а довжину сторони, яка паралельна нормалі (перпендикулярна до осі ГЗ) буквою B . Параметр H_C називають товщиною витка, а параметр B – шириною

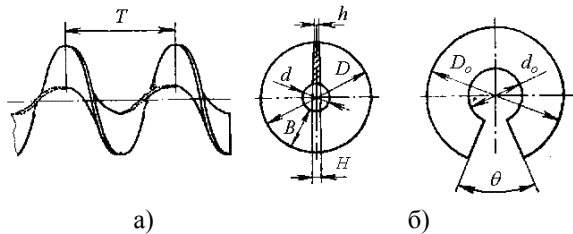


Рис. 1. Схеми ГЗ (а) та кільцевої секторної (б) заготовок

витка. Залежно від способу виготовлення заготовки товщина одного витка може змінюватися в радіальному напрямі від величини H за внутрішнім діаметром до h за зовнішнім. Тоді використовують поняття середньої товщини витка: $H_C = 0,5(H + h)$. Інколи профіль поперечного перерізу витка характеризують величиною кута профілю витка, який визначається між бічними сторонами профілю в осьовій площині, його ще називають кутом клину профілю поперечного перерізу витка.

Додатковим параметром, який характеризує профіль поперечного перерізу витків ГЗ, одержаних методом вальцювання з некатаною зоною, є ширина некатаної зони b_Z . Гофровані ГЗ характеризуються такими додатковими параметрами як ширина гофрів B_G , амплітуди гофрів A_h і A_H відповідно зі сторони зовнішньої та внутрішньої крайок витка, кількість гофрів k_G на довжині одного кроку витка та ін.

Для виготовлення ГЗ здебільшого використовують кільцеві секторні (плоскі розрізні кільцеві) та смугові заготовки. Кільцеві секторні заготовки являють собою розгортку одного витка на площині. Основними параметрами розгортки витка ГЗ (рис. 1,б) є зовнішній діаметр D_0 (або радіус R_0) внутрішній діаметр d_0 (або радіус r_0) і кут вирізки θ . Кут вирізки – це кут, який доповнює 360° разом з центральним кутом кільцевого сектора. Термін використовується у працях А.В. Кравченка, А.О. Співаковського. У працях Н.В. Висоцької, А.М. Григор'єва такий кут ще називають кутом вирізу, а в роботах О.Д. Гергета – кутом природного закручування заготовки при розсуванні кінців розгортки в осьовому напрямі.

У процесі виготовлення вальцюваних ГЗ, в результаті асиметричного обтискування смугової заготовки, одержуємо спочатку виток, вісь якого практично перпендикулярна площині вальцювання. Такий виток характеризують зовнішнім \tilde{D}_0 і внутрішнім \tilde{d}_0 діаметрами та шириною витка $\tilde{B}_0 = B = 0,5(\tilde{D}_0 - \tilde{d}_0)$. Через малий крок $0 \leq T_0/D_0 \leq 0,3...0,2$ такий виток умовно називають плоским [12]. Надалі плоский виток за допомогою вивідної проводки розтягують у спіраль із заданим напрямом і кроком навивання.

Основними геометричними параметрами смугових заготовок є ширина B_0 та товщина H_0 смуги, а також кут клину профілю смуги у її поперечному перерізі (у випадку використання профільного прокату).

У процесі проектування ГЗ часто розраховують такі параметри: кут α підйому гвинтової лінії (гвинтової осі), який визначається зі співвідношення

$$\operatorname{tg} \alpha = T / 2\pi r_{II},$$

де r_{II} – радіальний параметр витка ГЗ.

Вважається, що кут підняття гвинтової лінії малий якщо, $\alpha \leq 10^\circ...12^\circ$ [19].

Часто для практичних розрахунків рекомендують приймати середнє арифметичне значення кутів підйому гвинтових ліній за периферією витка α_D і біля його внутрішньої крайки: $\alpha_{cp} = 0,5(\alpha_D + \alpha_d)$, де $\alpha_D = \operatorname{arctg} T / \pi D$; $\alpha_d = \operatorname{arctg} T / \pi d$. Радіус кривини гвинтової осі ГЗ $\rho = D_{cp} / 2 \cos^2 \alpha_{cp}$, де D_{cp} – діаметр гвинтової осі (середній діаметр витків ГЗ): $D_{cp} = d + B$; α_{cp} – кут підйому гвинтової лінії гвинтової осі.

Часто величину D_{cp} розраховують як діаметр гвинтової лінії, яка є геометричним місцем точок центрів тяжіння поперечних перерізів спіралі.

Відповідно і кут α_{cp} розраховують як кут підняття гвинтової лінії поперечних перерізів центрів тяжіння витка ГЗ.

Наприклад, для навивних ГЗ із закритою навивкою і трапецеподібним профілем поперечного перерізу витка діаметр D_{cp} і кут α_{cp} розраховують за формулами [18]:

$$D_{cp} = (D + d + \sqrt{Dd}) / 3; \quad \alpha_{cp} = \operatorname{arctg} [\operatorname{tg} \alpha_D / (1 - B/D)].$$

Кривина гвинтової осі ГЗ $K = \rho^{-1} = 2 \cos^2 \alpha_{cp} / D_{cp}$. Кручення гвинтової осі ГЗ $T_{kr} = \sin 2\alpha_{cp} / D_{cp}$. Довжина

$$\text{гвинтової осі } l = 2\pi i \sqrt{(0,5D_{cp})^2 + (T/2\pi)^2} = \pi D_{cp} i / \cos \alpha_{cp}$$

Кручення зовнішньої і внутрішньої крайок витка:

$$X_h = 2\pi T / (\pi^2 D^2 + T^2); \quad X_H = 2\pi T / (\pi^2 d^2 + T^2).$$

Параметр кроку ГЗ $C = T / 2\pi$.

Група параметрів, які характеризують просторову геометричну форму ГЗ. Коефіцієнт нерівномірності витягування смуги за зовнішньою і внутрішньою крайками витка спіралі [4]

$$\psi = \frac{r_0 + B}{r_0} = \frac{\pi \tilde{D}_0}{\pi \tilde{d}_0} = \frac{L_h}{L_H} = \sqrt{\frac{(\pi D)^2 + T^2}{(\pi d)^2 + T^2}},$$

де r_0 – радіус спіралі за внутрішньою крайкою витка; L_h, L_H – відповідно довжини одного витка за зовнішньою і внутрішньою крайками.

Вказаний коефіцієнт одержаний на основі припущення, що при розтягуванні кільцевої секторної заготовки до утворення ГЗ співвідношення довжини зовнішньої крайки витка до його внутрішньої крайки не змінюється. Однак ця умова виконується лише при $T/D \leq 1,2$. Для будь-якої величини відносної товщини $\delta = H/B$ суцільної заготовки параметр спіралі $\psi_s \leq 3$, інакше виникаючі на внутрішній крайці значні напруження стиску спричиняють гофроутворення [17].

Граничні значення коефіцієнта ψ для процесу виготовлення навивних ГЗ визначають так $\psi_{don} = (1 + 2\delta_5)^2$, а для процесу виготовлення вальцюваних ГЗ – $\psi_{don} = 1 / (1 - 2\delta_5)^2$, де δ_5 – відносне видовження при стандартному випробуванні матеріалу на розтяг [18].

Найбільшого значення ψ ($\psi > 2,8$) можна досягнути шляхом згинання на ребро попередньо підготовленої профільної смуги з трикутними вирізами за внутрішньою крайкою, які в процесі формоутворення змикаються. У

цьому випадку ГЗ характеризується двома коефіцієнтами: коефіцієнтом нерівномірності витягування суцільної частини $\Psi_{\text{суц}}$ та коефіцієнтом нерівномірності витягування смуги в цілому Ψ_{Σ} .

Такі ГЗ характеризуються коефіцієнтом відносно нерівномірності витягування смуги $K_{\Psi} = \Psi_{\text{суц}} / \Psi_{\Sigma}$. Коефіцієнт гнучкості ГЗ $K_f = H_Z / D_{\text{cp}}$, де H_Z – довжина ГЗ вздовж її осі.

Вказане співвідношення іноді називають гнучкістю ГЗ. При $K_f > 3$ ГЗ під дією осьового навантаження може втрачати стійкість (випинатися). Граничне значення коефіцієнта K_f визначають за формулою [19]

$$K_f^{\text{ГРАН}} = \sqrt{\left(2 - \frac{C_g}{B_b}\right) \tilde{\eta} / \left(1 + \frac{C_g}{B_n}\right)},$$

де $\tilde{\eta}$ – коефіцієнт, значення якого залежить від способу закріплення торцевих витків ГЗ. Наприклад, якщо один торець зафіксований, а верхній вільний, то $\tilde{\eta} = 0,25\pi^2$. При $K_f > K_f^{\text{ГРАН}}$ ГЗ під дією осьового зусилля може втратити стійкість, а при $K_f < K_f^{\text{ГРАН}}$ втрата стійкості неможлива, що пов'язано з відносно значним скороченням довжини заготовки у зв'язку з її стискуванням.

Критерієм стійкості прямолінійної форми осі ГЗ під дією осьового зусилля осадження є також коефіцієнт $K_{\lambda} = \lambda_K / H_Z$, де λ_K – величина критичної осадки ГЗ, перевищення якої призводить до втрати стійкості прямолінійної форми осі ГЗ. Коефіцієнт технологічності витків ГЗ [10] $K_{\mathcal{K}} = \delta_h / \psi$.

Зі зменшенням $K_{\mathcal{K}}$ зростає складність одержання ГЗ методом холодного вальцювання. Стійкість такого процесу забезпечується, в першу чергу, не руйнуванням заготовки, а відсутністю гофрів [17]. Допустима величина коефіцієнта $K_{\mathcal{K}} \geq 0,007$. Мінімальне значення, перевищення якого призводить до розриву зовнішньої крайки спіралі при сталому процесі, $K_{\mathcal{K}} < 0,005$ (обчислено Гурвіцом).

Для характеристики жорсткості витків часто використовують показник відносної стійкості [5], який розраховують відносно величини стійкості штампозварних витків, прийнятих за одиницю. Так, відносна стійкість вальцьованих ГЗ становить 1,8...3,0, широкосмугових – 3,0...4,0, навивних – 2,5...3,5 [5].

Коефіцієнт кроку витка ГЗ [6] $K_T = T / 2(r_0 + B) = T / D$. Такий коефіцієнт є критерієм перпендикулярності перерізу витка відносно його осі. При $T/D \geq 1,3$ кут відхилення перерізу витка вальцьованої спіралі від перпендикуляра до осі валу завжди перевищує допустиме значення [16]. У цьому випадку спостерігаємо так званий “завал витка”, тобто відхилення твірної гелікоїдної поверхні від перпендикуляра до осі спіралі. При виготовленні штампозварних ГЗ для яких $K_T = 0,6...0,8$ вважають, що деформація відбувається без значної витяжки металу. Якщо величина $K_T > 0,8$, то для розрахунку розгортки витка використовують формули Вернікова Р.М. Для більшості ГЗ, розміри яких регламентовані ГОСТ2705-73 та ГОСТ2037-82, $K_T = 0,6...1,0$. Індекс навивки витка ГЗ $c = D_{\text{cp}} / B$. Коефіцієнт відношення довжини H_Z ГЗ до її зовнішнього діаметра $k_Z = H_Z / D$. Такий показник часто використовують для розрахунку параметрів спіралей екструдерів.

Коефіцієнт діапазону зміни кроку ГЗ, який характеризується непостійним кроковим параметром $T = T_0 + f(v)$, де T_0 – початковий крок, $f(v)$ – функція зміни кроку, визначається так: $R_T = T_{\text{max}} / T_{\text{min}}$, де T_{max} і T_{min} – граничні значення кроку.

Коефіцієнт габаритності $K_G = V_{\text{БП}} / G_{\text{ГЗ}}$, де $G_{\text{ГЗ}}$ – маса ГЗ; $V_{\text{БП}}$ – об'єм порожнистої фігури типу тіла обертання, в яку вписується ГЗ. У цьому випадку такою фігурою може бути товстостінний порожнистий циліндр, конус тощо, товщина стінки якого рівна висоті витка ГЗ.

Коефіцієнт габаритності ГЗ $g_b = d / D$. Сучасні технології вальцювання дозволяють одержувати ГЗ в інтервалі $g_b \leq 0,5$ [12]. Тип ГЗ визначають на основі урахування прогину та параметрів поперечного перерізу витка. Згідно [5] для визначення типу ГЗ використовуються такі співвідношення: товсті ГЗ при $H \geq B/5$; жорсткі при $\delta_N \leq H/5$, де δ_N – прогин витка; гнучкі – при $H/5 < \delta_N < 5H$; еластичні – при $\delta_N \geq 5H$.

Група параметрів, які характеризують профіль поперечною перерізу витка ГЗ. Коефіцієнт профілю поперечного перерізу витка $A_{\phi} = \Pi / C$, де Π – периметр профілю; C – довжина кола.

Коефіцієнт розхилу товщин форми профілю поперечного перерізу витка $P_{\text{роз}} = H_{\text{max}} / H_{\text{min}}$, де H_{max} і H_{min} – відповідно розміри максимальної і мінімальної товщин елементів профілю витка.

Мінімально допустиму товщину встановлюють експериментально, однак для випадку вальцювання не нижче від значень за ГОСТ 2705-73.

Коефіцієнт висоти витка $b_B = B / D$. Коефіцієнт товщини витка $b_H = H_C / D$. Питома висота (коефіцієнт питомої висоти) [65] витка гвинтової заготовки $b = B / H_C = b_B / b_H$.

Сучасні технології виготовлення ГЗ методом вальцювання дозволяють одержувати такі заготовки, для яких $20 \leq b \leq 80$. При $b > 80$ використовують технології штампування. При виготовленні ГЗ із низько вуглецевих сталей методом навивання найбільшого значення $b = 15...20$ можна досягнути шляхом використання схеми перпендикулярного розміщення східчастого ролика відносно осі оправи. Відносна товщина спіралі [12] $\delta_h = 1/b = H/B = b_H / b_B$. Зазначимо, що найбільшого використання у промисловості набули гвинтові робочі органи зі спіралями, для яких $\delta_h \geq 0,02$ [13].

Коефіцієнт товщини зовнішньої крайки витка [5], який рівний відношенню товщини зовнішньої крайки витка до товщини внутрішньої крайки заготовки $h_H = h / H$. Він також використовується для оцінки форми витків екструдерів.

Для аналізу криволінійних профілів поперечного перерізу витка використовують коефіцієнт форми профілю

$$K_{\phi} = \min(k_{\phi})_a = \int p^{-1} ds = \int_0^{2\pi} (1 + r_K'^2 r_K^{-2}) d\phi = \sum_i^n l_i (p_i)^{-1},$$

де K_{ϕ} – коефіцієнт форми; a – довільний полюс, який вибраний всередині області контуру профілю; p – довжина перпендикуляра, опущеного з полюса a на дотичну до контуру фігури в довільній його точці; ds – лінійний елемент контуру; $r_K = r_K(\phi)$ – полярне рівняння контуру з полюсом у точці a (для профілів з криволінійним

контуром); l_i – довжина i -тої сторони полігонального контуру; h_i – довжина перпендикуляру, опущеного з полюса a на i -ту сторону багатокутника; n – кількість сторін багатокутника.

Скориставшись такими формулами, запишемо залежності для визначення величини K_ϕ для фігур, які утворюють переріз ГЗ: для еліпса $K_\phi = \pi (B_e H_e^{-1} + H_e B_e^{-1})$; для прямокутника $K_\phi = 4 (B_e H_e^{-1} + H_e B_e^{-1})$; для правильного багатокутника $K_\phi = 2n \operatorname{tg}(\pi/n)$; для рівнобедреного трикутника $K_\phi = 2 \operatorname{tg} \alpha_t / \operatorname{tg}^2(0,5 \alpha_t)$, де B_e , H_e – півосі еліпса, сторони прямокутника, α_t – кут при основі рівнобедреного трикутника.

Формоутворення ГЗ здійснюють переважно за два етапи: шляхом деформування початкової заготовки способами навивання, вальцювання тощо з наступним деформуванням одержаних проміжних гвинтових заготовок способами калібрування на крок до утворення гвинтових заготовок. Тому важливими показниками таких процесів одержання ГЗ є величини моментів інерції, опору витків тощо.

Моменти інерції перерізу витка ГЗ визначають за формулами [18]:

$$J_b = \varepsilon \frac{HB^3}{12}; J_n = k(D/d) \frac{HB^3}{12}; J_t = \beta_J \left(\frac{D}{d}, \frac{H}{B} \right) \frac{BH^3}{3};$$

де $k(D/d)$, $J \left(\frac{D}{d}, \frac{H}{B} \right)$ – функціональні коефіцієнти.

Для навивних ГЗ із закритою навивкою

$$\varepsilon = \frac{\sqrt[4]{4Dd}}{\sqrt{0,5D} + \sqrt{0,5d}} \left\{ 1 + \frac{3}{45} \left[1 - \left(\frac{\sqrt{Dd}}{\sqrt{0,5D} + \sqrt{0,5d}} \right)^2 \right] \right\}.$$

Жорсткість витка при його згині відносно осей \bar{b} , \bar{n} відповідно є такою: $B_b = EJ_b$; $B_n = EJ_n$.

Для ГЗ з малим кутом підняття гвинтової лінії під дією осьового навантаження жорсткість такої заготовки, яка розглядається як еквівалентний брус визначається так:

$$A = 2B_n H_Z / (\pi D_{cp} i (1 + B_n / C_{Ж})),$$

де $C_{Ж}$ – жорсткість витка при крученні: $C_{Ж} = \eta^* B H^3 G$; η^* – коефіцієнт, який залежить від величини коефіцієнта питомої висоти b :

$$\eta^* = -1,11449 + 3,86594b - 5,12172b^2 + 3,82037b^3 - 1,69926 \times b^4 + 0,455914b^5 - 0,0714946b^6 + 5,94612 \cdot 10^{-3} b^7 - 1,99108 \cdot 10^{-4} b^8.$$

Жорсткість ГЗ при крученні визначається так:

$$Z_0 = EJ_b / \pi D_{cp} i = \varepsilon EB^3 H / 12 \pi D_{cp} i.$$

Жорсткість, яка відповідає деформації зсуву при згині ГЗ, що розглядається як еквівалентний брус, визначають так [20]:

$$S = 8B_b H_Z / \pi D_{cp}^3 i = \varepsilon EB^3 H / 12 \pi D_{cp} i.$$

Відзначимо, що при $\delta_h \sqrt{2b/D_{cp}} > 1$ ГЗ у розрахункових схемах розглядають як циліндричну оболонку [19].

Характеристики перерізу спіралей навивних ГЗ неістотно відрізняються від прямокутного перерізу. Тому моменти опору поперечного перерізу витка при деформації згину від моментів направлених по осях \bar{b} , \bar{n} та момент опору кручення перерізу витка при дії крутного моменту, направленного по осі \bar{t} визначають як для прямокутного перерізу:

$$W_b = \frac{B^2 H}{6}; W_n = \frac{H^2 B}{6}; W_t = \xi B H^2,$$

де ξ – коефіцієнт, який залежить від величини коефіцієнта питомої висоти b :

$$\begin{aligned} \xi = & 7,29471 \cdot 10^{-2} + \\ & + 0,235728 b - 0,119241 b^2 + 3,20834 \cdot 10^{-4} b^3 + 2,99876 \times \\ & \times 10^{-2} b^4 - 1,45432 \cdot 10^{-2} b^5 + 3,10019 \cdot 10^{-3} b^6 - \\ & - 3,11336 \cdot 10^{-4} b^7 + 1,1771 \cdot 10^{-5} b^8. \end{aligned}$$

Моменти опору W_b , W_n , W_t є показниками міцності витка при його згині та крученні. Вони визначають його жорсткість. Однак вони не характеризують раціональності розподілу металу всередині витка. Для встановлення критеріїв раціональності за формою перерізу витка можуть використовуватись такі безрозмірні величини як питомі моменти опору при згині та крученні:

$$w_b = W_b / \sqrt{F^3}; w_n = W_n / \sqrt{F^3}; w_t = W_t / \sqrt{F^3}.$$

Для прямокутного поперечного перерізу витка такі коефіцієнти визначаються за формулами:

$$w_b = 6^{-1} \delta_h^{-0,5}; w_n = 6^{-1} b^{-0,5}; w_t = \xi b^{-0,5}.$$

Порівняння величин w_b , w_n , w_t для різних профілів поперечного перерізу витка при однакових площах їх перерізу дозволяє здійснювати оцінювання раціональності профілю витка. Чим вищі значення w_b , w_n , w_t , тим даний профіль витка раціональніший у порівнянні з іншим профілем, у якого значення таких величин (за однакових площ перерізу) нижче.

Група параметрів, які характеризують геометричну форму початкових заготовок, які використовуються для виготовлення ГЗ. Питома висота початкової заготовки, виконаної у вигляді смуги, або стрічки: $b_z = B/H_{0\min}$, де $H_{0\min}$ – мінімальна товщина ПЗ з урахуванням мінусового допуску.

Відносна товщина (питома товщина) заготовки: $\delta_z = H_{0\min}/B = b_z^{-1}$. Відносний радіус кривини плоского витка або початкової заготовки, яка виконана у вигляді кільцевого сектора, параметри якого рівні параметрам плоского витка ГЗ, $r_v = D_0/2B_0 = D_0/(D_0 - d_0)$.

Група параметрів, які характеризують пластичність ГЗ. Відносне видовження пов'язане з параметрами навивної ГЗ залежністю [18]:

$$\delta_5 = 0,5(\sqrt{\psi} - 1).$$

Комплексний показник пластичності Гурвіча

Мінімальні значення комплексного показника пластичності [17]

Механічна характеристика матеріалу	Коефіцієнт нерівномірності витягування ψ							
	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,2	2,3
δ_5	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
σ_B / σ_T	1,10	1,10	1,20	1,20	1,20	1,20	1,40	1,40
F_m	0,36	0,36	0,40	0,40	0,40	0,40	0,46	0,46
Механічна характеристика матеріалу	Коефіцієнт нерівномірності витягування ψ							
	—	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
δ_5	—	0,35	0,35	0,35	0,37	0,37	0,37	0,37
σ_B / σ_T	—	1,50	1,50	1,50	1,65	1,65	1,65	1,65
F_m	—	0,53	0,53	0,53	0,61	0,61	0,61	0,61

$$F_m = \sigma_B \delta_5 / \sigma_T,$$

де σ_B – межа міцності; σ_T – межа текучості.

Умова одержання якісних спіралей є такою: $F > F_m$. У табл. 1 представлена розрахункові значення комплексного показника пластичності F_m , який є критерієм згасання тріщини на першому витку, від механічних характеристик металу (за наявності змашувального матеріалу 10% водного розчину емульсії).

Аналіз показника F_m показав, що для виготовлення навивних, гнутих та прокатних ГЗ доцільно використовувати сталі з $\delta > 24\%$, відношенням σ_T / σ_B до 360 МПа і твердістю не більше НВ 240. Таким чином, крім загальнопоширених високо пластичних сталей марок Ст.3, 08кп, 10кп, Х18Н10Т для виготовлення ГЗ можуть також використовуватись сталі марок Ст.1, Ст.2, Ст.4, 15, 20, 12ГС, 15Г, 12Х18Н10Т, 10Х14Г14Н4Т, 03Х19Г10НГМ2, 07Х21Г7АН5, 20Х13Н4Г9, 10Х14Г14Н4Т, 15ХН17АГ14, 12Х17Г9АН4, 08Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 12Х18Н9, 12Х18Н9Т, 17Х18Н9, 04Х18Н10, 06Х18Н11, 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, Н70МФ, ХН65МВ, 36Н, 32НКД, 75НМ, 80НМВ, 70НВД, 09Х14Н16Б, 09Х14Н18В2Б, 09Х14Н19В2БР, 09Х14Н19В2БР1, 30Х13Г18Ф, 08Х16Н13М2Б, 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т і ін.

Група параметрів, які характеризують технології виготовлення ГЗ. Відносний радіус згину початкової заготовки [6] $r' = r/B$. Для розрахунку мінімального радіусу гнutoї ГЗ Мазуровський Б.Я. запропонував залежність $r'_{min} = r_{min}/B$, де r'_{min} – відносний мінімальний радіус ГЗ; r_{min} – мінімальний радіус гнutoї ГЗ, який визначається величиною відносного звуження: $r_{min} = B(1 - X_0 - \tilde{\psi})/\tilde{\psi}$, де X_0 – відносне розміщення нейтрального шару; $\tilde{\psi}$ – відносне звуження, яке пов'язане із відносним видовженням δ_5 залежністю $\delta_5 = \tilde{\psi}/(1 - \tilde{\psi})$.

Згідно з [6] значення $r'_{min} = 2,4$ характерне для гнutoї ГЗ, одержаної зі сплаву АМг ($\delta_5 = 23\%$), $r'_{min} = 2,5-3,9$ – для ГЗ зі сплавів АМг3–АМг6 ($\delta_5 = 14-24\%$), $r'_{min} = 1,3$ – для ГЗ зі сталей 08Х18Н12Т, Х18Н10Т ($\delta_5 = 40\%$), $r'_{min} = 7,7$ – для ГЗ зі сталі 70Г ($\delta_5 = 8\%$) і $r'_{min} = 2,0-2,4$ –

для ГЗ зі сталі Ст. 3 ($\delta_5 = 23-27\%$). Отже, величина відносного радіуса згину істотно залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу. Тому такий показник повинен використовуватись лише з іншими показниками.

Радіус нейтрального шару деформації [18] при навиванні початкової заготовки, яка виконана у вигляді стрічки або смуги,

$$\rho_H = \sqrt{r_0^2 + Br_0}, \text{ або } \rho_H = 0,5D(1 - \zeta B/D),$$

де $\zeta = 1,13-1,17$ – експериментальний коефіцієнт.

У випадку виготовлення гнутих ГЗ вказаний радіус можна розрахувати за формулою І.П. Рене і В.П. Романовського [16]: $\rho_H = 0,5BH_C(d+B)/B_0H_0$, або за формулою Ю.А. Аверкієва: $\rho_H = \sqrt{0,25Dd}$.

Діаметр нейтрального шару навивної гвинтової заготовки $D_H = (D + \sqrt{\psi d}) / (2(\sqrt{\psi} + 1))$. Відносне розміщення нейтрального шару $X_0 = (D_H - d) / 2B$ [6].

Наприклад, згідно з [6] величина X_0 гнutoї ГЗ, одержаної зі сталі Х18Н10Т, становить 0,367 ($B_0 = 22,9$ мм, $H_0 = 8$ мм, $d = 354$ мм, $D = 414$ мм), а для ГЗ, одержаної зі сплаву АМг5, $X_0 = 0,405$ ($B_0 = 42,3$ мм, $H_0 = 2$ мм, $d = 636$ мм, $D = 720$ мм) та $X_0 = 0,366$ – для $B_0 = 52,3$ мм, $H_0 = 4$ мм, $d = 304$ мм, $D = 408$ мм. Там же доведено, що зі зростанням r' нейтральний шар наближається до середини смуги $X_0 \rightarrow 0,5$.

Довжина гвинтової стрічки по нейтральному діаметру (лінійна довжина спіралі)

$$l_S = \frac{\nu}{2\pi} \sqrt{\pi^2 D_H^2 + T^2},$$

де $D_H = 2\rho_0$ – діаметр нейтрального шару; ν – кутовий параметр спіралі.

Експериментальний коефіцієнт технологічної складності виготовлення навивних ГЗ, який уведений Пилипцем М.І. [1], визначають так:

$$K_{mc} = (\psi - 1)^x K_e, \quad K_e \approx 0,7 \dots 1,1,$$

де x – показник степеня функції; K_e – коефіцієнт, що враховує параметри процесу формоутворення.

Тоді зведenu висоту навивної ГЗ визначають так:

$$K_{mc} = (\psi - 1)^x K_e b.$$

Коефіцієнт точності маси ГЗ $K_T = G_D / G_Z$, де G_D – маса ГЗ; G_Z – маса початкової заготовки, яку використовують для виготовлення ГЗ.

Рівень технологічності конструкції за точністю обробки визначаються залежністю: $K_{y.mch} = K_{\delta.mch} / K_{mch}$, де $K_{\delta.mch}$, K_{mch} – відповідно базовий і досягнутий коефіцієнти точності формоутворення ГЗ;

Коефіцієнт точності обробки визначають за формулою

$$K_{mch} = 1 - T_{cp}^{-1} = 1 - \sum n_i / \sum T_K n_i,$$

де $T_{cp} = \frac{\sum T_K n_i}{\sum n_i} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots}$ – середній клас точності

формоутворення ГЗ; n – кількість розмірів відповідного класу точності; T_K – клас точності формоутворення ГЗ.

Рівень технологічності конструкції за шорсткістю поверхні

$$K_{y.u} = K_{\sigma.u} / K_u,$$

де $K_{\sigma.u}$, K_u – відповідно базовий і досягнутий коефіцієнти шорсткості поверхонь ГЗ.

Коефіцієнт шорсткості поверхонь K_u визначають за формулою

$$K_u = \frac{1}{Ш_{cp}} = \frac{\sum n_{im}}{\sum Ш n_{im}},$$

де Ш – клас шорсткості поверхонь;

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш n_{im}}{\sum n_{im}} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots + 14n_{14}}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_{14}} - \text{середній клас}$$

шорсткості поверхонь ГЗ; n_{im} – кількість поверхонь відповідного класу шорсткості; коефіцієнт використання нормалізованих і уніфікованих деталей у складі конструкції складеної ГЗ:

$$K_n = n_n / n_\Sigma,$$

де n_n і n_Σ – відповідно кількість нормалізованих і загальна кількість деталей.

Коефіцієнт використання матеріалу

$$K_{B.M.} = (G_{ГЗ} / (G_{ПЗ} + G_B)) 100\% = K_T K_{ВПМ},$$

де $G_{ГЗ}$ – маса ГЗ; G_B – маса відходів від виготовлення ГЗ; $G_{ПЗ}$ – маса початкової заготовки, яку використовують для виготовлення ГЗ; K_T – коефіцієнт точності маси ГЗ: $K_T = G_{ГЗ} / G_{ПЗ}$; $K_{ВПМ}$ – коефіцієнт виходу придатного металу: $K_{ВПМ} = G_{ПЗ} / (G_B + G_{ПЗ})$.

Розрахунок величини $G_{ГЗ}$ здійснюють на основі розрахунку площі поверхні циліндричного витка або об'єму. Так, площу поверхні циліндричного витка на довжині одного кроку визначають за формулою

$$F_g = \frac{1}{4\pi} \left[\pi [DL_h - dL_H] + T^2 \ln \frac{D + 2L_h}{d + 2L_H} \right].$$

При наближеному розрахунку маси ГЗ можуть використовуватись наступні формули:

– масу витка, розміщеного на довжині одного кроку на конічній поверхні з прямокутним поперечним перерізом, визначається так:

$$G_{ГЗ} = \pi B H_0 \rho_g (2R^K + B \cos \alpha_k - 2\pi l_k) \cos(\alpha_k - \theta_K),$$

де ρ_g – густина матеріалу; R^K – радіус основи конуса; $H_0 = h = H$; θ_K – половина кута при вершині конічної поверхні; l_k – величина розгортки гвинтової лінії; $l_k = T / 2\pi \sin \theta_K$;

– масу витка трикутного поперечного перерізу на довжині одного кроку та розміщеного на конічній поверхні визначають за формулою

$$G_{ГЗ} = \pi B H \rho_g \left(R^K + \frac{1}{3} B \cos \alpha_k \right) \cos(\alpha_k - \theta_K),$$

де H – товщина внутрішньої крайки витка, яка рівна товщині основи трикутного профілю поперечного перерізу витка;

– маса навивної ГЗ одиничної довжини [18]

$$G_{ГЗ} = \frac{H(D-d)}{2\beta_{yc} T} \rho_g \sqrt{\pi^2 D_H + T^2},$$

де D_H – діаметр нейтрального шару деформацій; β_{yc} – коефіцієнт усадки.

Враховуючи зв'язок величин D , d і B з коефіцієнтом видовження ψ , коефіцієнт використання матеріалу для штампозварних спіралей

$$k_M = \pi(\psi^2 - 1) / 2k^2 \psi^2,$$

де $k = 0,45 \dots 0,70$ в залежності від ψ .

Наприклад, при виготовленні штампозварної ГЗ з такими параметрами: $D = 600 \pm 2$ мм, $d = 300$ мм, $T = 600 \pm 2$ мм з листової заготовки товщиною відповідно 3 і 1,5 мм зі сталі 3пс ГОСТ19903-74, ГОСТ16523-70 коефіцієнт використання матеріалу не перевищує 0,3 [10]. Коефіцієнт використання матеріалу у штампозварних спіралях у 1,3...2 рази нижчий, ніж у вальцьованих чи навивних спіралей.

Вважаючи матеріаломісткість штампозварних ГЗ за одиницею, відносна матеріаломісткість прокатних ГЗ становитиме 0,3...0,4; ширококутових прокатних – 0,25...0,3; навивних – 0,25...0,6.

Трудомісткість виготовлення ГЗ

$$T_{np} = T_{um} \sqrt[3]{G_{np} / G_{um}},$$

де T_{np} , T_{um} – трудомісткість виготовлення відповідно проекрованої та типової ГЗ, якою є переважно штампозварна ГЗ; G_{np} , G_{um} – маси відповідно проекрованої та типової (штампозварної) ГЗ.

Оцінювання трудомісткості ГЗ також може здійснюватись відносно показників зведеної висоти витків:

$$T_{np} = T_T \sqrt[3]{b_{np} / b_T},$$

де T_{np} , T_T – трудомісткість відповідно проекрованої та типової ГЗ; b_{np} , b_T – зведена висота відповідно проекрованої та типової ГЗ.

Коефіцієнт механічного оброблення різанням ГЗ

$$K_{O.P.} = T_{O.P.} / T_Z,$$

де $T_{O.P.}$, T_Z – відповідно трудомісткість механічного оброблення різанням ГЗ та загальна трудомісткість одержання ГЗ;

Коефіцієнт механічного оброблення тиском початкової заготовки при виготовленні ГЗ

$$K_{O.T.} = T_{O.T.} / T_Z,$$

де $T_{O.T.}$, T_Z – відповідно трудомісткість механічного оброблення тиском початкової заготовки при виготовленні з неї ГЗ та трудомісткість одержання ГЗ.

Коефіцієнт механічного оброблення тиском і різанням початкової заготовки при виготовленні з неї ГЗ визначається за формулою

$$K_{M.O.} = (T_{O.T.} + T_{O.P.}) / T_Z,$$

де $T_{O.T.}, T_Z$ – відповідно трудомісткість механічного оброблення тиском і різанням початкової заготовки при виготовленні з неї ГЗ та загальна трудомісткість одержання ГЗ.

Чим менше значення коефіцієнтів $K_{O.P.}, K_{O.T.}, K_{M.O.}$, тим технологічніша заготовка.

Рівень технологічності конструкції за технологічною собівартістю

$$K_{m.c} = C_{\partial} / C_{\bar{\sigma}},$$

де $C_{\partial}, C_{\bar{\sigma}}$ – відповідно досягнута і базова технологічна собівартість ГЗ;

Коефіцієнти стійкості смуги у процесі формоутворення ГЗ.

а) коефіцієнт стійкості стрічки у процесі її згинання

$$[18] K_{y.m} = \delta_z^3 (\psi - 1);$$

б) величина критичного зусилля процесу згинання ГЗ [3]

$$P_{kp} = \varepsilon \xi_{\kappa} \frac{(0,25 H + 0,75 h)^3 E \sqrt{0,25 D^2 - 0,25 d^2}}{2,432 B^2},$$

де $\xi_{\kappa}, \varepsilon$ – коефіцієнти; E – модуль Юнга.

в) коефіцієнт стійкості вальцювання смугової заготовки (показник технологічної складності вальцюваної спіралі) [10]:

$$K_c = (T/D)(L_H/L_h)\delta_z.$$

Зі зменшенням величини K_c виготовлення ГЗ ускладнюється.

У праці [6] коефіцієнт стійкості при вальцюванні визначено так:

$$K_{vп} = \delta_z D R_B / T (\psi - 1),$$

де R_B – радіус робочих валків.

Стійкість внутрішньої крайки спіралі ГЗ, при виготовленні її методом холодного вальцювання, може оцінюватись також коефіцієнтом ψ_{MAX} , який для $0,02 \leq \delta_z < 0,055$ визначають за формулою $\psi_{MAX} = 1,6 + 24\delta$, а для $\delta_z \geq 0,055$ – $\psi_{MAX} = 3$. При цьому умова реалізації процесу вальцювання $\psi_{MAX} \geq \psi$.

г) коефіцієнт стійкості для операції розгину спіралі на крок [65]

$$K_{y.p} = \delta_h D^2 / [T^2 (\psi - 1)].$$

Швидкісний коефіцієнт процесу вальцювання: $K_v = V_0 / \omega_g$, V_0 – швидкість вальцювання; ω – кутова швидкість валків.

Коефіцієнт конструктивних особливостей прокатних станів [17]

$$K_{np.c} = 2R_B / T,$$

де R_B – радіус робочого валка.

Такий коефіцієнт дозволяє оцінити можливості виготовлення ГЗ методом холодного вальцювання на обладнанні визначених модифікацій. Наприклад, при використанні станів X523 і X540 $K \leq 1,1$ [17].

Коефіцієнт самозатягування заготовки в зоні максимального обтискування смуги при виготовленні ГЗ методом вальцювання [17]

$$f_c = \sqrt{(H_0 - h) / R_B}.$$

У процесі вальцювання на гладких шліфованих валках, змачених 10 % розчином емульсії, необхідно, щоб $f_c \leq 0,13$.

Абсолютне обтискування початкової заготовки в зоні максимальної деформації при прокатуванні $\Delta h = H_0 - h$.

Коефіцієнт розширення початкової заготовки при прокатуванні

$$\beta_{yш} = B / B_0 = (B_0 + \Delta B) / B_0, \quad \beta_{yш} > 1,$$

де ΔB – величина уширення початкової заготовки: згідно [6] $\Delta B = (0,02 \dots 0,05) B_0$, а згідно [12] розширення смуги може досягати 3% від ширини початкової заготовки.

Коефіцієнт усадки початкової заготовки при її навіванні на оправку

$$\beta_{yc} = B / B_0, \quad \beta_{yc} < 1.$$

Коефіцієнт деформації поперечного перерізу початкової заготовки, з якої одержують ГЗ

$$K_d = (F_{пз} - F_{ГЗ}) / F_{пз},$$

де $F_{пз}, F_{ГЗ}$ – площі поперечного перерізу відповідно початкової гвинтової заготовки.

Площу поперечного перерізу навивної ГЗ визначають за формулою [18]:

$$F_{ГЗ} = \left[\sqrt[4]{4Dd} / (\sqrt{0,5D} + \sqrt{0,5d}) \right] HB.$$

Відносний ступінь деформації стиску в зоні максимального обтискування

$$\chi_1 = \Delta h / H_0.$$

Відносний ступінь деформації стиску на межі розкатої ділянки і некатаної зони

$$\chi_2 = \Delta h_1 / H_0,$$

де Δh_1 – величина абсолютного обтискування на межі розкатої ділянки і некатаної зони.

Відносна ширина некатаної зони $\chi_3 = b_z / B_0$, де b_z – ширина некатаної зони. Для $3,2 \text{ мм} \leq H_0 \leq 5 \text{ мм}$ і $0,8 < T/D < 1,2$ ширину некатаної зони визначають так $b_z = 0,3B(D/d)H_0^{-1}$. Параметри χ_1, χ_2 і χ_3 визначають величину ребрового згину смуги при її прокатуванні. Одночасне збільшення ширини некатаної зони b_z і відносного ступеня обтискування χ_1 в зоні максималь-

ного обтискування істотно зменшує значення відносного радіуса кривини плоского витка $r_v = 0,5D_0B_0^{-1}$.

Коефіцієнт обтискування початкової заготовки у процесі вальцювання $\eta = H_0/h$. Зі збільшенням η і зменшенням кута нахилу витка $\tilde{\theta}$ крок ГЗ зменшується [12].

Коефіцієнт витягування λ , при умові що внутрішня крайка не обтискається, а поперечний переріз витка має форму трапеції,

$$\lambda = (6\beta_{y_{\text{ви}}}^{-1} - \eta^{-1} - 2)(1 + 2\eta^{-1}).$$

Наприклад, при виготовленні ГЗ, розгортка витка якого характеризується параметрами: $d_0 = 81,6$ мм, $D_0 = 165,6$ мм, $h = 1$ мм зі смуги шириною $B = 40$ мм і товщиною $H_0 = 3$ мм, технологічність можна оцінити параметрами: $\Delta h = H - h = 2$ мм, $\beta_{y_{\text{ви}}} = B/B_0 = 1,05$, $\eta = H_0/h = 3$, $\lambda = 2,03$ (валки радіусом 55 мм, коефіцієнт тертя смуги з валками $-0,1$, кутова швидкість обертання валків -1 с⁻¹).

Коефіцієнти калібрування ГЗ характеризують ступінь зміни розмірів ГЗ при калібруванні. Можна виділити такі коефіцієнти: коефіцієнт крокового калібрування ГЗ – відношення кроку початкової заготовки, або кроку $T_{\text{П}}$ ГЗ до калібрування на крок до кроку T після калібрування на крок; коефіцієнт діаметрального калібрування ГЗ – відношення діаметра початкової заготовки, або діаметра $D_{\text{П}}$ ГЗ до калібрування до діаметра D після калібрування на крок.

Група параметрів, які характеризують економічність ТП виготовлення ГЗ. Економічність того чи іншого типу розкрою характеризують коефіцієнтом розкрою

$$K_p = f_0 n_p / \tilde{B} h_k,$$

де f_0 – площа бічної поверхні плоскої кільцевої або смугової заготовки; n_p – кількість рядів розкрою; \tilde{B} – ширина смуги; h_k – крок вирубування.

При штампуванні зі смуги чи стрічки

$$K_p = f n / L_s \tilde{B},$$

де f – площа кільцевої заготовки; n – число фактичних деталей; L_s – довжина смуги чи стрічки; \tilde{B} – ширина стрічки або смуги.

Коефіцієнт витрати потужності, затраченої на формотворення одиниці об'єму ГЗ,

$$K_N = F / \Pi,$$

де F – енергосилова функція, яка описує затрати енергії на виготовлення ГЗ; Π – продуктивність процесу формотворення.

Наприклад, у процесі виготовлення ГЗ методом навивання смуги шириною $B_0 = 10 \dots 50$ мм і товщиною $H_0 = 3$ мм на оправку діаметром $d = 14 \dots 200$ мм витрати потужності на формотворення одиниці об'єму ГЗ за допомогою східчастого ролика, вісь якого розміщена під кутом до осі оправки (так званий "косий диск") на 20% вищі, ніж при використанні пристрою з перпендикулярним розміщенням осей оправки та східчастого ролика.

Коефіцієнт уніфікації технологічного процесу виготовлення ГЗ

$$K_{y_{\text{ТП}}} = H_{c_{\text{ТП}}} / H_{\text{ТП}},$$

де $H_{c_{\text{ТП}}}$ – кількість найменувань існуючих операцій, запозичених для виробництва ГЗ; $H_{\text{ТП}}$ – загальна кількість найменувань технологічних операцій виготовлення ГЗ (сума запозичених і нових розроблених операцій).

Коефіцієнт прогресивності технологічного процесу виготовлення ГЗ

$$K_{\text{ПР}} = H_{\text{ПР,ТП}} / H_{\text{ТП}},$$

де $H_{\text{ПР,ТП}}$ – кількість найменувань прогресивних операцій у структурі ТП виготовлення ГЗ.

Коефіцієнт стандартизації конструкції складеної ГЗ

$$K_{\text{СТ}} = H_{\text{СТ}} / H_{\text{ЗАГ}},$$

де $H_{\text{СТ}}$ – кількість найменувань (типорозмірів) складових частин складеної ГЗ, які виготовляються за міжнародним, державним або фірмовим стандартом; $H_{\text{ЗАГ}}$ – загальне число найменувань (типорозмірів) складових частин складеної ГЗ.

Коефіцієнт повторюваності складових частин ГЗ

$$K_{\text{ПОВТ}} = H_{\text{ПОВТ}} / H_{\text{ЗАГ}} > 1,$$

де $H_{\text{ПОВТ}}$ – загальна кількість складових частин ГЗ.

Коефіцієнт питомої матеріаломісткості виробництва ГЗ

$$K_{\text{П.МАТ}} = M_{\text{ГЗ}} / \Pi_{\text{ЗАГ}},$$

де $M_{\text{ГЗ}}$ – витрати матеріалів на виготовлення однієї ГЗ в натуральному або товарному вираженні; $\Pi_{\text{ЗАГ}}$ – сумарний корисний ефект використання деталі, одержаної з ГЗ за її нормативний термін служби (в одиницях корисного ефекту в натуральному, грошовому вираженні або в балах).

Коефіцієнт собівартості виготовлення ГЗ

$$K_{\text{СОБ}} = C_{\text{ГЗ}} / \Pi_{\text{ЗАГ}},$$

де $C_{\text{ГЗ}}$ – собівартість ГЗ.

Коефіцієнт потужності технологічного маршруту виготовлення ГЗ за показниками якості технологічної групи

$$t_g = \sum_{i=1}^f \left(\sum_{j=1}^m q_{ij}^T \right) f^{-1},$$

де q_{ij}^T – технологічний показник якості; m – кількість показників якості на i -тій операції технологічного маршруту; f – кількість операцій у технологічному маршруті

Коефіцієнт потужності технологічного маршруту виготовлення ГЗ за показниками якості експлуатаційної групи

$$e_g = \sum_{i=1}^f \left(\sum_{j=1}^m q_{ij}^{\text{ex}} \right) f^{-1},$$

де q_{ij}^{ex} – експлуатаційний показник якості

Коефіцієнт потужності технологічного маршруту виготовлення ГЗ за показниками якості, економічна група:

$$ek_g = \sum_{i=1}^f \left(\sum_{j=1}^m q_{ij}^{ek} \right) f^{-1},$$

де q_{ij}^{ek} – економічний показник якості.

Для оцінювання технологічності ГЗ здебільшого використовують показник питомої висоти (коефіцієнт питомої висоти) b' витка та відносного радіуса згину r' . Однак вони не враховують фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу. Так наприклад, при виготовленні ГЗ методом згинання на ребро смугових заготовок на тривалкових машинах при використанні смуги зі сталі Х18Н10Т максимальні значення таких показників $r' = 5,92$, $b = 3,63$ (для $H_0 = 8$ мм, $B = 29,9$ мм, $d = 384$ мм), а якщо матеріал – сталь АМг5 – $r' = 7,52$, $b = 21,15$ (для $H_0 = 2$ мм, $B = 42,3$ мм, $d = 636$ мм) [9].

Наведені систематизовані показники технологічності виготовлення ГЗ дозволяють здійснювати комплексний аналіз конструкцій та оцінювати ефективності процесів формоутворення таких заготовок.

Література

1. Пилипець М.І., Васильків В.В. Особливості оцінювання технологічності процесів формоутворення гвинтових заготовок // Труды 6-й междунар. науч.-техн. конф. “Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве”. – Харьков: ХНПК “ФЭД”. – 2002. – С. 110 – 112.

2. Радик Д.Л., Васильків В.В., Лясота О.М. До питання актуальності дослідження технологічних процесів формоутворення гвинтових заготовок // Вісник Львівського державного аграрного університету. Серія: Агроінженерні дослідження. – Львів: Вид. центр ЛДАУ. – 2005. – № 9. – С. 278 – 283.

3. Технологічні основи формоутворення різнопрофільних гвинтових заготовок / Б.М. Гевко, М.І. Пилипець, В.В. Васильків, Д.Л. Радик. – Тернопіль: Вид-во ТДТУ ім. І. Пулюя, 2009. – 457 с. – ISBN 966-305-014-4.

4. Журавлев А.З., Верзилов Ю.Н., Егоров В.А. Изготовление шнеков для зерноуборочных комбайнов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1980. – № 5. – С. 29 – 31.

5. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва: Дис... докт. техн. наук: 05.20.01, 05.05.05. – Тернопіль, 1997. – 454 с.

6. Гевко Б.М. Технология изготовления спиралей шнеков. – Львов: Вища школа, 1986. – 128 с.

7. Гурвич В.Е., Шифрин Д.Р., Воробьев Ю.П. Холодная прокатка спиралей шнеков // Кузнечно-штамповочное производство. – 1981. – №9. – С. 9–10.

8. Журавлев А.З. Образование геликоидальных поверхностей прокаткой // Сельхозмашина. – 1949. – №12. – С.9-13.

9. Мазуровский Б.Я., Диван П.И. Изготовление колец гибкой из полосы на ребро // Кузнечно-штамповочное производство. – 1973. – №4. – С. 19 - 21.

10. Шифрин Д.Я., Гурвич В.Е., Нудель С.Н. Холодная вальцовка спиралей шнеков для самоходного кормоуборочного комбайна КСК-100 // Кузнечно-штамповочное производство. – 1984. – №3. – С. 4-6.

11. Гурвич В.Е., Полонская М.Я., Садовский В.С. Экспериментальное исследование процесса ребрового изгиба при вальцовке заготовки прямоугольного сечения // Тракторы и сельхозмашины. – 1985. – №3. – С. 39-42.

12. Рокотян С.Е., Гурвич В.Е. Деформации при холодной вальцовке спиралей шнеков // Кузнечно-штамповочное производство. – 1983. – №10. – С. 8-10.

13. Гурвич В.Е. Исследование, разработка и промышленное внедрение процесса холодной вальцовки спиралей шнеков сельскохозяйственных машин // Автореф. дис... канд. техн; наук. М., 1985.

14. Дружинский И.А. Сложные поверхности: математическое описание и технологическое обеспечение: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1985. – 263 с.

15. Егоров В. А. Об изготовлении винтовых лент прокаткой / Тракторы и сельхозмашины. – 1972. – № 5.

16. Зубцов М.Е. Листовая штамповка. – Л.: Машиностроение, 1967.

17. Гурвич В.Е. Оценка технологичности изготовления холодной прокаткой спиралей шнековых транспортеров // Тракторы и сельхозмашины. – 1987. – №10. – С. 51-54.

18. Гевко Б.М., Рогатинський Р.М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1989. – 176 с.

19. Пономарев С.Д., Андреева Л.Е. Расчет упругих элементов машин и приборов. – М.: Машиностроение, 1980. – 326 с.

20. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин: Справочник/ И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. — М.: Машиностроение, 1993. — 640 с.

Отримана 05.02.10

V. Vasylykiv, O. Lyasota

Factors manufacturability of screw blanks

Ternopil National Ivan Pul'uj Technical University, Ternopil

The article deals with problems of effective increase in feasibility study selection rational progressive technological process manufacturing of machine part screw blanks due to the development and systematization of manufacturability parameters. Analytic dependencies for analysis constructions and estimation of fabricability of such blanks are suggested.