

УДК 621.914

П.П. Мельничук, д.т.н., проф.
В.Ю. Лоєв, к.т.н., проф.
О.В. Головатенко, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ НЕЖОРСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

В статті проведено аналіз причин виникнення похибок при обробці плоских поверхонь нежорстких деталей торцевими фрезами з метою визначення шляхів удосконалення процесу і його інструментального забезпечення.

Вступ. Удосконалення функціонально-технологічних і вагових параметрів конструкцій виробів знижує жорсткість деталей за рахунок невідповідності стінок, тобто диспропорцій конструктивних параметрів, з одночасним підвищенням точнісних вимог до їх виготовлення і збирання.

Поняття нежорстких деталей (заготовок) чітко визначено для валів (труб) і налічує співвідношення між їх діаметром і довжиною, а також жорсткісними параметрами передньої і задньої бабок верстата, на якому проводиться обробка.

Переважає більшість науково-дослідних робіт, здійснених вченими, стосується саме токарної і шліфувальної обробок нежорстких деталей типу валів. Навіть розроблена класифікація способів управління точністю формоутворення таких деталей.

Розроблено і захищено авторськими свідоцтвами велика кількість способів і пристроїв для покращення цього процесу. Побудовані динамічні моделі технологічних систем і амплітудно-фазові частотні характеристики в умовах віброгасіння тощо.

Велика кількість експериментальних досліджень обробки нежорстких валів дозволили визначити залежності для віднесення їх до певної групи обробки [1]:

для нежорстких валів

$$\frac{K^3}{24d} > \frac{\omega_{н.б} + \omega_{з.б}}{2};$$

вали середньої жорсткості

$$\frac{K^3}{24d} \approx \frac{\omega_{н.б} + \omega_{з.б}}{2};$$

вали жорсткі

$$\frac{K^3}{24d} < \frac{\omega_{н.б} + \omega_{з.б}}{2},$$

де $K = L/d$ (відношення довжини вала до його діаметра);

$\omega_{н.б}$, $\omega_{з.б}$ – податливість відповідно передньої і задньої бабок.

В роботі [6] пропонується основою для розробки класифікації нежорстких деталей високої точності прийняти кількісний взаємозв'язок жорсткості і маси. Розміри деталей типу тіл обертання виражають через безрозмірні коефіцієнти: $\beta = \frac{H}{D}$ і $\alpha = \frac{d}{D}$,

де H, D і d – висота, зовнішній і внутрішній діаметри.

Вважається, що в разі $\beta \leq 0,2$ і $\alpha \leq 0,9$ – деталь нежорстка, при $\beta \leq 2$ і $\alpha \rightarrow 0$ – деталь типу диска жорстка.

Для циліндрів, якщо $\beta = 1 \dots 1,5$, вони жорсткі, а при $\beta > 1,5$ – нежорсткі.

Нежорсткі труби характеризуються коефіцієнтом $\alpha \leq 0,9$.

Взаємозв'язок ваги деталі з її жорсткістю в разі розтягу – стискування має вигляд:

$$Q = \frac{N\beta^2 D^2 y}{\Delta E},$$

$$\text{в разі згинання } Q = \frac{\left(\frac{P}{3}\right)^{1/2} \beta^2 D^2 S y}{\left(\frac{1}{\beta D}\right)^{1/2} J^{1/2} E^{1/2}},$$

де N – поздовжня сила;

γ – щільність;
 E – модуль пружності;
 P – поперечна сила;
 f – прогин;
 I – момент інерції;
 Q – коефіцієнт взаємозв'язку.

В роботі [2] наведена таблиця № 1 аналізу технологічних способів управління точністю формоутворення нежорстких деталей, проведеного провідними фахівцями в області металообробки у вигляді публікацій за 22-ма ознаками. Як свідчить приведена інформація, практично до 1988 року не було жодної публікації з дослідження обробки фрезеруванням нежорстких деталей типу балок, плит, пластин і корпусів.

Слід зазначити, що на сьогоднішній день взагалі відсутнє визначення співвідношень параметрів “нежорсткої” деталі або заготовки, що відрізняється за формою від валів і труб.

Метою цієї роботи є забезпечення якісної обробки плоских поверхонь нежорстких деталей на базі всебічного аналізу існуючих проблем та відповідних розробок технологічних процесів і інструментального забезпечення.

Викладення основного матеріалу. При аналізі якісних показників прийнято вважати [3], що оброблена поверхня копіює форму заготовки, тому що нерівномірний припуск викликає змінні сили, змінні деформації і відтискання в системі. Навіть наводиться співвідношення для визначення коефіцієнта для підвищення точності (коефіцієнт уточнення), тобто відношення однойменних похибок заготовки Δ_3 і деталі Δ_d :

$$\xi = \frac{\Delta_3}{\Delta_d} = \frac{t_1 - t_2}{y_1 - y_2},$$

де t_1 і t_2 – максимальна і мінімальна глибини різання;

y_1 і y_2 – відповідні сумарні переміщення в системі по нормалі до поверхні обробки.

Змінна жорсткість системи “верстат–приспособлення–інструмент–деталь” за координатою зони обробки спотворює форму деталі.

Похибка у зв'язку зі змінами жорсткості системи від j_{\min} до j_{\max} дорівнює:

$$P_y \left(\frac{1}{j_{\min}} - \frac{1}{j_{\max}} \right),$$

де P_y – складова сили різання за нормаллю до оброблюваної поверхні.

При торцевому фрезеруванні на співвідношення складових сил різання, крім властивостей оброблюваного матеріалу, геометрії інструменту і товщини видаляемого шару матеріалу, великий вплив має взаємне розташування інструменту і поверхні заготовки, що обробляються.

У загальному вигляді силу P_y визначають за залежністю:

$$P_y = C_y \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot HB^{n_p},$$

де C_y – значення коефіцієнта, що враховує вид обробки й фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу;

t – глибина різання;

S – подача;

HB – твердість оброблюваного матеріалу;

x_p, y_p, n_p – показники степеня.

Для розрахунків елементів технологічного оснащення і режимів різання при торцевому фрезеруванні професор В.В. Душинський пропонує співвідношення для визначення максимальної величини сумарної аксиальної складової сили різання P_{Ac} :

$$(P_{Ac})_{\eta} = k_t \cdot t^{x_{pa}} \left[0,32 \cdot S_z^{y_{pa}} \cdot \sum_{i=1}^k \sin^{y_{pa}} [\eta + (i-1)\xi] + 0,0128K \right] \cdot \text{ctg } \varphi_{\Pi},$$

де k_t – постійна, що характеризує умови обробки і оброблюваний матеріал;

t – глибина різання;

S_z – подача на зуб фрези;

η – значення миттєвого кута повороту першого зуба фрези при його роботі (величина цього кута безперервно змінюється в межах $\theta_1 \leq \eta < (\theta_1 + \xi)$, тобто до моменту, коли в робочу зону увійде наступний зуб фрези);

θ_1 – кут врзання зуба фрези в метал;

ξ – кут центральний між суміжними зубами фрези ($\xi = 360/Z$ в разі рівномірного розташування);

i – номер зуба фрези, що бере участь в роботі у даний момент часу ($i = 1, 2, \dots, K$);

K – максимальна кількість зубів фрези.

В разі парної кількості зубів

$$K = E \left[\frac{180 - (Q_1 + Q_2)}{\xi} \right] = E \left[\frac{z}{2} - \frac{Q_1 + Q_2}{\xi} \right] = E \left(\frac{\psi}{\xi} \right).$$

В разі непарної кількості зубів

$$K = 1 + E \left[\frac{z}{2} - \frac{Q_1 + Q_2}{\xi} \right] = 1 + E \cdot \left(\frac{\psi}{\xi} \right),$$

де θ_2 – кут виходу зуба фрези із зони різання;

ψ – кут зони різання при фрезеруванні; $E \left(\frac{\psi}{\xi} \right)$ – ціле число дробу; φ_n – приведений кут в плані.

Ця складова сили різання породжує пружні деформації та відтискання елементів технологічної системи, величина яких залежить як від сили різання, так і від жорсткості елементів, тобто їх здатності протистояти діючій силі.

$$Y = \frac{Py}{j},$$

де Y – величина відтискання елемента системи;

j – жорсткість того ж елемента.

Нестабільність сили різання і, відповідно, її складових, а також різна жорсткість елементів у різних перерізах зумовлюють нерівномірність пружних відтискань цих елементів.

Поділ площинних деталей (заготовок) за ступенем жорсткості є складною проблемою і має умовний характер, хоча в певній мірі так само, як і для валів, має дати відповідь на запитання, що стосується пружних деформацій під час закріплення і обробки, сумірних з допустимими відхиленнями від точності і площинності оброблюваної поверхні.

Існує ще один критерій для визначення ступенів жорсткості заготовки – це співставлення з характеристикою жорсткості верстата, на якому відбувається обробка, і яка повинна бути вищою порівняно з жорсткістю заготовки з пристосуванням для закріплення в разі її віднесення до нежорстких деталей.

Узагальнено можливо відносити до технологічно нежорстких деталей ті, які при базуванні і затисканні їх заготовок, а також від сил різання пружно деформуються на величину, що перевищує допустимі відхилення від площинності або відносного положення поверхонь. Саме розробка технологічних процесів, вибір способу базування і закріплення заготовок, призначення режимів обробки і траєкторії руху формоутворюючих елементів, особливо на фінішних операціях, визначають якість деталей.

Варто підкреслити, що одна і та ж деталь (заготовка) при різному розташуванні точок базування і прикладання зусиль затиску може вважатися жорсткою або нежорсткою, характеризуючи кваліфікацію розробника пристосування.

При розробці пристосувань для обробки заготовок типу корпусів, кришок, планок, балок, столів тощо базування здійснюють, дотримуючись правил 6-ти точок. При цьому рекомендується встановлювати максимально можливу відстань між трьома опорними і двома напрямними точками, а зусилля затиску – симетрично до них.

Для нежорстких деталей цей принцип не придатний.

Засвідчимося в цьому на прикладі деталей типу балок (рис. 1) [1]:

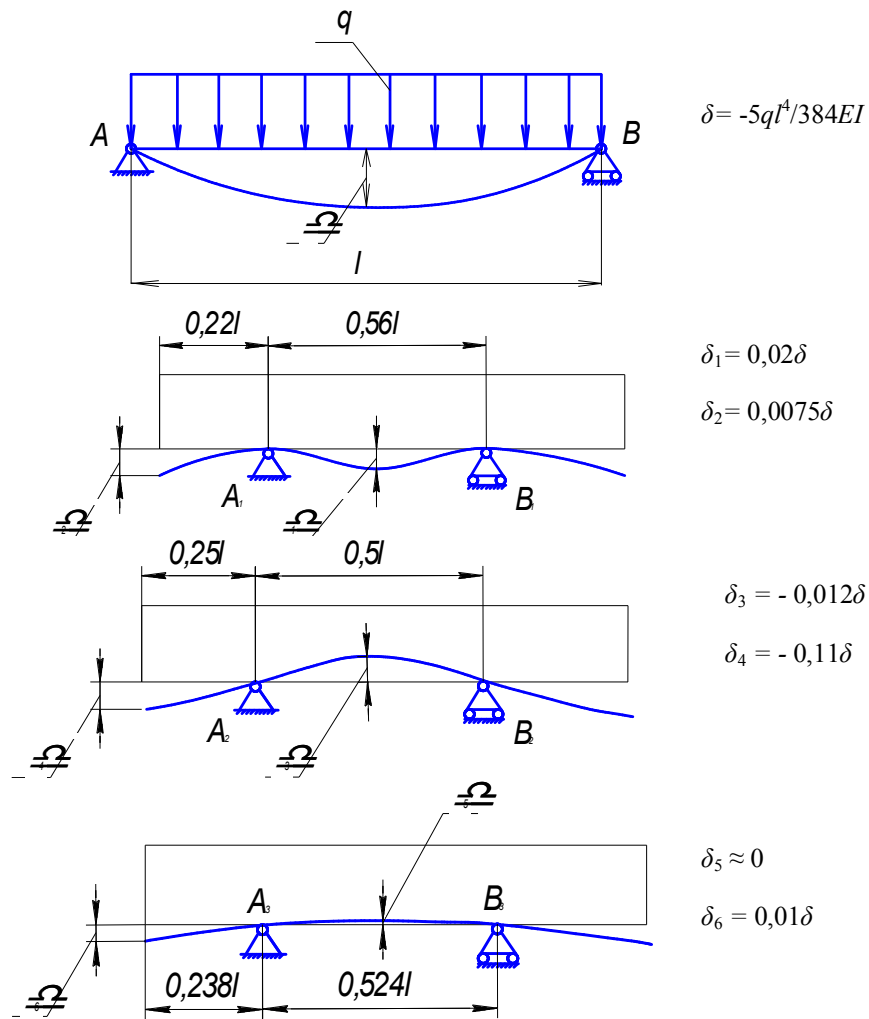


Рис. 1. Вплив розташування опор на деформацію

Навіть без врахування радіальної складової P_y сили різання, що діє при торцевому фрезеруванні, з наведеного рисунка і відповідних розрахунків зрозуміло, що відстань між опорами А і В суттєво впливає на пружні деформації. При відстані між опорами (A_3, B_3) $0,524l$ прогин балки наближений до нуля.

Розглянемо заготовку типу «плита» (рис. 2).

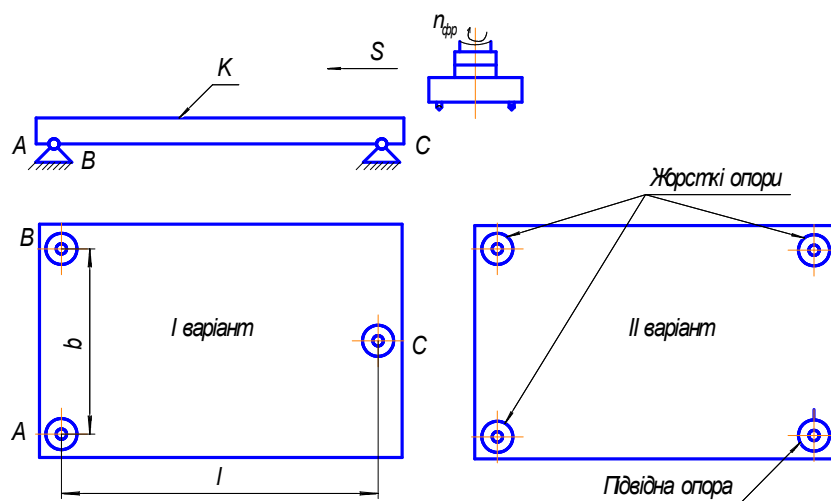


Рис. 2. Базування деталі типу «плита»: 1 варіант – три жорсткі опори; 2 варіант – три жорсткі опори і одна підвідна

В разі класичного базування на три опорні точки (А, В, С) і обробці поверхні К торцевою фрезою за один прохід при її симетричному розташуванні напрямком врізання фрези має бути з боку опорної точки С і вихід між опорами А і В. При трьох жорстких опорах і одній підвідній цей процес не має значення.

Слід зазначити, що основним фактором, який викликає динамічні переміщення в технологічних системах, є збуджуючі дії від змінних сил різання, притаманних торцевому фрезеруванню.

Вплив силових факторів на переміщення в технологічних системах і основні показники процесу обробки аналізують на базі встановлених закономірностей динамічних впливів на досліджувану технологічну систему. Автор роботи [7] вважає, що найбільш повно такі закономірності визначаються комплексним виразом, що пов'язує функції $Q(j\omega)$ і $Y(j\omega)$ входу і виходу з передаточною функцією $W(j\omega)$ системи або її динамічною характеристикою, яка отримується розрахунками або експериментальним шляхом. (В позначеннях $j = \sqrt{-1}$; ω -колова частота).

В загальному вигляді ці залежності можливо визначити за виразом:

$$\begin{pmatrix} Y(t) \\ P(t) \end{pmatrix} = f \begin{pmatrix} F_p(t) \\ F_y(t) \end{pmatrix},$$

де $y(t)$ – переміщення елементів технологічної системи, включаючи закріплену заготовку, які визначають якість обробки; $P(t)$ – зміни сили різання в процесі обробки, які визначають міцність і стійкість інструменту, а також деформацію нежорстких заготовок; $F_p(t)$, $F_y(t)$ – змінні впливи на процес різання і пружну систему; t – поточний час.

В разі дослідження складних технологічних систем з багатьма степенями вільності використовують частотний метод, що включає наступні основні етапи спектрального аналізу:

– визначення закономірності ударних імпульсів $Q(t)$ у вигляді комплексного спектра входу:

$$Q(j\omega) = \int_0^{\infty} Q(t)e^{-j\omega t} dt = R_{eQ} + j \operatorname{Im}_Q,$$

де $R_{eQ} = \int_0^{\infty} Q(t)\cos(\omega t) dt$; $\operatorname{Im}_Q = -\int_0^{\infty} Q(t)\sin(\omega t) dt$;

– закономірності результатів впливів імпульсів у вигляді комплексного спектра виходу:

$$Y(j\omega) = W(j\omega) \cdot Q(j\omega) = R_{ey} + j \operatorname{Im}_y,$$

де $W(j\omega) = R_{ew} + j \operatorname{Im}_w$; $R_{ey} = R_{ew} - R_{eQ} - \operatorname{Im}_w \operatorname{Im}_Q$; $\operatorname{Im}_y = \operatorname{Im}_w R_{eQ} + R_{ew} \operatorname{Im}_Q$;

– закономірності змін переміщень системи:

$$Y(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R_{ey} \cos(\omega t) d\omega,$$

де R_{e} і Im – дійсна і уявна частини відповідних спектрів.

Часовий метод застосовують для дослідження відносно простих технологічних систем з декількома степенями вільності. До речі, складні технологічні системи можливо звести до простих шляхом відповідного приведення параметрів. Склавши рівняння руху системи і провівши їх відповідний аналіз, дослідженнями визначають закономірності зміщень, їх максимальні значення і коефіцієнти динамічності.

Переміщення технологічної системи з одним степенем вільності в результаті послідовних імпульсних впливів малої тривалості, що повторюються, визначаються рівнянням:

$$y(t) = y_1 \cdot e^{-bt} \sum_{i=1}^n \sin \omega_0 \left[t - \tau_u - (i-1)T_u \right],$$

де $y_1 = Q_0 / (m\omega_0)$ – найбільше переміщення в результаті одного імпульсу; Q_0 – величина імпульсу; ω_0 – власна частота коливань технологічної системи, включаючи пристосування з заготовкою; b – коефіцієнт опору; n, τ_u, T_u – число, час дії і період імпульсів.

Найбільше переміщення $y_{max} = y_1 \beta$,

де $\beta = 0,5 \sin(\pi\omega_0 / \omega_u)$ – коефіцієнт підсилення, що визначає вплив повторних імпульсів на переміщення y_1 ; ω_u – частота імпульсів.

Для технологічних систем з двома і більше степенями вільності відповідні рівняння розв'язують шляхом розкладання за нормальними формами коливань з наступним сумуванням результатів переміщень.

В багатьох випадках з достатньою для практики точністю при дослідженні різноманітних технологічних систем як оціночну функцію можна прийняти умови сталості, що визначають допустимий рівень коливань, запас сталості і швидкодію технологічних систем.

У загальному вигляді така функція, що визначає переміщення технологічної системи під дією імпульсних або ударних навантажень, має вигляд:

$$y_{\max} = \sum_1^k y_k \beta_k \leq \Delta,$$

де y_{\max} – найбільше відносне переміщення технологічної системи у напрямку, що визначає точність обробки. У нашому випадку – це напрямком, перпендикулярний до оброблюваної поверхні; y_k – найбільше переміщення у вибраному напрямку під дією одного імпульса для k -ої форми коливань технологічної системи; β_k – коефіцієнти, що враховують вплив повторних імпульсів на переміщення системи; Δ – допустимі переміщення, що забезпечують задану точність обробки.

Як свідчить особистий досвід авторів, а також аналіз типових технологічних регламентів виготовлення відповідальних деталей верстатобудування, редукторів, насосів, автомобілебудування тощо, відхилення від площинності точних плоских поверхонь складає від 0,01 мм на довжині 10 мм до 0,05 мм на 100 мм.

В роботі [8] розглянуто виникнення похибки обробки нежорстких деталей через залишкові напруги, що налічують заготовки і їх зміну в процесі обробки, які призводять до жолоблення оброблених деталей. Наголошено також на тому, що при обробці нежорстких деталей відбувається дружне стискання обробленої поверхні складовою силою різання P_y , що, в свою чергу, змінює глибину різання.

Фактори, що впливають на величину пружного відтискання, виражені функцією:

$$f_0 = f(M, I, P, C),$$

де M – матеріал заготовки; I – момент інерції; P – сила різання (P_y); C – схема установки заготовки.

Силу різання P автори розглядають як функцію:

$$P = f(VO, V, S, t),$$

де VO – вид обробки; V – швидкість різання; S – величина подачі; t – глибина різання.

Встановлюючи ці прості залежності, автори, на наш погляд, дещо зневажливо наводять «основні недоліки» в роботах відомих вчених П.І. Ящерицина і В.С. Корсакова, без посилання на конкурентні джерела, де не врахована зміна глибини різання через пружні деформації заготовок, а також виникнення жолоблення від крутного моменту, що діє від сили P_y на певні відстані від нейтральної лінії.

Також сумнівним є ствердження авторів відносно можливості регулювання пружного відтискання f тільки за рахунок складової P_y сили різання.

Саме схема установки заготовки (в пристосуванні або безпосередньо на столі верстата), з врахуванням жорсткісних параметрів вузлів верстата при зміні їх взаємного положення, суттєво впливають на величину f . Суттєвий вплив на розмір похибки має також траєкторія взаємного руху інструменту і заготовки.

Наведені формули прогину деталі стосуються тільки випадку, коли балка на двох опорах з навантаженням посередині прольоту:

$$f = P_y \frac{l^3}{48EI}.$$

Друга формула для випадку дії зусилля і моменту скручування $f = P_y \frac{l^3}{48EI} + 2c \sin\left(\frac{P_y c a b}{2lGI}\right)$ взагалі

незрозуміла без визначення складових c , a і b , а також місця прикладання моменту і об'ємної форми деталі.

Так само від багатьох факторів залежить величина жолоблення деталі після обробки, формула з визначення якої з посиланням на роботу К.С. Колева «Вопросы точности при резании металлов», наведена в роботі [8]:

$$f_1 = \frac{3\sigma_0 l^2 \Delta}{8Eh^2},$$

де σ_0 – напруження в заготовці перед обробкою, МПа; l – довжина деталі, мм; Δ – величина припуску, мм; E – модуль пружності, МПа; h – половина товщини деталі, мм.

Ідея компенсації похибки деталі від пружного відтискання під час обробки за рахунок її жолоблення від попереднього передвиделення припуску напруження заготовки дуже цікаве, але здійснити таку технологію дуже важко. Як правило, цей метод обробки плоскісних деталей придатний для заготовок простої правильної форми без гарантії на отримання абсолютного результату.

Значний інтерес представляє робота [9] (автори Л.П. Калафотова, С.Ю. Олійник), в якій наголошується на те, що однією з суттєвих причин автоколивань нежорстких деталей є періодична зміна жорсткостей відносно нерухомих осей деталей, елементів пристосування, деталей і вузлів верстата.

Переважає більшість нежорстких деталей і, як наслідок, їх заготовок має складну геометричну форму, що відрізняється від планок, брусків, плит тощо. Розрахунок динамічних характеристик цих деталей, як єдиного цілого, достатньо трудомісткий. тому автори вважають за доцільне розбивати кожну деталь на частини для того, щоб виявити закономірності зв'язків між їх геометрією і величиною автоколивань (частотою W і амплітудою A).

Як елемент конструкції нежорсткої деталі автори розглядають балку на двох жорстких опорах з зусиллям від сили різання P_y , що переміщується від однієї опори до іншої.

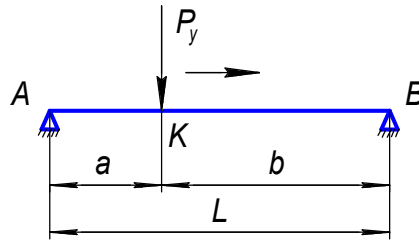


Рис. 3. Розрахункова схема елемента деталі

Прогин деталі (елемента) в точці $K(y_k)$ визначається як результат розв'язання диференціального рівняння пружної лінії:

$$E \cdot I \cdot \ddot{y} = M(x),$$

де E – модуль пружності матеріалу; I – момент інерції елемента деталі відносно осі, що проходить через центр ваги; $M(x)$ – момент в опорах А і В.

Зрозуміло, що жорсткість елемента заготовки за його довжиною змінна і, як і в цілому деталі (заготовки) залежить в першу чергу від геометричних розмірів і розташування окремих конструктивних елементів.

При торцевому фрезеруванні після завершення врізання (досягнення сталої кількості одночасно працюючих ножів) стандартних і спеціальних фрез радіальна складова сумарної сили різання стабілізується, досягаючи максимуму. При симетричному розташуванні фрези величина врізання

$$h = R_{fp} - \sqrt{R_{fp}^2 - \frac{B^2}{4}},$$

де R_{fp} – радіус розташування вершин ножів фрези; B – ширина оброблюваної поверхні.

Прогин балки на двох опорах (рис. 3) при дії сили P_y , що переміщується вздовж балки:

$$y_k = \frac{P_y \cdot a^2 \cdot b^2}{3EI \cdot L};$$

$$y_{\max} = \frac{P_y \cdot L^3}{48EI} \text{ (посередині балки } a = b = \frac{L}{2}\text{)}.$$

В разі наявності консолі:

$$y_k = \frac{Pl^3}{3EI},$$

де l – довжина консолі.

Автори роботи [9] пропонують для характеристики динамічних процесів застосовувати рівняння Лагранжа другого роду з застосуванням узагальнених координат і узагальнених сил:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = Q_i,$$

де T – кінетична енергія механічної системи; Π – потенційна енергія механічної системи; Φ – дисипативна функція; q_i, \dot{q}_i – узагальнені координати і швидкості; Q_i – узагальнена сила; t – час.

$$T = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} m_i \dot{q}_i^2; \quad \Pi = \sum_{i=2}^{n_s} \frac{1}{2} k_i (\Delta_i) \Delta_i^2;$$

$$\Delta_i = q_i - q_{i-1}; \Phi = \sum_{i=2}^{n_e} \frac{1}{2} h_i (\Delta_i) \Delta_i^2;$$

$$\dot{\Delta}_i = \dot{q}_i - \dot{q}_{i-1},$$

де m_i – маса тіла; k_i, h_i – коефіцієнти жорсткості і демпфування; n – кількість тіл; n_e – кількість кінцевих елементів.

Різноманітність конструкцій нежорстких деталей, що вимагають обробки плоских поверхонь, не дають можливість застосовувати якийсь один універсальний метод торцевого фрезерування на відміну від плоского шліфування. Тому автори цієї роботи розглядають низку способів і їх комбінації (рис. 4) з метою забезпечення високопродуктивної і якісної обробки плоских поверхонь деталей торцевим фрезеруванням з використанням НТМ замість абразивної обробки з загальновідомими недоліками.

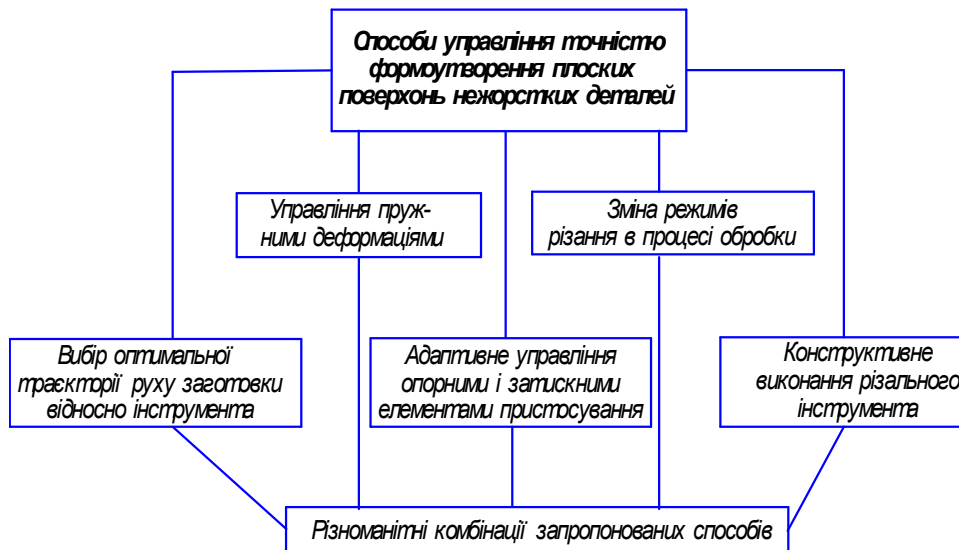


Рис. 4. Напрямки удосконалення обробки плоских поверхонь нежорстких деталей торцевим фрезеруванням

Висновки. Суттєво підвищити точність обробки, а також оптимізувати процес різання можливо лише вивченням закономірностей виникнення і зміни похибок обробки, що пов'язані з характеристиками і умовами експлуатації обладнання (верстат–пристосування) та інструмента з обов'язковим врахуванням жорсткісних параметрів заготовки.

Для розв'язання цієї задачі необхідно розробити методологію визначення оптимальних режимів різання, параметрів інструмента і пристосувань, динамічної характеристики і умов функціонування технологічної системи, що гарантують задану точність і продуктивність обробки.

Заплановані дослідження включають:

- визначення складових і створення узагальненої моделі технологічної системи;
- визначення впливу на технологічну систему у процесі її роботи закономірностей факторів, що змінюються в процесі обробки;
- аналіз впливів цих факторів на відносне переміщення інструмента і заготовки;
- встановлення оптимальних параметрів і умов роботи технологічної системи, що забезпечують дотримання вимог до обробки;
- випробування розроблених і виготовлених конструкцій торцевих інструментів, захищених патентами України на винаходи №№ 83071 і 83072, зареєстровані в Державному реєстрі 10.06.2008р.;
- експериментальну перевірку нової схеми видалення припуску на обробку поверхні з урівноваженням аксіальної складової сили різання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Тараненко В.А., Митрекраков В.Г., Косов М.Г.* Технологические способы и средства повышения точности обработки нежестких деталей. – М.: ВНИИТЭМР, 1987. – 64 с.
2. *Тараненко В.А.* Моделирование технологических систем формообразования нежестких деталей. – М.: ВНИИТЭМР, 1988. – Вып. 2. – 72 с.
3. *Детали и механизмы металлорежущих станков /* Под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1972. – 664 с.
4. *Бутуев В.В.* Жесткость станков // Станки и инструмент. – 1996. – № 8. – С. 26–32.
5. *Беляев Н.М.* Сопротивление материаллов. – М.: ГИФМЛ, 1959. – 856 с.
6. *Куклев Л.С., Тазетдинов М.М.* Оснастка для обработки нежестких деталей высокой точности. – М.: Машиностроение, 1978. – 104 с.
7. *Никитин Б.В.* Расчет динамических характеристик металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1962. – 110 с.
8. *Колот Л.П., Бойко Ю.А.* Обработка нежестких плоскостных деталей с рациональным усилием резания // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Зб. наук. пр. – Вип. 18. – Краматорськ: ДДМА, 2005. – С. 176–179.
9. *Калафатова Л.П., Олейник С.Ю.* Постановка задачи математического моделирования процесса фрезерования с учётом влияния конструкции детали на динамику технологической системы СПИД // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Зб. наук. пр. – Вип. 18. – Краматорськ: ДДМА, 2005. – С. 201–208.

МЕЛЬНИЧУК Петро Петрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем, ректор Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування.

ЛОЄВ Володимир Юхимович – кандидат технічних наук, професор кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- комплексні і комбіновані методи обробки плоских поверхонь деталей машин;
- конструювання металообробних верстатів та інструментів.

ГОЛОВАТЕНКО Олег Володимирович – аспірант кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка плоских переривчастих поверхонь.

Подано 22.06.2008

Мельничук П.П., Лоєв В.Ю., Головатенко О.В. Техніко-технологічні підходи удосконалення процесу торцевого фрезерування плоских поверхонь нежорстких деталей

Мельничук П.П., Лоєв В.Ю., Головатенко О.В. Техніко-технологічні підходи удосконалення процесу торцевого фрезерування плоских поверхонь нежорстких деталей

Melnychuk P.P., Loev V.Y., Golovatenko O.V. Technical and technological approaches for improvement of face milling process of flat surfaces of low-rigidity machine parts

УДК 621.914

Technical and technological approaches for improvement of face milling process of flat surfaces of low-rigidity machine parts / P.P. Melnychuk, V.Y. Loev, O.V. Golovatenko.

The article presents the analysis of reasons of error generation during machining flat surfaces of low-rigidity machine parts by face milling cutters for the purpose of determination methods for improvement of the process and its tool provision.

УДК 621.914

Мельничук П.П., Лоєв В.Ю., Головатенко О.В. Техніко-технологічні підходи удосконалення процесу торцевого фрезерування плоских поверхонь нежорстких деталей