

Винахід відноситься до машинобудування і призначений для обробки точінням нежорстких легкодеформуваних деталей типу валів, які широко застосовуються в машино-приладобудуванні, авіабудуванні, суднобудуванні та інших галузях промисловості.

Виробництву відомі способи обробки точінням довгомірних нежорстких деталей з імпульсною компенсацією їх пружистих переміщень від дії радіальної складової сили різання, що дозволяє підвищити точність обробки.

Описаний в ас. № 1443289 СРСР, МКІ В23В1/00, 1988 рік, "Способ обработки тонкостенных цилиндров точением с вибрациями", дозволяє підвищити точність обробки за рахунок надання інструменту, який ріже, коливального руху навколо осі циліндричної поверхні стружкозавиваючої канавки на передній поверхні, що дає змогу компенсувати прогинання стінок деталі, яка знаходиться під дією радіальної складової сили різання P_y .

Недоліком даного способу є надто обмежена галузь застосування, що пояснюється надзвичайною складністю створення необхідної сили, яка забезпечує рух деталі на різець (натягування, тобто подачі деталі на різець) за сходячу стружку, компенсуючу прогинання стінки порожньої деталі чи суцільного валу від дії P_y . Так як дана сила залежить, в основному, від сили тертя, то компенсація прогинань деталі від дії P_y можлива лише в відношенні деталей з надто малою товщиною стінки чи достатньо малого діаметра, тобто в відношенні деталей, які мають надто малу жорсткість (з відношенням $g/h \geq 100$, де g - радіус, а h - товщина стінки деталі, чи з $1/d \geq 10$, де d - довжина, а d - діаметр валу).

Крім того, даний спосіб обробки не враховує умов виникнення резонансів, тобто зростання амплітуди коливань деталі, що посилює величину радіальної деформації, при збігу власних частот коливання деталі на всіх гармоніках з частотами коливання інструменту, який ріже, що досить негативно позначається на точності і якості обробки.

Спосіб токарної обробки нежорстких деталей з вібраціями, описаний в а.с. № 1280772 СРСР, МКІ В23В 1/00, 1986р., забезпечує підвищення точності і продуктивності за рахунок зміни в межах одного періода коливання часу врізання і відведення ріжучого інструмента, що дозволяє створити за рахунок сил тертя протидіючу силу, компенсуючу дію радіальної складової сили різання P_y .

Даному способу притаманні ті ж недоліки, які мають місце у вищезазначеному способі.

Як прототип взято спосіб обробки тонкостінних циліндричних деталей за ас. № 1247167 СРСР, МКІ В23В 1/00, 1986 рік, в якому, з метою підвищення точності і продуктивності, використовують кулястий деформатор, траєкторія обертання якого зміщена в бік дії радіальної складової сили різання P_y , чим забезпечується його періодичний контакт з деталлю в зоні різання, тобто створює протидіюче зусилля, величину якого змінюють по мірі переміщення інструмента уздовж деталі, а напрям дії цього зусилля змінюють шляхом повороту центру обертання деформатора відносно осі деталі.

Одним з недоліків даного способу є, по-перше, те, що здійснення зміщення центру обертання потребує достатньо складного передавального механізму і системи керування їм, що негативно позначається на точності відтворення керуючих сигналів, а як слідство, і на точності обробки.

По-друге, можливі відскоки кулястої маси від стінок деталі, які призводять до самочинного змінення величини і періода руху протидіючого зусилля, що також знижує точність обробки.

І, по-третє, не виключена можливість появи ударного резонансу, призводячого до росту амплітуди коливання деталі, при збіганні її власних частот коливань з частотами протидіючого зусилля, що також знижує точність обробки.

В основу запропонованого винаходу покладено задачу поширення і стабілізації керованого діапазону величин, що створюють протидіюче зусилля, яке компенсує дію радіальної складової сили, а також усунення явища ударного резонансу, яке виникає при збіганні періодів власних коливань, деталі з періодами дії протидіючого імпульсного зусилля, з метою підвищення точності обробки.

Сутність винаходу міститься в тому, що при обробці нежорстких деталей типу валів, яка передбачає їх закріплення з кінців, обертання, створення зусилля протидіючого радіальній складовій сили різання, а також переміщення: уздовж оброблюваної поверхні ріжучого інструменту, протидіюче зусилля реалізують у вигляді серії імпульсів одного знаку, які докладають в перетені деталі, рівновіддаленому від її кінців, величину яких змінюють в залежності від положення точки докладання радіальної складової сили різання уздовж осі оброблюваної деталі, до того ж частоту проходження імпульсів приймають відмінною від частот власних коливань деталі.

При порівнянні аналогів і прототипу з запропонованим технічним рішенням видно, що воно виявляє нові технічні властивості, які містяться в наступному.

По-перше, виключення можливості збігу власних частот коливання деталі на всіх гармоніках з частотами зміни протидіючого зусилля усуває виникнення ударного резонансу, який призводить до різкого зростання амплітуди коливання деталі в зоні різання і збільшенню тим величини її деформації в напрямку до ріжучого інструменту.

По-друге, виключається необхідність переміщення (зміни) точки докладання протидіючого зусилля в залежності від положення точки докладання радіальної складової сили різання P_y уздовж оброблюваної поверхні, що спрощує кінематику пристрою для реалізації способу і системи керування.

В запропонованому способі положення точки докладання протидіючого зусилля в відношенні до кінців деталі не змінюється, а змінюється лише його величина і частота і проходження, що досягається відомими простими і надійними апаратними засобами.

По-третє, суттєво поширюються технологічні можливості способу в відношенні збільшення ваго-габаритних параметрів об'єктів обробки, тобто збільшення протидіючого зусилля не залежить від сил тертя, діючих в зоні контакту різця з збігаючою стружкою. Таким чином забезпечується зріст продуктивності точіння, тобто можуть бути збільшені подавання і глибина різання.

На рис.1 надана схема деформування деталі при навантаженні силами P_y і $F(a)$; на рис.2 - графік імпульсного впливу на деталь без зміни величини компенсуючої сили; на рис.3 - графік імпульсного впливу на

деталь з зміною величини компенсуючої сили.

Алгоритм пошуку, керуючого (компенсуючого) впливу F , який докладено по середині довжини заготовки і забезпечує ліквідацію пружного переміщення перелину заготовки з координатою a докладення сили P_y при її повільному руху зі швидкістю V уздовж заготовки, засновано на використанні відомих методів механіки деформуючого твердого тіла (зокрема - метода початкових параметрів). (Див. Писаренко Г.С., В.А. Агаров і др. "Сопротивление материалов". - К: Вища школа, 1986. - 775с., стор. 300-311).

Пружне переміщення, у перетині заготовки з координатою a від компенсуючої сили F , докладеної по середині довжини заготовки, дорівнюється (рис. 1)(Див. "Сопротивления материалов", К, -1986)

$$\delta_F(a) = \frac{F \cdot a(3l^2 - 4a^2)}{48EJ} \quad (1)$$

Пружне переміщення перегину з координатою a від сили P_y в напрямку дії цієї сили дорівнюється:

$$\delta_{P_y}(a) = -\frac{P_y(l-a)^2 \cdot a^2}{3EJ \cdot l} \quad (2)$$

З алгебраїчної суми (1) і (2) визначається значення F , при якому переміщення перетину a відсутнє (рис.1):
при: $\delta_F(a) + \delta_{P_y}(a) = 0$

$$F(a) = \frac{16(l-a)^2 \cdot a \cdot P_y}{l(3l^2 - 4a^2)} \quad (3)$$

Аналогічні міркування приводять до отримання виразу для $F(a)$, коли сила P_y знаходиться на ділянці $l \geq a \geq l/2$:

$$F(a) = \frac{16(l-a)^2 \cdot a \cdot P_y}{l^4 \left[3 \frac{a}{l} - 4 \frac{a^3}{l^2} + 8 \frac{(a-l/2)^3}{l^3} a^2 \right]} \quad (4)$$

При $P_y = 1$ з (3) і (4) проходять функції впливу (функції Гріна), (див. Бохонейкий А.И., Вохмянин А.Н. Управление деформированием нежестких деталей при токарной обработке. Монография. - Севастополь, Изд-во СевГТУ, 1999. - 240с.), та показують яке необхідно докласти діяння по середині довжини заготовки, щоб усунути переміщення від сили $P_y=1$ при довільному ($l \geq a \geq 0$). Оскільки з (3) і (4) при $a=l/2$ виходить, що $F(l/2)=1$, то при $a=0$ з (3) виходить $F(0)=0$; так як $a=l$ з (4) виходить $F(l)=0$, функції (3) і (4) можна (для $P_y=1$) без збитку для точності розрахунків замінити одною:

$$F^*(a) = \sin \frac{\pi \cdot a}{l} \quad (5)$$

Характерно, що при $a=l/4$ і $a=\frac{3}{4}l$ з (5) виходить $F^*(l/4)=0,707$; відповідно з (3) і (4) для $F^*(l/4)$ і $F^*(3l/4)$ виходить $F^*=0,82$, тобто достатня точність забезпечується.

Якби сила P_y була нерухома і докладена по середині довжини заготовки ($a=l/2$) то компенсуючий періодичний і імпульсний вплив при його розкладанні в ряд Фур'є мали би вигляд (рис.2):

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi t}{T} + b_n \sin \frac{n\pi t}{T} \right),$$

$$\text{де: } a_0 = f_0 \frac{\tau}{T}; a_n = \frac{f_0}{n\pi} [(-1)^n + 1] \sin \frac{n\pi \tau}{T}; \quad (6)$$

$$b_n = \frac{f_0}{n\pi} [(-1)^n + 1] \cdot \left(1 - \cos \frac{n\pi \tau}{T} \right);$$

τ - тривалість прямокутного імпульсу; T - період дії імпульсів.

Тоді при зміні положення P_y уздовж заготовки імпульсний компенсуючий вплив розраховується ж добуток двох функцій за формулою (рис.3):

$$F(V_t) = \sin \frac{\pi V_t t}{l} \cdot f(t), \quad (7)$$

де: $V_t=a$

Для нежорсткої заготовки, яка закріплена в центрах, частоти і періоди власних коливань визначаються згідно формулі (див. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. -М: «Машиностроение», 1976. -320с. (див. стор. 123).

$$V_k = k^2 \pi^2 \sqrt{\frac{EJ}{m_0 \cdot l^4}}, T_k^* = \frac{2\pi}{V_k}, \quad (8)$$

$k = 1,2,3...$

де EJ - згинка жорсткість заготовки;

$m_0 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \gamma$ - маса одиниці довжини заготовки

γ - питома вага матеріалу заготовки.

Умови відсутності ударного резонансу, тобто незбіжність періода повторювання імпульсів ні з жодним з періодів коливань заготовки наступні:

$$T = T^*_{\kappa}$$

Крім того, параметри (τ, T) імпульсів вибираються так, щоб безперервно забезпечувати відсутність пружних переміщень оброблюваної заготовки по напрямку дії P_y .

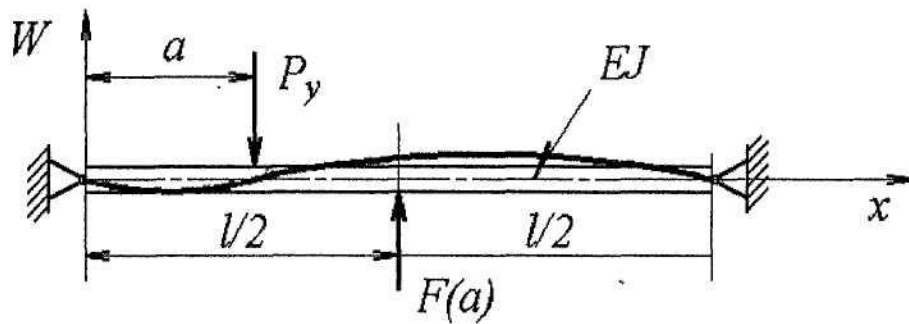


Рисунок 1 – Схема деформування деталі при навантаженні силами P_y і $F(a)$

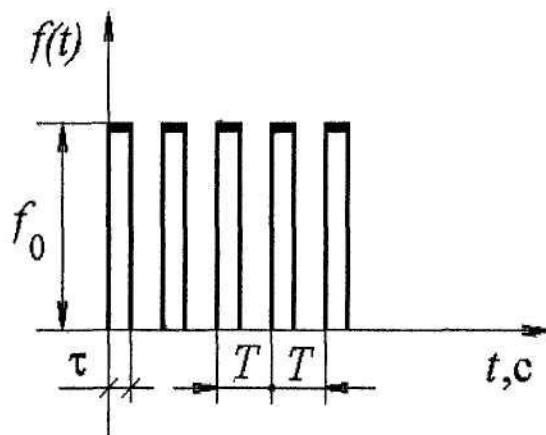


Рисунок 2 – Графік імпульсного впливу на деталь
Без зміни величини компенсуючої сили

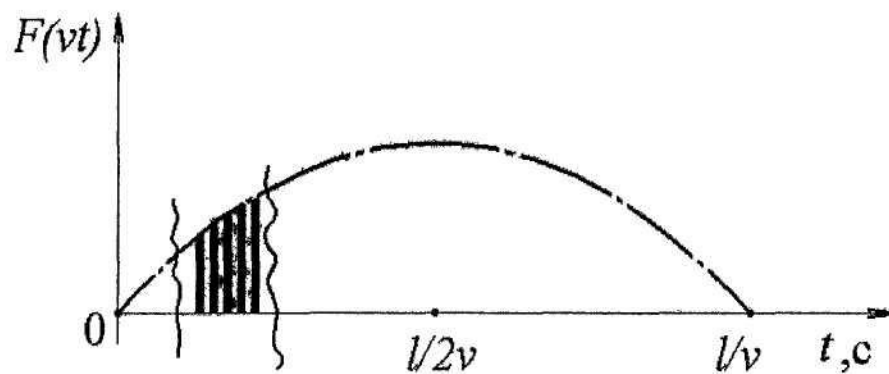


Рисунок 3 – Графік імпульсного впливу на деталь
з зміною величини компенсуючої сили