

В результаті встановлено, що технологія трикотажа привертає увагу вчених і проєктувальників із-за потенціальної можливості виробництва сітчастих заготовок для створення високоякісних текстильних конструкційних матеріалів.

Ключові слова: текстильна преформа, трикотажна заготовка, задана форма, ячеїста структура

KNITTED FABRIC AS PREFORM FOR COMPOSITE MATERIALS

KYZYMCHUK O., ZDORENKO V., ERMOLENKO I.

Kyiv national university of technologies and design

Textiles and textile composite materials are the class of advanced materials that are widely used in different technical and medical purposes. Successful wide using of textile composites is depend on requirement of light composite materials with high strength, rigidity, formability and reliability. In this case the textile industry has biggest opportunities to produce net shape and near net shape fabrics and to use highly automatic methods of weaving, braiding and knitting.

The purpose of this article is to review the knitted materials potential for using as preforms for composites.

As a result, it has been detected that knitting technology attracts attention of scientists and designers because of wide possibility of the net structure production for creating high-quality textile composites.

Keywords: *textile preform, knitted preform, net shape form, net structure*

УДК 621.9.011

КАТРУК О.В., ГНАТЕЙКО Н.В., РУМБЕШТА В.О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ЯВИЩ В ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ

Мета: підвищити якість процесу фрезерування за рахунок стабілізації динаміки процесу.

Методика: теорії стійкості механічних пружних систем та теорії коливань, експериментальні дослідження процесу фрезерування, методи аналізу сигналу вібрації, методи її стабілізації.

Результати: при фрезеруванні завжди мають місце змінні характеристики ПМО, що збурюють пружну ТОС і силу різання. До того ж сама оброблювальна система є багатомасовою, багатоеlementною, пружною системою зі своїми масами, що мають свої різні частоти власних коливань. При затупленні різального інструменту увесь частотний спектр сили різання зміщується в область низьких частот з появою резонансних явищ.

Наукова новизна: досліджено енергорівень резонансу та кінетична енергія руху коливань при механообробі.

Практична значимість: аналіз динаміки ТОС дозволить уникнути появи резонансних явищ при механообробі за рахунок її стабілізації.

Ключові слова: динамічні та резонансні явища, фрезерування тонкостінних деталей, сила різання

Вступ. У роботі досліджуються причини виникнення динамічних коливальних процесів в оброблювальній системі на прикладі фрезерної обробки, в самому процесі різання і в пружній, багатоеlementній механічній системі верстата, їх функціональна взаємозалежність, умови виникнення при цьому резонансних явищ, фізика їх прояву, енергетичного рівня і вплив таких явищ на якість обробки.

Об'єктом дослідження в даній роботі є технологічний процес фрезерної обробки тонкостінних деталей з алюмінію, а предметом дослідження є динамічні та резонансні явища в технологічній системі при фрезеруванні тонкостінних деталей з алюмінію.

Методами дослідження є теорії стійкості механічних пружних систем та їх коливань, експериментальні дослідження процесу фрезерування, методи аналізу сигналу вібрації, наукові основи можливості стабілізації таких явищ.

Постановка завдання. Відомо, що процес фрезерування завжди супроводжується динамічними явищами, які впливають на процес різання, стійкість інструменту і якість обробленої поверхні. Основною причиною виникнення коливань технологічної оброблювальної системи є нестационарність процесу різання [1–5].

Виникнення вібрацій у процесі різання і їх резонансних явищ в оброблювальній системі є значною перешкодою для підвищення продуктивної обробки деталей на верстатах і їх якості. Ця проблема ускладнюється ще й тим, що важко передбачити у кожному випадку, який з параметрів режиму обробки і в яку сторону (зменшення або збільшення) потрібно регулювати для забезпечення стабільності процесу обробки [6].

Відомо, що при механічній обробці спостерігаються два види коливань: вимушені і такі, що збуджуються першими. Вимушені коливання з'являються через періодичності дії збуджуючої сили різання. Вони можуть виникнути внаслідок: переривчастого характеру процесу різання; зношення різального інструменту; нерівномірності припуску заготовки на обробку та її зміщення при закріпленні; дисбалансу складових верстата, деталі і інструменту; дефектів в механізмах верстата [2,3]. Особливо важливим є визначення впливу динаміки окремих складових ТОС на умови виникнення передрезонансних і резонансних явищ, їх механізм і енергетичний рівень, дія та вплив на динамічну стійкість технологічної оброблювальної системи.

Поставлену задачу можна вирішити шляхом математичного моделювання динамічних коливальних процесів в технологічній оброблювальній системі при фрезеруванні.

Результати дослідження. Розмірне зношення інструмента також викликає похибку обробки деталей тому, що виникає невідповідності його фактичних розмірів до розрахункових, які були прийняті при створенні керуючої програми для верстата з ЧПК. Якщо час обробки однієї деталі інструментом значно менше часу його розмірної стійкості, то вплив зношення інструменту може бути враховано шляхом внесення корекції за результатами вимірювання оброблених деталей. З іншої сторони, зношення інструмента підвищує сили різання, в результаті чого зростають деформації ТОС, а також, відповідно, і похибки обробки.

Виникнення неприпустимих вібрацій у процесі різання від резонансних явищ виступає значною перешкодою для продуктивної фрезерної обробки деталі на верстатах. Ця проблема ускладнюється ще й тим, що важко передбачити у кожному випадку, який

з параметрів режиму обробки і в яку сторону (зменшення або збільшення) потрібно регулювати для забезпечення стабільності процесу обробки. Для цього використовують різні способи зниження рівнів віброакустичних випромінювань джерел шуму і вібрації усунення такі як: локалізація шляхів поширення віброакустичних випромінювань; введення додаткових коливань за допомогою антивібраторів; удосконалення організаційних і лікувально-профілактичних заходів на виробництві. Але перспективним є адаптивне регулювання параметрів пружної системи та режимів різання для придушення резонансів.

При різанні збудником автоколивань являється неоднозначна квазіперіодична сила різання і наявності пружних деформацій системи ТОС. А причинами нестабільності сили різання є зміна припуску Δt , твердості матеріалу ΔHB , періодичність стружкоутворення T_p , тертя інструменту і деталі, а також вплив зовнішніх факторів від двигунів верстату тощо. За наявності в системі контакту «деталь-інструмент» самозбудження, малі коливання посилюється до деякої сталої величини з амплітудою, при якій настає рівновага між енергією, що підтримує коливання, і енергією розсіювання.

На якість процесу механічної обробки (ПМО) значно впливають динамічні явища різної природи і інтенсивності у вигляді коливальних процесів її елементів, що виникають в пружній ТОС. Якщо при фрезеруванні на універсальних металорізальних верстатах виникає передрезонансне явище і робітник ще може відстежити і вжити відповідні заходи, то на верстатах з ЧПК таке явище неминуче веде до аварійної ситуації і навіть до поломки. Нажаль глибокого аналізу у технічній літературі в області розвитку резонансних явищ в механічних системах недостатньо.

Умови появи динамічних явищ. Причиною появи динамічних процесів в ТОС, як відомо, являється змінна за величиною і квазіперіодична за часом динамічна складова сили різання $\Delta P_d(\tau)$, що виникає через змінні в часі збурюючі характеристики процесу різання. Встановлено [1], що найбільший вплив на величину $\Delta P_d(\tau)$ при фрезеруванні має варіація глибини різання $\Delta t(\tau)$, де основну роль грають зміщення заготовки при її встановленні і закріпленні в пристосуванні верстата та її геометричні похибки виготовлення. Це викликає зміну припуску і сили різання, що приводить до появи динаміки сили різання $\Delta P_y(\tau)$, діючою з частотою обертання шпинделя в секунду ω_d .

Проте існує ще декілька додаткових збурюючих періодичних сил різання таких як нерівномірність ширини і глибини фрезерування, періодичність врізання і виходу кожного зуба фрези, неоднорідності міцності матеріалу, періодичність стружкоутворення T_p , періодичності зміни сил тертя F_{Tp} , як фрікційно-релаксаційні процеси тертя в зоні контакту інструменту з деталлю і так далі. Тоді загальну змінну силу у напрямі осі Y-Y, яка найбільше впливає на якість обробки, можна представити у вигляді (1,2,4) з урахуванням тимчасового чинника:

$$P_y(\tau) = P_{cp} + \Delta P_{dy}(\tau) \sin \omega_d \tau + \sum_{i=1}^n C_{pi} \cos(\omega_d \tau + \varphi_i) \quad (1)$$

де P_{cp} – середнє значення сили різання, визначуване по відомій залежності;

C_{pi} – силові коефіцієнти змінних додаткових складових сил різання нижчих порядків, в долях енергетичного рівня від головної динамічної складової сили різання в напрямку нормалі $\Delta P_{dy}(\tau)$ у міру їх зменшення за величиною і число яких n ;

$\omega_d \tau$ – часова фаза зміни основної періодичності зміни $\Delta P_{dy}(\tau)$;

φ_i – фазові зміщення векторів додаткових динамічних сил різання відносно осі Y , які формують весь інший високочастотний спектр коливань сили різання $P_y(\tau)$;

i – порядковий їх номер за убаванням енергетичного впливу на динаміку різання.

Такий динамічний режим роботи процесу різання в залежності від часу обробки τ і величини припуску $\Delta t(\tau)$, запишемо як:

$$T_p \frac{d^2 P_y(\tau)}{d\tau^2} + P_y(\tau) = -K_p(\tau) Y \quad (2)$$

де Y – величина пружного відносного коливання деталі і різального інструменту;

$K_p(\tau)$ – коефіцієнт жорсткості різання, що визначається як:

$$K_p(\tau) = \frac{P_y(\tau)}{t(\tau)} \quad (3)$$

При обробці глибина різання $t(\tau)$ періодично міняється ($\pm \Delta t$), що також змінює і силу різання, то $K_p(\tau)$ є також величиною змінною; T_p – час стружкоутворення, як показали дослідження, змінюється зі зміною ω_d і визначає більш високі спектри частот коливань ПМО.

Динамічний коливальний режим $P_y(\tau)$ викликає періодичні, пружні, відносні переміщення деталі і інструменту на величину Y , що призводить до появи пружних коливань елементів ТОС і виникненню вторинного динамічного коливального режиму в цій пружно-дисипативній механічній системі у вигляді автоколивального процесу. Він описується рівнянням [5]:

$$M \frac{d^2 Y}{d\tau^2} + H \frac{dY}{d\tau} + CY = f_{Tp} P_y(\tau) \quad (4)$$

де M – відповідно приведена маса системи; H – її дисипативно-демпфуючі характеристики; C – її жорсткість; f_{Tp} – коефіцієнт тертя при різанні металу.

Функціональна залежність динаміки ТОС у вигляді динамічного оператора W_{YCC} як пружної системи верстата, від основних її показників (4.5) матиме вигляд:

$$W_{YCC} = f(M; H; C; P_y(\tau)) \quad (5)$$

З цього виходить, що автоколивальний процес в ТОС збурюється і підтримується квазіперіодичною зміною силою різання $P_y(\tau)$ та одночасно багато в чому визначається динамічними постійними характеристиками цієї системи M , H і C .

Дослідження коливальних динамічних режимів ПМО і ТОС, і їх фазово-частотних характеристик (ФЧХ) дозволили зробити наступні висновки:

1. ФЧХ ПМО багато в чому визначаються частотою обертання шпинделя ω_d і в процесі обробки можуть мінятися в широкому діапазоні при переході від напівчистових до чистових процесів.

2. При механообробці інструмент зношується і тупиться, через це змінюється T_p і f_{Tp} і ФЧХ ПМО поступово зміщуються в область низьких частот.

3. ФЧХ ТОС багато в чому визначаються динамічними постійними пружно-дисипативної системи, як M , H і C , що обумовлює її певну інертність до зміни ФЧХ ПМО при роботі.

Визначення причин виникнення резонансних явищ. Сама ТОС є багатоеlementною системою зі своїми m_i , c_i і h_i , які мають свій вплив на систему і спотворюють динаміку автоколивань. Усі ці елементи ТОС при роботі залежні до своїх ФЧХ і свого обмеження власної частоти вільних коливань:

$$\omega_{oi} = \sqrt{\frac{C_i}{m_i}} \quad (6)$$

При зміні ФЧХ процесу механічної обробки завжди неминучі випадки, коли динамічні характеристики ω_{di} (1) процесу різання можуть співпадати за частотою і фазою з ω_{oi} , як $\omega_{di} \approx \omega_{oi}$, що призводить до появи резонансу в оброблювальній системі.

Розглянемо механіку і фізику виникнення такого явища при фрезерній обробці на прикладі одного з елементів пружної ТОС. Якщо такий елемент з масою m вивести із стану рівноваги на відстань Y і відпустити, то він почне здійснювати пружні коливання і у кінці кожного ходу на нього діятимуть дві сили:

– сила інерції руху, яка за другим законом Ньютона рівна mY'' (друга похідна сили на прискорення);

– сила пружності системи cY .

За принципом Даламбера у кінці ходу сума діючих на таке тіло сил рівна 0:

$$mY'' + cY = 0 \quad (7)$$

Перетворивши рівняння отримуємо:

$$Y'' + \frac{c}{m}Y = 0 \quad (8)$$

Прийнято замінювати відношення $\frac{c}{m}$ через частоту власних коливань $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$ досліджуваного тіла.

У результаті отримуємо рівняння

$$Y'' + \omega_0^2 Y = 0 \quad (9)$$

При накладенні на такий елемент збурюючої квазіперіодичної сили, що коливається $P_y(\tau)$ (1), у якій основна частота коливання ω_d , то отримуємо рівняння рівноваги сил за Даламбером у будь-який момент часу

$$P_y(\tau) \sin \omega_d \tau - cY - mY'' = 0 \quad (10)$$

або

$$mY'' + cY = P_y(\tau) \sin \omega_d \tau \quad (11)$$

Отримана рівність є неоднорідною, оскільки права його частина не дорівнює нулю. Її можна вирішувати окремими випадками. Розглянемо випадок з умовою, коли елемент з масою m знаходиться на початку руху з координатою Y_0 . Тоді при дії на нього збурення з частотою $\omega_d \tau$ отримуємо рівняння руху такого тіла:

$$Y = Y_0 \sin \omega_d \tau \quad (12)$$

де Y_0 – представляє амплітуду вимушених коливань і вона вибирається з умови задоволення рівняння (11). Двічі продиференціювавши (12) визначимо прискорення такого коливального руху:

$$Y'' = -Y_0 \omega_d^2 \sin \omega_d \tau \quad (13)$$

Підставивши (12) і (13) у вираз (11) отримуємо:

$$-mY_0 \omega_d^2 \sin \omega_d \tau + cY_0 \sin \omega_d \tau = P_y(\tau) \sin \omega_d \tau \quad (14)$$

Після скорочень і перетворень у результаті маємо:

$$cY_0 - mY_0 \omega_d^2 = P_y(\tau) \quad (15)$$

Це дозволяє знайти амплітуду Y_0 таких вимушених коливань елементів пружної системі ТОС:

$$Y_0 = \frac{P_y(\tau)}{c - m\omega_d^2} \quad (16)$$

Замінивши c і m через $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$, знаходимо:

$$Y_0 = \frac{P_y(\tau)}{c(1 - \frac{\omega_d^2}{\omega_0^2})} \quad (17)$$

З отриманого результату виходить, що при таких коливаннях із збуренням з частотою ω_d амплітуда їх Y_0 , при наближенні ω_d до частоти власних коливань ω_0 елементу пружної системи, почне швидко збільшуватися і втягуватися в резонансне явище. Коли виникне особливий випадок при $\omega_{di} \approx \omega_{oi}$, тоді $Y \rightarrow \infty$. Проте через наявності в системі дисипативних чинників амплітуда таких певних коливань має певну межу. Але енергетичний рівень таких коливань дуже великий і призводить до втрати динамічної стабільності ПМО і ТОС.

Досліджуємо такий енергорівень резонансу. Кінетична енергія руху таких коливань елементу з масою m визначається за виразом:

$$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2} \left(\frac{dY_i}{d\tau} \right)^2 \quad (18)$$

Аналіз (17) і (18) показує, що при незмінних c - пружності, m - маси тіла і частоти ω_d амплітуда коливань Y_i росте швидко. Отже, для задоволення рівності, росте з такою ж швидкістю і швидкість переміщення v , причому за квадратичною залежністю і кінетична енергія такого резонансного явища може рости до великих значень, що може привести до втрати якості ПМО і надійності ТОС.

Висновки. При фрезеруванні завжди мають місце змінні характеристики, що збурюють пружну ТОС і силу різання, як цілий ряд збудників динамічних коливальних процесів. Окрім головного динамічного вектора $P_d(\tau)$, діючого з частотою ω_d , в $P_y(\tau)$ присутні збудники динаміки сили різання малих порядків (1), що мають цілий спектр збуджуючих систему частот ω_{di} вищих порядків. До того ж сама оброблювальна система є багатомасовою, багатоелементною, пружною системою зі своїми m_i , що мають свої різні частоти власних коливань ω_{0i} . При затупленні різального інструменту увесь частотний спектр сили різання $P_y(\tau)$ зміщується в область низьких частот.

Усі ці чинники представляють велику вірогідність появи резонансних явищ при механообробці при збігу ω_{di} і ω_{0i} .

Тому розробка і впровадження автоматичних систем керування представляє актуальну проблему підвищення якості обробки.

Список використаної літератури

1. Подураев В.Н., Барзов А.А. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии. – М.: Машиностроение. – 1988. – 56 с.
2. Попов В. И., Локтев В. И. Динамика станков.– К.: Техника, 1975. – 183 с.
3. Гнатейко Н. В. Исследование колебательного процесса станка при механической обработке. // Перспективные технологии, оснастка и подготовка производства. – К.: НТУУ «КПИ», 1997. – С.61-63.
4. Гнатейко Н. В., Румбешта В. А. Анализ динамической устойчивости обрабатывающей системы. //Вибрации в технике и технологиях, 1999. – №12. – С.28-10.
5. Гнатейко Н. В., Румбешта В. О. Методика керування динамікою обробної механічної системи. //Наукові вісті НТУУ «КПИ». – 2002. – №6. – С.55-58.
6. Мельничук П.П. Динаміка процесу торцевого фрезерування при зношуванні різальних елементів / П.П. Мельничук, Я.А. Степчин // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2012. – № 2 (61). – С. 33 – 40.

Стаття надійшла до редакції 24.12.2013

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

КАТРУК А.В., ГНАТЕЙКО Н.В., РУМБЕШТА В.А.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Цель: повысить качество процесса фрезерования за счет стабилизации динамики процесса.

Методика: теории устойчивости механических упругих систем и теории колебаний, экспериментальные исследования процесса фрезерования, методы анализа сигнала вибрации и методы ее стабилизации.

Результаты: при фрезеровании всегда имеют место переменные характеристики ПТО, возмущающие упругую ТОС и силу резания. К тому же обрабатываемая система является многомассовой, многоэлементной, упругой системой со своими массами, имеющих свои разные частоты собственных колебаний. При затуплении режущего инструмента весь частотный спектр силы резания смещается в область низких частот с появлением резонансных явлений.

Научная новизна: исследованы энергоуровень резонанса и кинетическая энергия движения колебаний при механообработке.

Практическая значимость: анализ динамики ТОС позволит избежать появления резонансных явлений при механообработке за счет ее стабилизации.

ANALYSIS OF DYNAMIC PHENOMENA IN ENGINEERING SYSTEM DURING BASIC PARTS CUTTING

KATRUK A., GNATEYKO N., RUMBESHTA V.

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

Purpose: to improve the quality of the milling process by stabilizing the dynamics of the process.

Methodology: the theory of stability of the mechanical elastic systems and oscillation theory, experimental studies of the milling process, the vibration signal analysis techniques and methods to stabilize it.

Findings: during milling variable features of machining process always occur perturbing elastic of technological processing system and cutting force. Besides processing system is multimass, multi-element, elastic system with its masses, having their different natural frequency. When cutting tool is blunt the entire frequency spectrum of the cutting force is shifted to lower frequencies with the advent of resonance phenomena.

Originality: energyrang resonance and kinetic energy of the oscillations for machining are investigated.

Practical value: analysis of the dynamics of technological processing system will allow avoiding the appearance of resonance phenomena in machining due to its stabilization.