

Є.В. Скочко

**ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ ТА РОЗВИТКУ КОЛИВАНЬ
ПРИ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ РІЗАННЯМ**

Розглянуті механізми взаємодії окремих елементів технологічної обробляючої системи і умови їх статичної та динамічної рівноваги. Вивчені умови і причини існування автоколивань, виникнення та розвитку параметричних коливань при обробці деталей різанням.

Відомо, що будь-яка технологічна обробна система (ТОС) в складі верстата, ріжучого інструмента (РІ), заготовки і пристосування представляє собою складну розгалужену замкнуту механічну систему, яка використовується для створення функційних головних та допоміжних відносних енергетичних рухів робочих елементів з метою зняття припуску з заготовки і формоутворення поверхні деталі.

Для вибірного створення певних макрорухів окремих деталей у верстатах використовуються спеціальні обмежувачі ступенів свободи руху (ОССР), які залишають кожній з цих лише один, а рідше два можливих види простого (прямолінійного чи обертового) відносного руху. Серед ОССР найбільше використання знаходять підшипники ковзання та кочення, різні напрямні прямолінійного, гвинтового чи дугового руху, різноманітні упори та гальма, а також перетворювачі простого руху в складний – різного виду кулачки, храпові та мальтійські механізми тощо.

Але відомі ОССР, виконуючи більш-менш якісно функцію отримання заданих макрорухів, представляють собою кінематичні збудники (генератори) мікрорухів вимушених коливань, котрі виникають внаслідок некруглості тіл кочення і бігових доріжок підшипників, хвилястості і шорсткості контактних поверхонь взаємодіючих деталей. Іншими причинами виникнення кінематичних вимушених коливань при різанні на верстатах можуть бути биття зубчастих коліс і шківів, проковзування окремих клинових пасів багатоканавочних шківів внаслідок явища накопичення довжини в умовах різної їх ширини та довжини, а також різної ширини канавок шківів тощо.

Серед відомих силових збудників вимушених коливань слід, по-перше, назвати неврівноваженість патрона, заготовки, зубчастих коліс, муфт та інших обертових деталей; по-друге, – змінність припуску, яка виникає внаслідок биття заготовки; по-третє, змінність напруженого стану заготовки, який виникає внаслідок неспівпадання осей різних баз, зміщення зони обробки та плинного зняття шару припуску тощо; по-четверте, це – електро-, гідродвигуни і насоси та потужні зовнішні відносно ТОС збудники тощо.

Крім відомих, до силових збудників вимушених коливань слід віднести і такі, які утворюються при функціонуванні ТОС – передачі відносного руху і механічної потужності її деталями від двигуна до зони різання, тобто до взаємодіючих РІ та заготовки.

Окремі деталі верстатів та РІ можна класифікувати за видом зв'язку з сусідніми деталями та схемами навантаження робочими зусиллями. Види зв'язку деталей можна поділити на жорсткий нерухомий, м'який з обмеженою рухомістю та рухомий. Підвищення виду і збільшення величини рухомості зв'язку дозволяє при використанні потрібних напрямних для деталей досягти статичного рішення, але значно ускладнює, або робить навіть неможливим динамічне рішення створеного три- чи дволанкового ланцюга. Для кожної з деталей принципово важливою є як внутрішня фізична (параметрична) реакція на передачу кожної з них руху та силового фактора – зусилля чи крутного (обертового) момента, так і зовнішня – від взаємодії з сусідніми попередньою та наступною деталями та напрямною. Розгляд статичного балансу сил дозволяє обмежитись лише діючою, реактивною та врівноважуючою (від напрямної) складовими, які діють на кожну з деталей. В залежності від відносного положення точок (площин чи поверхонь) прикладення зусиль та напрямків дії на деталь сил розрізняють статичні схеми навантаження, які не створюють реактивних моментів (лише один випадок, коли діюча і реактивна сили діють на одній прямій) і значна кількість випадків, коли сили не лежать на одній прямій (діють на паралельних прямих, прикладені до однієї точки і діють під кутами, не рівними 0 та 180 градусів), або прикладені до різних точок деталі і створюють реактивний

момент сил на напрямній. І лише один варіант із вказаного випадку безмоментного врівноваження, коли деталь своїми точками прикладення діючої і реактивної сил охоплює їх ззовні, характеризується безумовною сталою рівновагою. Варіант, коли діюча і реактивна сили, які лежать на одній прямій і мають зовнішні точки прикладення (тобто стискають деталь), характеризуються умовною статичною рівновагою, котра миттєво порушується від дії одного з динамічних факторів: кінематичного (інерційного), потенційного (пружного) та дисипативного (розсіювального). Досягнення сталої рівноваги можливо в цьому варіанті лише при розташуванні лінії розсіювального контакту та центрів жорсткості і маси деталі на лінії дії сил.

При роботі ТОС, внаслідок деформування окремих деталей і стиків, створення і вибирання зазорів між ними, різного виду навантаження деталей, різних мас і моментів інерції окремих деталей, зміни тиску, типу контакту і виду тертя має місце плинне накопичення в найбільш чутливих елементах миттєвої кінетичної енергії в інерційних деталях і миттєвої потенційної енергії – в пружинах, та плинна втрата енергії з перетворенням її в тепло в залежності від маси, інтенсивності і типу деформування деталі чи типу ковзання, виду та параметрів тертя при відносному русі деталей тощо. Приведений механізм часткового перетворення постійної механічної енергії двигуна в змінну (коливальну) енергію деталей мав би місце навіть при постійному навантаженні ТОС, тобто при постійних параметрах зрізу. Це пояснюється плинністю в часі всіх динамічних процесів з різним фазовим зсувом окремих з них. Змінність ширини зрізу, яка має місце внаслідок непостійності величини припуску, породжує поштовхи (тобто зміну сил різання), які розповсюджуються від зони різання по обидва боки кінематичного ланцюга у вигляді деформаційних хвиль, котрі миттєво змінюють види, типи та інтенсивність контактів деталей і викликають в залежності від конструкції і типу навантаження різні види та інтенсивності деформації деталей. В результаті дії вказаного механізму спостерігається розвиток коливальних процесів з підсиленням амплітуди коливань при співпаданні частоти поштовхів з власною частотою деталі або їх зменшення при розсіюванні енергії в матеріалі деталей, а особливо на їх стиках, рухомих або нерухомих.

Паралельно з виникненням деформаційних хвиль на вітках кінематичного ланцюга від дії поштовху та в зв'язку з інерційними властивостями деталей виникає безпосередня дуже чутлива (у зв'язку з нелінійною та початковою м'якою, порівняно з відповідними контактами деталей машин, характеристикою контакту РІ з заготовкою) реакція леза та заготовки, яка виражається в мікросміні миттєвого просторового положення леза та миттєвого мікроповороту заготовки чи РІ навколо точки леза найбільш напруженого контакту. Це явище універсальне і спостерігається як при токарних видах обробки, при роботі осьових РІ, так і при обробці інструментами фрезерного типу. Розподіл величини та фази деформацій корпусу РІ та заготовки визначається їх енергоакумулюючими властивостями. Наслідком загальної відносної деформації РІ та заготовки має місце локальне погіршення якості обробленої поверхні та миттєве підвищення інтенсивності зносу РІ. Пояснення цього явища може бути зроблене шляхом розгляду двох паралельних ланок контактної пари "зона різання", окремо по передній і задній поверхнях леза, ввімкнутих в кінематичний ланцюг ТОС (рис. 1). Будемо вважати прямим зв'язок в ланці "недеформоване тіло заготовки – пружне поле стиску напроти передньої поверхні леза – пластична рухома зона стиску-зсуву – пластична та пружна зони рухомого контакту стружки – передня поверхня леза – тіло леза – державка різця – різцетримач". Тоді зв'язок у ланці "недеформоване тіло заготовки – пружне поле стиску напроти задньої поверхні леза – пластична зона зсуву поверхневого шару поверхонь різання та обробленої – пластичний рухомий змінний контакт задньої поверхні леза з поверхнею різання – задня поверхня леза – тіло леза – державка різця – різцетримач" слід вважати зворотним. У зв'язку з тим, що при обробці лезовими РІ найбільшою складовою сили різання є тангенційна, а момент інерції більшості РІ в цьому напрямку найменший, то зрозуміло, що первинна деформація буде протікати саме в цьому напрямку – протилежному для РІ та заготовки. Подальша виникаюча просторова траєкторія відносних окремих рухів РІ та заготовки буде визначатись як внутрішньою накопиченою енергією кожного, так і зовнішнім опором в їх зоні контакту. Враховуючи те, що дія миттєвих сил різання не проходить через центри жорсткості та центри мас закріплених корпусів РІ, тому виникають миттєві моменти сил і деформації в просторових напрямках найменшого динамічного опору, тобто в напрямках полегшеного підсилення коливної енергії. У зв'язку з тим, що головні радіус-вектори точок ріжучої кромки токарного різця,

ножа фрези тощо відносно центрів жорсткості і центрів мас нахилені до площини різання під більшими кутами, ніж результуюча сил різання, то в результаті після початкової тангенційної деформації державки РІ миттєво подовжується проекція вказаних радіус-векторів на нормаль до поверхні різання і відповідно в зоні контакту задньої поверхні леза миттєво і нелінійно підвищується тиск, збільшується площа контакту та величина сили, що викликає збільшення протилежних деформацій державки РІ та заготовки, тобто спостерігається явище, відоме в техніці, як реакція типу "позитивний зворотний зв'язок" (ПЗЗ). Тобто вплив ПЗЗ направлений на збільшення відхилення системи "РІ – заготовка" разом з частиною примикаючих віток ТОС відносно попереднього миттєвого деформованого стану, що означає підсилення амплітуди коливань. Такий ПЗЗ можна характеризувати коефіцієнтом, котрий вимірюється відношенням миттєвих деформацій РІ: паразитної нелінійної нормальної до першородної дотичної відносно поверхні різання. У зв'язку з неспівпаданням напрямку дії результуючої сили різання, напрямку найбільшого динамічного опору і напрямку з найменшим коефіцієнтом ПЗЗ та протіканням окремих процесів (зсуву, стружкоутворення, деформацій тощо) в часі майже завжди при різанні створюється відносна просторова траєкторія коливань РІ. Наявність ПЗЗ в будь-якій ТОС є достатньою умовою виникнення автоколивань при різанні.

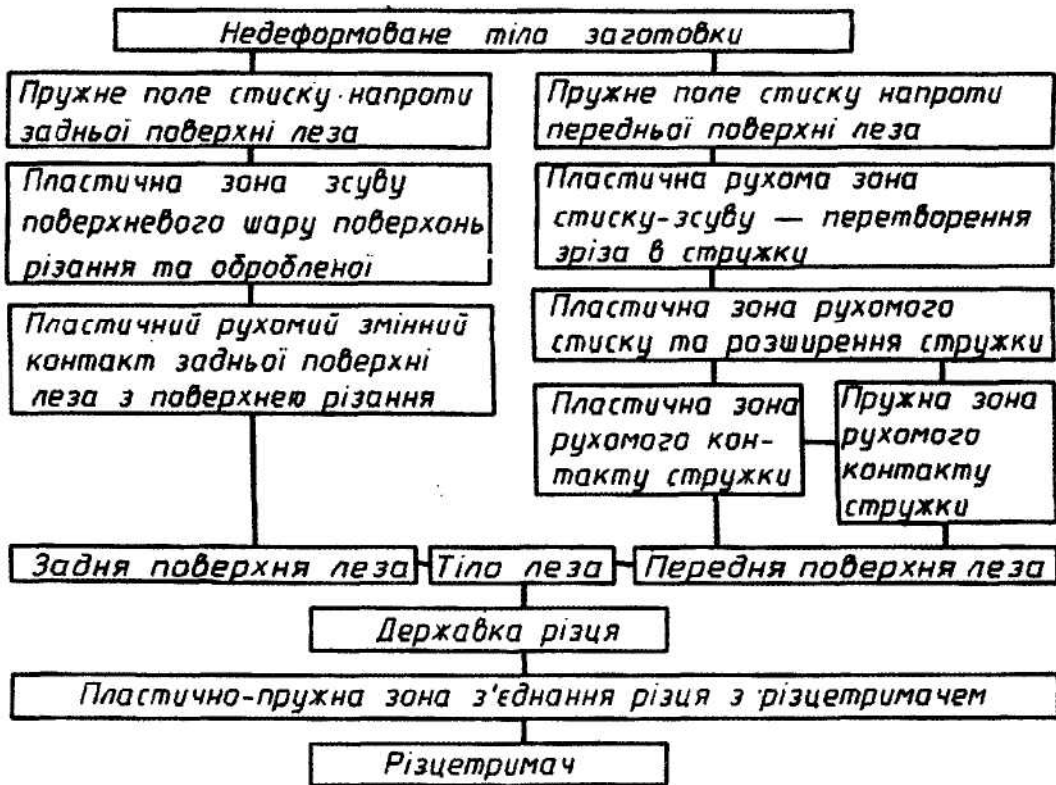


Рис. 1

Але слід зазначити, що згідно з визначенням, автоколивання відбуваються тільки в стаціонарних, неконсервативних, автономних системах, тобто існують за рахунок внутрішніх джерел енергії **неколивної** природи. Збудником значної більшості коливань при різанні є коливний слід від переднього проходу РІ. І тому слід вважати, що розповсюдженість автоколивань при різанні досить обмежена. В дослідженнях вчених зустрічається поняття "регенеративні коливання", яке нами вважається некоректним. Відомо, що при малих значеннях допоміжних кутів в плані при коливаннях можлива взаємодія не тільки з попереднім, а й з іншими слідами на поверхні різання. При таких взаємодіях змінюються миттєві значення товщини і ширини зрізу. Все це ознаки параметричних коливань, коли останні підтримуються параметричним збуренням – реакцією системи, яка має коливну природу і протікає на одній із власних частот найбільш чутливого і найбільш енергонакопичуючого елемента зони різання (наприклад, токарного різця).

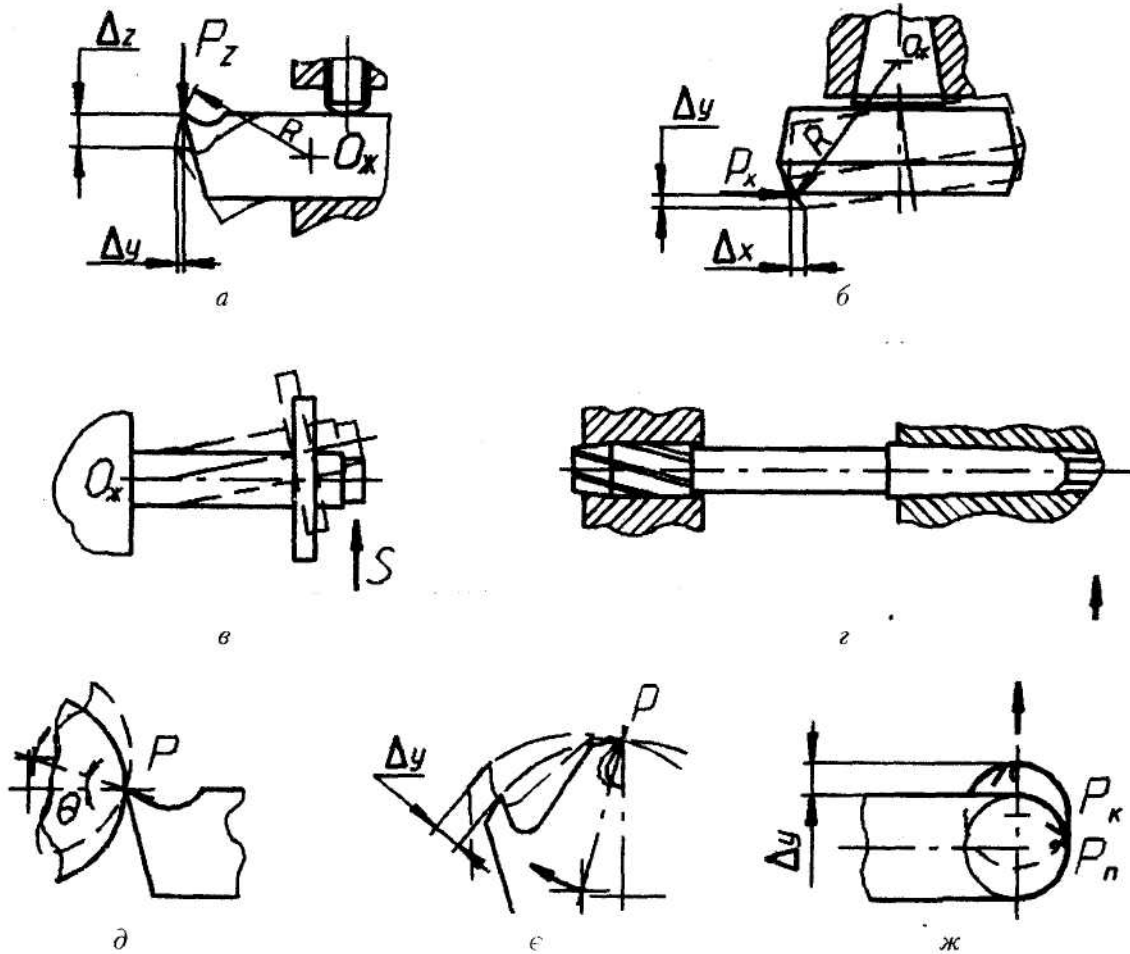


Рис. 2

ПЗЗ характеризуються не тільки токарні різці (рис. 2, а), а й супорти токарних верстатів (їх центри жорсткості і центри мас знаходяться нижче вершини різця). Такі ж характеристики мають торцеві і кінцеві фрези малих та середніх розмірів ($D = (0.1...2)L$, де L – довжина фрези) – (рис. 2, б), а також дискові фрези, які закріплені на консольних оправках (рис. 2, в). Найбільш яскравим прикладом дії ПЗЗ є обробка отворів осьовими РІ з гвинтовими лезами, напрям яких співпадає з напрямом робочого обертання (рис. 2, г). При обробці наскрізних отворів гвинтовими свердлами на їх виході значно зменшується осьова сила, що викликає миттєве подовження свердел і збільшення товщини зрізу. Наслідком буває закручування РІ в недосвердлений отвір (як в гайку) і висмикування кінцевого хвостовика з отвору шпинделя. Аналогічна картина спостерігається при роботі кінчних свердел та розверток, котельних розверток та розверток при обробці отворів з поздовжнім пазом. При відносно малих масі та жорсткості токарної заготовки (рис. 2, д) або осьового інструмента (рис. 2, е) спостерігається явище раптового (чи коливного) повороту навколо миттєвого центра P – ріжучої кромки, яке породжує миттєву зміну геометричних параметрів, збільшення товщини і ширини зрізу наступним зубом, що створює огранку отвору, або при фрезеруванні пазу кінцевою фрезою (рис. 2, ж) після виключення подачі створюється поперечна похибка пазу.

Розкриті механізми виникнення та розвитку коливань при обробці деталей різанням дозволяють шукати шляхи боротьби з ними.

СКОЧКО Євген Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- теорія різання;
- металорізальні верстати та різальні інструменти.