

УДК: 621.941.01:534.1

Головний тренд сучасної науки про різання металів

Петраков Ю.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація. Представлений аналіз нових технологій, спрямованих на дослідження динамічних процесів, що відбуваються в процесі різання. Зазначено, що математична модель процесу різання має будуватися з урахуванням замкненості пружної технологічної обробляючої системи і функції запізнюючого аргументу, який представляє оброблення за слідом. При дослідженні процесу різання урахуються чотири основні групи факторів, що впливають на його математичне представлення, а для визначення діаграми сталості (*stability lobe diagram*) використовуються три підходи: частотний аналіз, аналіз коренів характеристичного рівняння руху і чисельний метод. Найбільш результативним вважається чисельний метод з використанням амплітудно-частотних характеристик за відповідним критерієм сталості. Результати теоретичних досліджень використовуються на практиці у вигляді технологій, спрямованих на усунення вібрацій. Такі технології розділяються на пасивні (*Passive Chatter Control*) і активні (*Active Chatter Control*). Пропонується усувати вібрації (їх головну гармоніку) за рахунок створення додаткового замкненого ланцюга, який надає в канал формуютьуючого руху гармонічний сигнал, амплітуда і фаза якого автоматично підлаштовуються з використанням алгоритму пошуку Гауса-Зейделя.

Ключові слова: вібрації, процес різання, математична модель, сталість процесу різання.

Процес різання завжди здійснюється в пружній замкненій технологічній обробляючій системі (ТОС) та обов'язково супроводжується вібраціями. Замкненість ТОС проявляється у тому, що сила різання, яка залежить від режиму різання, викликає пружні деформації, що змінюють параметри шару припуску, якой зрізується, а це, в свою чергу, змінює силу різання і так далі. Вібрації, що виникають, в залежності від амплітуди можуть зовсім незначуще впливати на результат оброблення, а можуть привести до катастрофічної втрати сталості всього процесу. В будь-якому випадку всі дослідники сходяться на тому, що саме вібрації є фактором, який в решті-решт визначає продуктивність процесу різання та якість обробленої поверхні.

Наразі можна констатувати, що розвиток науки про різання металів досяг такого рівня, коли у сполученні теоретичних знань моделювання сучасними засобами обчислювальної техніки з широкими засобами з управління процесом, які надають верстати з ЧПК, з'являються можливості контролювати таке явище. Тому останнім часом різко збільшується кількість досліджень, присвячених розробці технологій здатних передбачати, ідентифікувати і подавляти вібрації при різанні (рис. 1) [1].

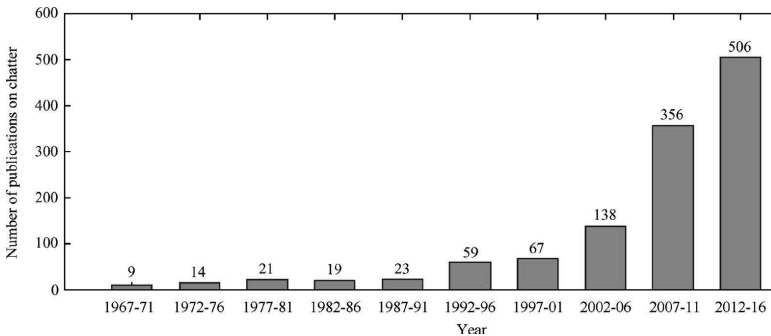


Рис.1. Кількість публікацій провідних видань світу з вібрацій при різанні

Метою таких технологій є теоретичні розробки зі створення математичних моделей, здатних адекватно представляти процеси різання, на підставі яких здійснюються технології практичного застосування з усунення вібрацій при різанні для різних видів оброблення: точіння, фрезерування, шліфування тощо.

Всі дослідники розрізняють в основному три типи вібрацій в залежності від причин виникнення: вільні коливання системи, вимушені вібрації та самозбуджуючі (регенеративні) коливання. Проте, при побудові математичної моделі процесу в основному ураховуються чотири групи факторів, а математична модель будується з одним, двома, трьома або чотирма ступенями вільності в представленні одномасової динамічної моделі [2, 3].

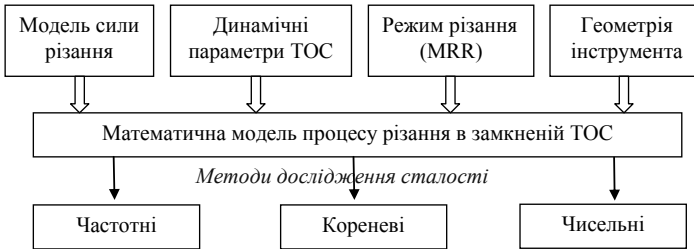


Рис.2. Структура дослідження сталості

Дослідження на сталість з метою побудови стабільної області (так званих “stability lobe diagram”) в координатах глибина (ширина) різання – швидкість різання виконується трьома методами (рис.2). Результати таких досліджень надають можливість призначення режимів різання, що знижують вірогідність виникнення вібрацій при різанні. Використання чисельних методів при дослідженні моделі з функцією запізнення в поєднанні з визначенням сталості за частотними критеріями дають реальні результати [4].

Методи усунення вібрацій при різанні на практиці можна розділити на два напрямки: пасивний (Passive Chatter Control – PCC) і активний (Active Chatter Control – ACC) контроль.

До методів пасивного контролю відносяться різні види динамічних компенсаторів коливань, що виконуються конструктивно як додаткові маси, приєднані до елемента верстата, який безпосередньо здійснює процес різання, через пружний зв'язок з демпфіруванням. Іноді параметри таких пристроїв можуть автоматично підлаштовуватись, адаптуватись до фактичних умов різання (Adaptive Turning Mass Damper – ATMD). Крім того, до пасивних відносяться також методи управління частотою обертання шпинделя верстата (Spindle Speed Variation – SSV), використання інструментів, зазвичай фрез, зі змінним кроком зубців тощо [5, 6].

Останнім часом стрімко впроваджуються технології активного усунення вібрацій. Всі такі технології так чи інакше побудовані на використанні принципів автоматичного управління систем зі зворотним зв'язком, коли сигнал від датчика вібрацій використовується для придушення самих вібрацій. Серед них можна виділити використання п'єзо та магнітострікційних приводів, вібраційних магнітних пристроїв, що встановлюються на шпинделі. Зазначається, що такі технології дозволяють підвищити на 50% граничну глибину різання [7, 8]. Окремо слід виділити роботи, що започатковані на кафедрі технології машинобудування КПІ ім. Ігоря Сікорського. Пропонується усувати вібрації (їх головну гармоніку) за рахунок створення додаткового замкненого ланцюга, який надає в канал формуютьуючого руху гармонічний сигнал, амплітуда і фаза якого автоматично підлаштовуються з використанням алгоритму пошуку Гауса-Зейделя.

The main trend of modern science about metal cutting

Petrakov Y.

Annotation. The analysis of new technologies aimed at the study of dynamic processes occurring in the process of cutting is presented. It is noted that a mathematical model of the cutting process should be built taking into account the closure of the elastic technological processing system and the function of the retarded argument, which represents the processing on the trail. When studying the cutting process, four main groups of factors affecting its mathematical representation are taken into account, and to determine the stability lobe diagram, three approaches are used: frequency analysis, root analysis of the characteristic equation of motion of the system and numerical method. The numerical method using amplitude-frequency characteristics according to the corresponding stability criterion is considered to be the most effective. The results of theoretical studies are used in practice in the form of technologies aimed at eliminating vibrations. Such technologies are divided into passive (Passive Chatter Control) and active (Active Chatter Control). It is proposed to eliminate vibrations (their main harmonic) by creating an additional closed system that introduces a harmonious signal into the shaping motion channel, the amplitude and phase of which are automatically adjusted using the Gauss-Seidel search algorithm.

Key words: Chatter, cutting process, mathematical model, stability of the cutting process.

Главный тренд современной науки про резание металлов

Петраков Ю.В.

Аннотация. Представлен анализ новых технологий, направленных на исследование динамических процессов, происходящих в процессе резания. Отмечено, что математическая модель процесса резания должна строиться с учетом замкнутости упругой технологической обрабатывающей системы и функции запаздывающего аргумента, который представляет обработку по следу. При исследовании процесса резания учитываются четыре основные группы факторов, влияющих на его математическое представление, а для определения диаграммы устойчивости (stability lobe diagram) используются три подхода: частотный анализ, анализ корней характеристического уравнения движения системы и численный метод. Наиболее результативным считается численный метод с использованием амплитудно-частотных характеристик по соответствующему критерию устойчивости. Результаты теоретических исследований используются на практике в виде технологий, направленных на устранение вибраций. Такие технологии разделяются на пассивные (Passive Chatter Control) и активные (Active Chatter Control). Предлагается устранять вибрации (их главную гармонику) за счет создания дополнительной замкнутой системы, вносящей в канал формообразующего движения гармоничный сигнал, амплитуда и фаза которого автоматически подстраиваются с использованием алгоритма поиска Гаусса-Зейделя.

Ключевые слова: вибрации, процесс резания, математическая модель, устойчивость процесса резания.

Список літератури

1. Yue C., Gao H., Liu X., Liang S., Wang L. A review of chatter vibration research in milling // Chinese Journal of Aeronautics, (2019), 32(2): pp.215–242.
2. Altintas Y. Manufacturing automation : metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design / Cambridge University Press, New York, NY 10013-2473, USA 2012, 366p.
3. Stephenson D., Agapiou J. Metal cutting. Theory and practice. / CRC Press Taylor & Francis Group, 956p.
4. Петраков Ю. В., Трибрат К. О. Моделивання автоколивань при токарному обробленні // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк, 2019. Випуск № 66, с.263–270.
5. Moradi H, Movahhedy MR, Vossoughi G. Tunable vibration absorber for improving milling stability with tool wear and process damping effects. Mech Mach Theory 2012;52:59–77.
6. Петраков Ю. В., Трибрат К. О. Забезпечення динамічних характеристик технологічної оброблювальної системи / МАТЕРІАЛИ XVIII Міжнародної науково-практичної конференції, «МАШИНОБУДУВАННЯ ОЧИМА МОЛОДИХ: прогресивні ідеї – наука – виробництво», Краматорськ, 2018, с.152-155.
7. Munoa J, Mancisidor I, Loix N, Uriarte LG, Barcena R. Chatter suppression in ram type travelling column milling machines using a biaxial inertial actuator. CIRP Ann- Manuf Technol 2013;62 (1):407–10.
8. Sallèse L, Innocenti G, Grossi N, et al. Mitigation of chatter instabilities in milling using an active fixture with a novel control strategy. Int J Adv Manuf Technol 2017;89(9–12):2771–87.