

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ДИНАМІЧНІ ЯВИЩА В ПРОЦЕСАХ НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Анотація. Досліджено закономірності сили різання в методах зубооброблення, які базуються на неперервному генеруванні зубчастих профілів, в ході яких виникають піки сили різання. Досліджено закономірності формування ударних навантажень на стадії врізання в результаті миттєвого контакту інструментів з заготовкою, а також періодичних коливань сили різання в результаті нерівномірності зрізуваних шарів. В процесі неперервного обточування такі навантаження стають циклічними та спричиняють коливання і вібрації в пружній системі верстатів. Отримані результати дають змогу знаходити оптимальні умови та робочі режими, які нівелюють негативний вплив цих явищ на процеси нарізання зубчастих коліс.

Ключові слова: зубчасті колеса, стадії врізання та усталеного різання, динамічні навантаження, пружні коливання, вібрації

Зубчасті колеса були і залишаються невід'ємними складовими сучасних машин та механізмів, які на найближчу і віддалену перспективу не втратять свого значення. За результатами аналізу ринку [1] щорічні обсяги їх виробництва збільшуються на 4 – 6% та зростають вкладення у цю галузь. В таких умовах актуальною проблемою для сучасного машинобудування є удосконалення традиційних та створення нових методів виготовлення зубчастих коліс та шестірень. Найбільш поширеним методом до цього часу було черв'ячне зубофрезерування, проте за останні роки все ширшого розповсюдження набуває метод Power skiving. Проблемам зубчастих коліс та передач і технологій їх виготовлення присвячені дослідження, які ведуться протягом тривалого часу у Львівській політехніці. Зокрема, за період 2003-2021 р.р. тут розроблено наукові основи високоефективної технології їх виготовлення – радіально-коловий метод зубонарізання (РКМ). Кожен з вказаних методів належить до методів неперервного обточування, має свої переваги та обмеження, а також оптимальні галузі використання. Разом з тим, їх дослідження та аналіз, які проводилися у Львівській політехніці на основі розроблених комп'ютерних моделей показали, що кожному з цих методів присутні спільні недоліки. В їх основі лежить те, що вони відбуваються з періодичним контактом зубців інструменту з колесом, яке нарізають. В результаті під час оброблення виникають умови для ударних навантажень, які мають періодичний і циклічний характер та зумовлюють пружні коливання і вібрації пружної системи верстатів під час їх роботи.

З точки зору інтенсивності динамічних явищ найбільш несприятливі умови роботи виникають на етапі врізання, коли інструменти на кожному оберті в циклі осьової подачі стикаються з торцем заготовки в ділянці ще несформованої впадини між зубцями. Прикладом цього можуть служити графіки зміни сили різання на зубцях дискового різця на другому оберті при врізанні в методі Power skiving (рис.1,а). Внаслідок торцевого перекриття у верстатному зачепленні перебуває декілька зубців інструменту, в результаті чого сила різання зростає і в неперервному процесі різання-формування вона стає циклічною та змінюється з певною частотою і амплітудою (рис.1, б, в). Для порівняння на рис.1,в показано силу на стадії усталеного різання, коли припуск усувається з поверхні сформованої впадини між зубцями колеса: сила різання зменшується у два рази за розмахом і в 1,8 рази за амплітудою.

Циклічний характер навантаження виникає також під час стаціонарного різання, а причиною цього є нерівномірність припуску, який усувається при утворенні зубчастих профілів. В усіх методах, які були досліджені найбільший припуск і, відповідно, максимальне навантаження припадає на декілька зубців в активній ділянці інструменту, які зрізають максимальну частину металу і де виникають максимальні сили різання, як це видно з рис.2,а для черв'ячного зубофрезерування. В циклі осьової подачі та неперервного обертання інструменту це створює нерівномірність сили різання (рис.2,б), викликає інтенсивні коливання і вібрації в кінематичних

ланцюгах інструментів і заготовок, та стає причиною погіршення якості оброблення, зменшення стійкості інструменту та пришвидшеного спрацювання верстатів.

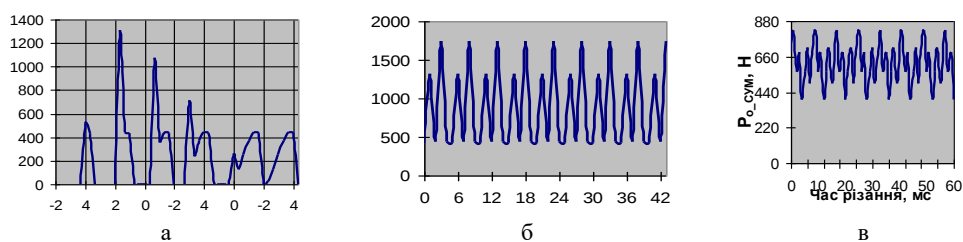


Рис.2. Стрибки сили різання під час врізання (а), сила неперервного різання під час другого проходу при врізанні (б) та у стаціонарному різанні (в) у методі Power skiving

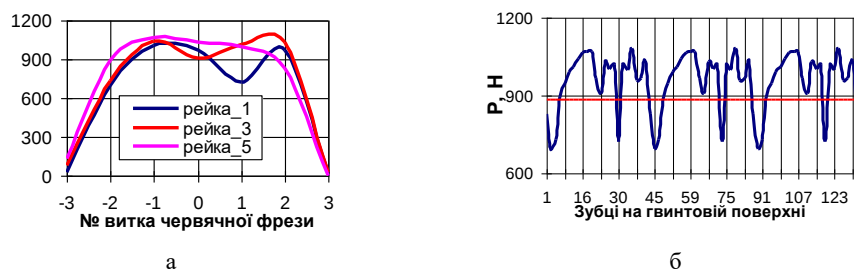


Рис.3. Сила різання на обертах черв'ячної фрези (а) та сумарна сила різання (б)

Результати моделювання основних процесів зубооброблення дають можливість вирішувати задачу призначення раціональних режимів та умов оброблення в кожному з розглянутих методів. Для зменшення пікових навантажень в процесі врізання і в часі усталеного різання на основі даних, отриманих комп'ютерною симуляцією можна вибрати таку подачу, призначити такі значення глибини різання та кількості проходів, які забезпечать мінімальні удари та пікові величини сили різання, а також її амплітуду і розмах в процесі обробки, при яких будуть забезпечені необхідна точність обробки, стійкість інструментів і задана продуктивність операцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Global Gear Technology Market by Technology by Geographic Scope and Forecast; Verified Market Research, USA, 2021

Грицай Ігор Євгенович, д.т.н., професор, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, ihor.y.hrytsai@lpnu.ua

Столяр Богдан Тарасович, аспірант, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, bohdan.t.stoliar@lpnu.ua

DYNAMIC PHENOMENA IN THE PROCESS OF GEAR CUTTING

Abstract. The patterns of cutting force in gear cutting methods in which cutting force peaks occur have been studied. The patterns of shock load formation at the cutting stage as a result of instantaneous contact of tools with the workpiece, as well as periodic fluctuations in cutting force as a result of unevenness of the cut layers, have been studied. In the process of continuous rolling, such loads become cyclic and cause oscillations and vibrations in the elastic system of machine tools. The results obtained make it possible to find optimal conditions and operating modes that eliminate the negative impact of these phenomena on the processes of cutting gears.

Keywords: gears, in-cutting and steady cutting stages, dynamic loads, elastic oscillations, vibrations

Hrytsai Ihor, Dr. Sc., professor, Lviv Polytechnic National University, Lviv, ihor.y.hrytsai@lpnu.ua

Stoliar Bohdan, postgraduate, Lviv Polytechnic National University, Lviv, bohdan.t.stoliar@lpnu.ua