

Крепак О.С., Кудінова К.В., Манойлов О.В., Гагарін В.О.

ПІДВИЩЕННЯ ВІБРОСТІЙКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ШВИДКІСНОГО ЗУБОФРЕЗЕРУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ КОЛІС ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕНЬ КОНСТРУКЦІЙ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ФРЕЗ

Розглянуто проблему забезпечення надійного безвібраційного функціонування технологічної системи зубофрезерування циліндричних коліс черв'ячними фрезами.

У результаті проведених робіт доведена ефективність застосування способу зменшення вібрації при зубонарізанні черв'ячними фрезами, який полягає в керуванні геометричними параметрами, а саме кутами нахилу суміжних стружкових канавок.

Виконано оптимізацію різниці кутів нахилу суміжних канавок і надані практичні рекомендації з призначення їхніх величин. За результатами проведеного аналізу виявлено, що найбільшого ефекту від застосування розглянутих конструкцій зуборізних інструментів здатні забезпечити їхні збірні варіанти.

Прогнозоване значне зростання стійкості збірних черв'ячних фрез спроектованих за наведеними рекомендаціями, а також підвищення надійності їхнього функціонування у складі технологічної системи.

Ключові слова. *Зубофрезерування, фреза черв'ячна, вібростійкість, технологічна система, оптимізація.*

Постановка проблеми. Характерними рисами сучасних тенденцій розвитку технологій металооброблення є впровадження інноваційних високотехнологічних методів, глибока модернізація концепцій оброблення традиційними методами, а також широке впровадження у виробничі процеси комп'ютерно-інтегрованих технологій. Ефективним перспективним способом підвищення продуктивності зубофрезерування циліндричних коліс є радикальне підвищення швидкостей різання за рахунок застосування черв'ячних фрез з різальною частиною з твердих сплавів, ПКНБ та ефективних зносостійких покривів. Проте впровадження технологій високошвидкісного різання (HSC) в процеси зубофрезерування висуває низку специфічних вимог до технологічної системи і її елементів. Однією з таких вимог є забезпечення надійного безвібраційного функціонування технологічної системи. Адже виникнення вібрацій є одним з тих чинників, які стримують впровадження високошвидкісного оброблення. Відтак, проблема, розглянута у статті є актуальною.

Мета дослідження. обґрунтування способу зменшення вібрацій при зубофрезеруванні за рахунок керування геометричними параметрами зуборізного інструменту.

Основний матеріал дослідження. Циліндричні зубчасті передачі набули значного поширення в машинах найрізноманітнішого призначення, адже якість виготовлення зубчастих передач значною мірою впливає на показники якості і надійності усієї машини. Незважаючи на сучасні тенденції скорочення кінематичних ланцюгів механізмів, аж до впровадження приводів прямої дії, обсяги виробництва зубчастих коліс продовжують зростати і змушують активно впроваджувати нові технологічні методи їхнього виготовлення і удосконалювати традиційні технології.

Використовувані у цьому процесі черв'ячні зуборізні фрези є одним з найскладніших і найдорожчих видів металорізального інструменту. Відтак пошук шляхів підвищення ефективності використання цього інструменту є досить поширеною виробничою проблемою.

Останнім часом в практику зубонарізання активно впроваджуються технології високошвидкісного різання, в основу яких покладене використання інструментів з

інноваційних інструментальних матеріалів на швидкісних спеціалізованих зубофрезерних верстатах, а також на багатоцільових верстатах та оброблювальних центрах з ЧПК. Суттєве підвищення швидкісних параметрів режиму оброблення накладає додаткових вимог до елементів технологічної системи. Однією з найхарактерніших з таких вимог є забезпечення таких умов оброблення, за яких виключається виникнення вібрацій.

У практиці оброблення різанням відомі різні способи подолання вібрацій. Наприклад, провідними виробниками різального інструменту пропонуються спеціальні антивібраційні фрезерні адаптери типу Silent Tools та їхні аналоги, в яких антивібраційний ефект досягається за рахунок вібропоглинальної дії спеціального демпфера, який є обов'язковим елементом подібних конструкцій. Проте такі адаптери мають певні обмеження у застосуванні і вимагають відповідного висококваліфікованого налаштування на режимні параметри оброблення, що спільно з відчутною їхньою вартістю обмежує універсальність їхнього застосування і поширюється головним чином на прецизійне оброблення.

Альтернативним напрямом вважається розроблення конструкцій різальних інструментів, функціонування яких створює умови, які перешкоджають виникненню вібрацій.

Залежно від використаних конструктивних способів зменшення вібраційної дії черв'ячні зуборізні фрези можна поділити на три групи [9]:

— черв'ячні зуборізні фрези, зменшення вібраційної дії яких забезпечується створенням неузгодженого характеру роботи суміжних різальних лез шляхом надання їм різних за величиною геометричних параметрів. До цієї групи відносяться черв'ячні фрези зі змінним круговим кроком стружкових канавок; з чергуванням гвинтових стружкових канавок різного нахилу (рис. 1); з чергуванням прямих і гвинтових стружкових канавок (рис. 2); із гвинтовими стружковими канавками змінного ходу; а також — певним чином — фрези з передніми поверхнями, форма яких є змінною уздовж осі інструменту;

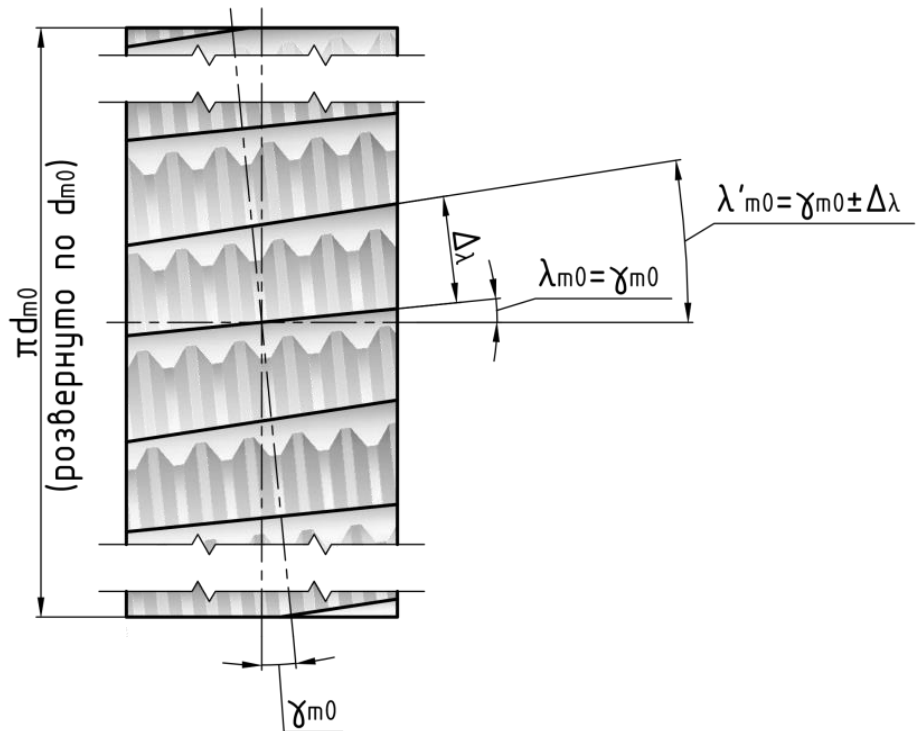


Рисунок 1 — Принципова схема черв'ячної зуборізної фрези з чергуванням стружкових канавок різного нахилу

Машинобудування і зварювальне виробництво

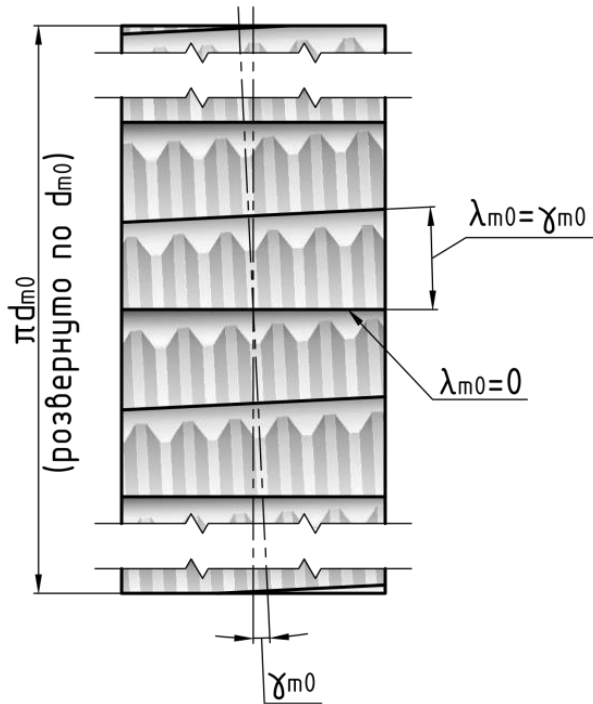


Рисунок 2 – Принципова схема черв'ячної зуборізної фрези з чергуванням суміжних прямих і гвинтових стружкових канавок

— черв'ячні зуборізні фрези, конструкція яких передбачає наявність демпфувальних елементів; наприклад: фрези з калібрувальними стабілізуючими зубцями спеціального профілю, які чергуються із суміжними з ними різальними зубцями. Окрім свого основного технологічного призначення — пластичного деформування оброблених поверхонь — такі калібрувальні зубці виконують функцію своєрідних демпферів, що стабілізують процес оброблення;

— черв'ячні зуборізні фрези з раціональними геометричними параметрами зубців, що забезпечують сприятливі умови оброблення за рахунок зменшення силових характеристик процесу різання; відповідно, підвищення вібростійкості процесу зубофрезерування такими інструментами досягається за рахунок зменшення збурювальних сил. До цієї групи інструментів відносяться, зокрема, черв'ячні зуборізні фрези з увігненими передніми поверхнями зубців, що призначені насамперед для оброблення коліс середніх і великих модулів.

Основною умовою досягнення підвищеної вібростійкості багатолезового різання є неузгодженість силових і часових характеристик роботи суміжних різальних лез інструментів шляхом надання їм змінних через зубець геометричних параметрів. При цьому необхідно керуватися наступними основними умовами.

По-перше, варійований в процесі модифікації параметр повинен однозначно впливати перш за все на характеристики різання, що дозволить керувати значеннями цих характеристик для суміжних різальних елементів окремо і у взаємозв'язку, що у свою чергу дозволяє досягти підвищення вібростійкості динамічної системи.

По-друге, похибки, що вносяться до положення профілювальних ділянок різальних кромок фрези при модифікації, повинні бути в допустимих границях, встановлених для інструментів даного виду і класу точності. Це обумовлене особливостями профілеутворення за методом обкатки, коли точність нарізання зубчастого вінця значною мірою визначається

Машинобудування і зварювальне виробництво

точністю профілю зубців інструменту. Технологічні похибки виготовлення модифікованих черв'ячних зуборізних фрез розглянутих конструкцій повинні бути враховані при розробленні технології остаточного оброблення зубчастих поверхонь шліфуванням або іншими способами обробки.

Відомо, що виконання зубців багатьох видів обертальних різальних інструментів з різним нахилом різальних зубців справляє позитивного впливу на стійкість інструменту, шорсткість обробленої поверхні та продуктивність оброблення. Подібний ефект спостерігається і при використанні черв'ячних зуборізних фрез суцільної конструкції [8]. У практиці зубонарізання відомі черв'ячні фрези з чергуванням стружкових канавок різного нахилу, наприклад чорнові багатосекційні черв'ячні фрези конструкції компанії «Klingelberg». Гвинтові стружкові канавки кожної секції цих фрез мають різний нахил, причому косинус кута нахилу у суміжних гвинтових канавок змінює свій знак на протилежний. Це забезпечує сприятливі умови різання різальними кромками лез суміжних секцій. Проте ці фрези мають низку обмежень у застосуванні внаслідок властивого їм спотворення профілю нарізуваних коліс; тому застосування цих фрез поширюється лише на окремі випадки попереднього оброблення.

На жаль, на сьогодні методики проектування інструментів розглянутого призначення розроблені недостатньо для їхнього використання в інженерній практиці, і для їхнього впровадження значну частку процесу проектування продовжує становити експериментальна складова.

Значного вкладу у розвиток наукових основ проектування різальних інструментів так званої зменшеної віброактивності вніс доцент кафедри «Металорізальні верстати та інструменти» Приазовського державного технічного університету О. С. Крепак. У його роботах були досліджена динаміка процесів багатолезового оброблення різанням, обґрунтовані принципи проектування вібростійких багатолезових інструментів з чергуванням зубців різного напрямку, систематизовані рекомендації щодо призначення оптимальних геометричних параметрів таких інструментів, розширене застосування даних принципів на зуборізні інструменти, зокрема, запропонована гама вібростійких конструкцій черв'ячних зуборізних фрез середніх і великих модулів [4-7].

Випробування показали, що стійкість черв'ячних фрез зі стандартним профілем зубців при різниці нахилу суміжних різальних зубців $\Delta\lambda = 2...4^\circ$ підвищується до двох разів за одночасного підвищення якості оброблених поверхонь на 1 клас, що дозволяє використовувати їх на підвищених на 20...30% швидкостях різання з відповідним зростанням продуктивності оброблення. При цьому ефективність фрез розглянутих конструкцій підвищується зі зростанням твердості оброблюваного матеріалу; відтак вони можуть бути успішно використаними для нарізування зубчастих коліс з важкооброблюваних матеріалів.

Проте слід зазначити, що суцільні конструкції вібростійких черв'ячних зуборізних фрез з чергуванням зубців різного нахилу у виробничих умовах пересічних механічних цехів не набули значної популярності. Зокрема це обумовлене специфікою складнішої у порівнянні зі стандартним інструментом технології переточування з відповідним переналагоджуванням заточувального верстата при періодичному відновленні працездатності фрез розглянутої конструкції. З іншого боку це пов'язано з відносно незначним ефектом при здійсненні оброблення у діапазоні швидкостей різання, який забезпечує суцільний швидкохідний інструмент. Крім того забезпечення точності формотворення суцільними затилованими фрезами з чергуванням зубців різного нахилу вимагає спеціальних способів затилування при їхньому виготовленні, що певним чином здорожчує їхню вартість.

Подальшим розвитком зазначеного способу зменшення вібрацій при зубонарізанні стало поширення його конструктивної реалізації на збірні черв'ячні зуборізні фрези з переточуваними змінними різальними вставками з твердих сплавів. Втілення цього способу

Машинобудування і зварювальне виробництво

у даному варіанті дозволить уникнути недоліків, властивих переточуваним затилованим фрезам. Повторюваність положення змінних вставок у корпусі з гніздами, виконаними в порядку, який забезпечує розташування різальних кромок за схемами на рис. 1, 2, надають можливості спрощення здійснення відновлення працездатності інструменту без втрати первісної точності. Використання інструментів даної конструкції здатне у перспективі забезпечити 3-4-кратне підвищення швидкості різання з відповідним зростанням продуктивності оброблення.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених робіт доведена ефективність застосування способу зменшення вібрацій при зубонарізанні черв'ячними фрезами, який полягає в керуванні геометричними параметрами, а саме кутами нахилу суміжних стружкових канавок. Виконано оптимізацію різниці кутів нахилу суміжних канавок і надані практичні рекомендації з призначення їхніх величин. За результатами проведеного аналізу виявлено, що найбільшого ефекту від застосування розглянутих конструкцій зуборізних інструментів здатні забезпечити їхні збірні варіанти. Прогнозується значне зростання стійкості збірних черв'ячних фрез спроектованих за наведеними рекомендаціями, а також підвищення надійності їхнього функціонування у складі технологічної системи.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ 2233—93. Інструменти різальні. Терміни та визначення. — Введ. 1994-01-01 — К.: Держстандарт України, 1993. — 43 с.
2. ДСТУ 2249—93. Оброблення різанням. Терміни, визначення та позначення. — Введ. 1995-01-01 — К.: Держстандарт України, 1994. — 63 с.
3. ДСТУ ISO 513:2015 (ISO 513:2012, IDT) Матеріали тверді різальні для зняття стружки з певними різальними крайками. Класифікація та застосування. Позначення основних груп щодо зняття стружки і груп щодо застосування. — К.: Держстандарт України, 2015. — 42 с.
4. А.С. I67118 СССР. МКИ В23F 14/03. Червячная фреза.
5. А.С. 348309 СССР. МКИ E23F 21/16. Червячная фреза.
6. А.С. 500924 СССР, НИИ В23F 21/16. Червячная фреза.
7. А.С. 975265 СССР МКИ В23F 21/16. Червячная фреза.
8. Крепак А. С. Прогрессивный и виброустойчивый металлорежущий инструмент./ А. С. Крепак, С. А. Крепак, П. И. Мисюра. — Мариуполь, Азовье, 2013. — 156 с.
9. Манойлов О. В. Суцільні черв'ячні зуборізальні фрези: проектування в прикладах [Електронний ресурс]: навчальний посібник/ О. В. Манойлов, О. С. Крепак. — Мариуполь: ПДТУ, 2018. — 212 с

Крепак А.С., Кудинова Е.В., Манойлов О.В., Гагарин В.А.

ПОВЫШЕНИЕ ВИБРОСТОЙКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЗУБОФРЕЗЕРИРОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ

Рассмотрена проблема обеспечения надежного безвибрационного функционирования технологической системы зубофрезерования цилиндрических колес червячными фрезами.

Машинобудування і зварювальне виробництво

В результате проведенных работ доказана эффективность применения способа уменьшения вибраций при зубонарезании червячными фрезами, заключающегося в управлении геометрическими параметрами, а именно углами наклона смежных стружечных канавок.

Выполнена оптимизация разницы углов наклона смежных канавок и предоставлены практические рекомендации по назначению их величин. По результатам проведенного анализа выявлено, что наибольший эффект от применения рассматриваемых конструкций зуборезных инструментов способны обеспечить их сборные варианты.

Прогнозируемый рост устойчивости сборных червячных фрез спроектированных по приведенным рекомендациям, а также повышение надежности их функционирования в составе технологической системы.

Ключевые слова. *Зубофрезерование, фреза червячная, виброустойчивость, технологическая система, оптимизация.*

Krepak O. S., Kudinova K. V., Manoilov O. V., Gagarin V. O.

INCREASING THE VIBRATION RESISTANCE OF THE TECHNOLOGICAL SYSTEM OF HIGH-SPEED GEAR MILLING OF CYLINDRICAL WHEELS DUE TO IMPROVEMENTS IN THE DESIGN OF WORM CUTTERS

The problem of ensuring reliable vibration-free functioning of the technological system of gear milling of cylindrical wheels with worm cutters is considered.

As a result of the work carried out, the effectiveness of using a method for reducing vibrations during gear cutting with worm cutters, which consists in controlling geometric parameters, namely the angles of inclination of adjacent chip grooves, was proved.

The difference in slope angles of adjacent grooves is optimized and practical recommendations are given for assigning their values. According to the results of the analysis, it was revealed that the greatest effect from the use of the considered designs of gear-cutting tools can be provided by their prefabricated versions.

A significant increase in the stability of prefabricated worm cutters designed according to the above recommendations is predicted, as well as an increase in the reliability of their functioning as part of the technological system.

Keywords. *Gear milling, worm cutter, vibration resistance, technological system, optimization.*

Стаття надійшла 10.01.2022 р.

УДК 621.791.75

doi.org/10.31498/2522-9990252023286586

Щетинін С.В., Щетиніна В.І.

СТАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ

Трубы для газо- і нафтопровідних магістралей експлуатуються при високих тисках і низьких температурах, тому виготовляються з високоміцних сталей, при зварюванні яких трудно забезпечити ударну в'язкість зварних з'єднань. При електродуговому зварюванні труб значно зростає магнітне поле зварювального струму, магнітне дуття, електромагнітна сила відхиляє дугу в сторону меншого магнітного поля до обриву, довжина дуги зростає, стабільність процесу і формування швів порушується, що приводить до зниження ударної в'язкості зварних з'єднань. Природа зниження ударної в'язкості зварних