

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 621.9.02:621.833

І.С. Афтаназів, І.Є. Грицай, О.Р. Баранецька*
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра технології машинобудування;
*кафедра нарисної геометрії і графіки

ПРОГРЕСИВНІ МЕТОДИ НАРІЗАННЯ ТА ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ВІНЦІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

© Афтаназів І.С., Грицай І.Є., Баранецька О.Р., 2002

Наведені результати розроблення та дослідження нових прогресивних методів нарізання та поверхневого зміцнення циліндричних зубчастих коліс. Показано можливість суттєвого підвищення продуктивності зубообробки, точності та фізико-механічних властивостей робочих поверхонь зубців.

The results of mining and study of new progressive methods of grooving and surface hardening(strengthening) of cylindrical cog-wheels are indicated. The possibility of an essential raising the productivity of cutting of the cylindrical cog-wheels, fidelity and mechanical characteristics of working surfaces teeths rotined

Зубчасті передачі – найрозповсюдженіші передачі рухів і крутних моментів від приводів до виконавчих органів механізмів. Річні програми випуску зубчастих коліс, як складових елементів сучасних передач і трансмісій, становлять десятки мільйонів одиниць. Технологічне забезпечення точності і високих фізико-механічних характеристик зубчастих вінців визначає якість цих деталей машин і служить необхідною передумовою високої експлуатаційної якості передач, у яких вони працюють. Зважаючи на важливість ефективного вирішення цієї проблеми для сучасного машинобудування, у Львівській політехніці ведуться роботи над удосконаленням традиційних та розробкою нових прогресивних методів виготовлення та зміцнення зубчастих коліс.

1. Прогресивний метод нарізання зубчастих коліс

У сучасному важкому, транспортному та енергетичному, а також автомобілі – та сільськогосподарському машинобудуванні для попереднього формування вінців циліндричних зубчастих коліс і шестерень перед їх чистовою обробкою здебільшого використовують нарізання черв'ячними модульними фрезами. У теперішній час ці операції належать до найскладніших та працемісткіших у циклі виготовлення зубчастих коліс, внаслідок чого у парку металорізального обладнання зубообробні верстати становлять, за різними даними, 30–50 % від їх загальної кількості. Режими різання на цих операціях не задовольняють зростаючі вимоги підвищення продуктивності, а використання інтенсивніших робочих

режимів призводить до зниження точності обробки та якості утворюваних профілів, погіршення показників працездатності черв'ячних фрез і зменшення довговічності обладнання. Зокрема, збільшення швидкості різання зумовлює зменшення періоду стійкості між переточуванням та сумарного часу роботи черв'ячної фрези, що спричиняє більшу потребу у такому вартісному інструменті і призводить до суттєвого збільшення собівартості зубчастих коліс. Підвищення осьової подачі призводить до посилення коливань та вібрації у пружній системі зубофрезерного верстата, що негативно позначається на якості утворюваних поверхонь та точності обробки не лише на операціях формування зубчастих вінців, але і на операціях чистової та викінчувальної їх обробки внаслідок явищ технологічної спадковості.

Основною перешкодою для вирішення цих проблем є присутнє у методі неперервного обточування нерівномірне навантаження на зубці та леза черв'ячної фрези, зумовлене нерівномірністю зрізуваних шарів і нестабільністю різання. Такий стан у технології зубообробки свідчить, що стандартні модульні черв'ячні фрези використовують на межі їх технологічних можливостей, а для підвищення ефективності цього процесу необхідно змінити їх схему різання.

З цією метою розроблено та досліджено схему двоперехідної зубообробки коліс середніх і великих модулів та спроектовано конструкції черв'ячних фрез для першого й другого переходів нарізання циліндричних зубчастих коліс перед чистовою обробкою шевінгуванням, шліфуванням або холодним прокатуванням. Модифікація стандартної черв'ячної модульної фрези полягає у тому, що профілі зубців фрез для першого і другого переходів отримують поділом профілю початкового виробничого контуру по висоті. Профіль зубців першої фрези відповідає ніжці профілю початкового контуру, а профіль зубців фрези для другого переходу відповідає головці профілю початкового контуру [1]. Внаслідок цього виробнича поверхня однієї черв'ячної фрези розділяється між виробничими поверхнями двох фрез та змінюється схема усунення припуску і послідовність формоутворення, але зберігається кінематика процесу центроїдного огинання. Черв'ячна фреза для першого переходу усуває частину металу западин, що міститься між зовнішнім циліндром заготовки і зовнішнім діаметром фрези, і формує профілі головок зубців на передполюсних ділянках зачеплення по обидвох системах профілів. На другому переході усувається решта припуску і формуються профілі ніжок зубців на післяполюсних ділянках зачеплення.

Вказана зміна конструкції інструментів, формоутворення і схеми двоперехідного нарізання зубців циліндричних коліс дає можливість зменшити висоту зубців черв'ячної фрези з поділеною виробничою рейкою (ПВР) і їх торцьовий крок; утворити на такому ж, як у стандартної черв'ячної фрези, зовнішньому діаметрі, без істотного зниження міцності, більшу кількість рейок. Завдяки цьому при однаковій зі стандартною черв'ячною фрезою подачі на зубець інструмента, пропорційно зростанню кількості рейок можна збільшити фактичну осьову подачу та підвищити продуктивність. Одночасно з цією перевагою спостерігається розподіл зрізуваних шарів між більшою у 1,5–1,7 разів кількістю зубців та зменшення, внаслідок цього, сили різання.

Суттєвою перевагою такої схеми різання є також можливість збільшення торцьового перекриття і зміни внаслідок цього характеру сили різання. Так, при відсутності перекриття у торці різі стандартної черв'ячної фрези розділені у часі, а сумарна сила різання на рейці має вигляд послідовних одиничних імпульсів, які несуть значну енергію збудження пружної системи верстатові. В умовах торцьового перекриття за рахунок перерозподілу імпульсів

сили виникає умовно постійна (квазістатична) складова сили різання, одночасно з цим зменшується її динамічна складова. При торцьовому перекритті 1,25–1,5 амплітуда сили різання зменшується, при цьому її середнє і максимальне значення не перевищують значення одиничного імпульсу, тому такі умови різання забезпечують найменші динамічні навантаження та вібрації у пружній системі зубофрезерного верстата і є оптимальними. Стандартні черв'ячні фрези в усьому діапазоні конструктивно-технічних і геометричних параметрів і режимів різання, які використовуються на практиці, не можуть забезпечити таких параметрів перекриття, у той же час, при використанні черв'ячних фрез з ПВР присутнє торцьове перекриття з коефіцієнтом $\epsilon = 1,27\text{--}1,35$.

Експериментальні дослідження сили різання та її складових проведені на стенді, створеному на основі горизонтально-фрезерного верстата, оснащеного ділильною головою, на якому відтворено комплекс робочих рухів обкочування [2]. Імпульси сили різання під час дискретних різей фіксували за допомогою п'єзоелектричних давачів, встановлених на заготовці. Аналіз сигналів здійснювався за допомогою записуючого осцилографа з часом збереження сигналу до 10 с.

У результаті експериментальних досліджень підтверджено суттєве зменшення розмаху сили різання, динамічних навантажень і зниження рівня вимушених пружних коливань. Встановлено, що замість імпульсної сили різання спостерігаються її гармонійні коливання, в спектрі яких виникають високочастотні гармонійні складові, які несуть значно менше енергії збудження. При використанні фрез з ПВР сила різання за максимальними значеннями зменшується на 25–30 %. Зубчасті колеса, нарізані новими фрезами, за параметром повноти контакту у передачі мають на 11–17 %, а з рівнем циклічних похибок – на 8–15 % кращі показники, ніж колеса, нарізані звичайними черв'ячними фрезами.

2. Високоєфективна технологія поверхневого зміцнення вінців

Стан поверхневих шарів матеріалу зубчастих вінців, їх здатність чинити опір зношуванню при великих навантаженнях під час передачі значних крутних моментів визначає довговічність зубчастих передач. Цей висновок підтверджено дослідженнями науковців Київського політехнічного інституту, Фізико-механічного інституту АН України (м. Львів), Львівської політехніки, інших наукових шкіл України і світу. З метою поліпшення якості та фізико-механічних властивостей робочих поверхонь незагартованих зубчастих коліс на фінішних операціях щораз частіше використовують методи зміцнювально-деформаційної обробки. Так, у Японії переважають більшість зубчастих коліс виготовляють не методами формоутворення різанням, а пластичним деформуванням в холодному чи гарячому станах. Однак такий підхід непридатний для нашої держави, де виготовлення продукції в основному зорієнтовано на серійну форму виробництва.

Спроби широкого промислового використання зміцнення бокових поверхонь зубців зубчастих коліс поверхневим пластичним деформуванням (ППД), на жаль, так і не отримали свого належного втілення через неспроможність забезпечення на доволі складному контурі поверхні зубця достатніх для підвищення зносостійкості і втомної міцності матеріалу показників якості зміцнення.

Першопричиною цьому є обмеженість існуючих методів ППД за величиною енергії деформування, достатньою для якісного зміцнення. Особливо це стосується зубчастих коліс силових передач, як правило, виготовлених з покращених доволі твердих і міцних конструкційних та легованих сталей, зміцнення яких ефективно лише за умови прикладання

значних сил деформації, спроможних забезпечити як велику глибину зміцненого шару, так і високий градієнт залишкових напружень стиску в ньому.

Створений у Національному університеті “Львівська політехніка” метод поверхневого зміцнення зубчастих коліс вібраційно-відцентровим зміцнювальним оброблюванням (ВВЗО) вигідно поєднує в собі і здатність до забезпечення високих енергій деформування матеріалу деталей, які оброблюються, і значну продуктивність.

Основною перевагою методу ВВЗО зубчастих коліс, яка вигідно відрізняє його від інших методів зміцнення ППД та зміцнювальних технологій, є поєднання високого рівня енергії деформування зі значною продуктивністю зміцнення. Жорсткий удар деформувального елемента по оброблювальній ділянці поверхні зубця, висока швидкість його здійснення при значній кінетичній енергії обкатника забезпечують високий рівень енергії деформування, який значно перевищує енергетичні можливості всіх відомих різновидів методів ППД як статичної, так і динамічної дії. Хіба що карбування, з його потенційно необмеженими енергетичними можливостями, могло б скласти конкуренцію методу ВВЗО зубчастих коліс за критерієм рівня енергії деформування, але цей метод на декілька порядків продуктивніший від карбування.

Високий рівень енергії деформування, ударний контакт, значні контактні напруження забезпечують при цьому глибину залягання зміцненого шару в межах 1,5–1,7 мм, зростання поверхневої мікротвердості на 35–40 %, залишкові напруження стиску у поверхневому шарі металу 900 МПа.

Інтенсивне проклепування при ВВЗО зубчастих коліс матеріалу поверхні їх зубців, суттєве збільшення його поверхневої мікротвердості, значний градієнт напружень стиску в поверхневому шарі у поєднанні з незмінною вихідною пластичністю основного матеріалу серцевини зубця суттєво підвищують втомну міцність, збільшують опір викришуванню та опір зламу зубців, що дозволить замінити для зубчастих коліс силових передач ряд енергомістких дорогих і довготривалих термічних технологічних операцій з незмінно супутніми їм викінчувальними на зміцнення ВВЗО. Висока ж продуктивність обладнання для реалізації ВВЗО зубчастих коліс, його простота і універсальність відкривають перспективу широкого промислового застосування методу, до того ж в умовах серійного і масового виробництва.

Новостворений метод формоутворення зубців черв'ячними фрезами із модифікованою схемою обкочувального руху поряд із підвищенням продуктивності операції зубофрезерування та стійкості інструмента завдяки підвищенню геометричної точності забезпечує зростання якості виготовлення зубчастих коліс. Як наслідок, забезпечується підвищення надійності зубчастих передач.

Зміцнення бокових поверхонь зубців розробленим методом вібраційно-відцентрової зміцнювальної обробки завдяки покращанню фізико-механічних властивостей матеріалу в поверхневих шарах при збереженні пластичності металу в товщі зубця не тільки підвищує довговічність силових зубчастих передач, а і дозволяє відмовитись у технологічному процесі їх виготовлення від вартісних та енергомісних термічних і хіміко-термічних операцій та неодмінно супроводжуючих їх операцій шліфування, хонінгування та притирання.

У комплексі це дає підставу для промислового впровадження для великомодульних зубчастих коліс середнього класу точності силових передач нової високоефективної технології їх виготовлення, в якій відсутні вартісні і малопродуктивні термічні та оздоблювально-викінчувальні операції (шліфування, полірування, шевінгування, притирання тощо).

Їх замінено якісним формоутворенням зубців за новою модифікованою схемою обкочувального руху в комплексі із зміцнювальною операцією вібраційно-відцентровою обробкою. Поряд із підвищенням надійності та довговічності зубчастих передач це здешевлює їх виготовлення, що, враховуючи значні обсяги застосувань зубчастих передач в народному господарстві, забезпечить вагомий економічний ефект. Оскільки запропоновані технології є новими, не мають аналогів у світовій практиці, вони є привабливими для інвесторів як у промисловій сфері, так і в галузі науки.

Створення нових прогресивних способів та технологій зубообробки, а головне, розробка реалізуючого їх обладнання, не тільки забезпечить вагомий економічний ефект, а і суттєво підвищить конкурентоспроможність виробів машинобудівної промисловості України.

1 Грицай І.Є., Афтаназів І.С. Підвищення ефективності двохперехідного нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезам з модифікованим профілем // *Вестн. Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут"*. – 2001. – Вып. 40. – С. 140–149. 2. Пат. 30961А України, В23 F5/04/. Спосіб визначення сили різання та параметрів зрізів при зубофрезеруванні в умовах обкочування / І.Є. Грицай (Україна). – 98063301; Заявл. 24.06.98; Опубл. 15.12.2000, Бюл. № 7, ч. 2. – С. 1.102. 3. Афтаназів І.С., Гавриш А.П., Киричок П.О., Мельничук П.П., Попов Є.С., Третько В.В. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням: Навч. посібник. – Житомир, 2001.

УДК 621.787

І.С. Афтаназів, А. М. Кук, М.Л. Кукляк
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра технології машинобудування

ДОБІР КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВІБРАЦІЙНО-ВІДЦЕНТРОВОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ШАСІ ЛІТАКА

© Афтаназів І.С., Кук А. М., Кукляк М.Л., 2002

Розглянуто питання конструювання пристроїв для ефективного вібраційно-відцентрового зміцнення барабанів авіаційних коліс, які відрізняються за кількістю, розмірами та формою виконаних на них конструктивних елементів.

The question of designing of adaptations for effective vibration-centrifugal hardening of air wheels drums which differ by quantity, sizes and form of the executed constructive elements is considered in clauses.

Одним з основних елементів шасі літака, що виконує функцію базової деталі, є корпусна деталь форми тіла обертання – барабан. Від його міцності суттєво залежить безпека експлуатації літака під час його злету, приземлення чи маневрування на летовищі. Для зміцнення барабанів застосовують різні методи поверхнево-пластичного деформування, зокрема вібраційно-відцентрового оброблення. Цей метод дозволяє зміцнювати як зовнішні, так і внутрішні поверхні деталей форми тіл обертання [1].