

зображено на рис.4,а, сумішей високої якості керамічних і скляних в.робів на рис.4.б, будівельних сумішей низької якості на рис.4,г.

Зазвичай, побудова графа вибору (рис.4) рекомендує декілька рівнозначних за технологічними можливостями видів змішувачів. Вибір конкретного з них здійснюють на підставі аналізу наявного на підприємстві устаткування, особливостей його експлуатації, вартості і енергозатрат. У разі відсутності на підприємстві необхідного устаткування і потреби у його придбанні чи виготовленні остаточний вибір конкретного типу змішувача проводять на підставі аналізу собівартості приготованих сумішей, енергозатрат, універсальності змішувачів, їх надійності і довговічності. При цьому беруть до уваги такі міркування.

Конструктивно обертові пристрої для приготування сумішей сипучих матеріалів поєднує така кінематична схема: від встановленого на рамі електродвигуна через понижуючий редуктор обертовий рух передається на виконавчий орган. Недоліки такої конструктивної схеми змішувачів - незначна частота обертання виконавчих органів, що знижує продуктивність процесу приготування сумішей; наявність низки перетворювальних механізмів, обертових вузлів, що знижує довговічність роботи оснащення загалом; значна кількість опор кочення або ковзання, які потребують герметизації, що ускладнює конструкцію, знижує її надійність.

Зазначених недоліків позбавлені пристрої для приготування сумішей сипучих матеріалів вібраційного типу. Вони можуть бути виконані як дискретної дії - при незначних обсягах та програмах приготування сумішей, так і безперервної дії, що дозволяє легко здійснити механізацію та автоматизацію процесу, вмонтувати пристрої у діючі автоматичні лінії. Вібраційні пристрої для приготування сумішей сипучих матеріалів можуть бути виконані як з горизонтальним чи вертикальним розташуванням осі виконавчого органу-контейнера, так і при довільному куті його нахилу до горизонту. Забезпечення коливань виконавчого органу безпосередньо від встановленого на ньому віброзбудника механічного, пневматичного чи електромеханічного типу значно спрощує конструкції пристрою загалом, підвищує його надійність і довговічність. Герметичність виконавчих органів вібраційних змішувачів істотно поліпшує санітарно-гігієнічні умови праці обслуговуючого персоналу завдяки усуненню запиленості і загазованості приміщень, в яких встановлено змішувачі.

УДК 621.914.5:621.9.015

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ЗРІЗІВ ТА РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ ПІД ЧАС РОБОТИ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ФРЕЗИ З ПОПУТНОЮ ТА ЗУСТРІЧНОЮ ПОДАЧЕЮ

© Ігор Грицай, 1999

ДУ "Львівська політехніка"

Наведено результати теоретичних досліджень закономірностей параметрів зрізів, розподілу навантаження між зубцями, причин виникнення та відмінностей зношування під час роботи черв'ячної фрези з попутною та зустрічною подачами.

У процесах обробки деталей машин різанням робочі режими, геометрія і конструкція різального інструмента справляють вплив на деформації в умовній площині зсуву, умови контакту і тертя, температуру і теплоту в зоні різання через параметри зрізів. Якщо для більшості процесів різання зв'язок між режимами різання, конструктивними параметрами деталі та інструмента виявляють безпосередньо, на основі геометричних співвідношень із схеми обробки, то для процесів нарізання зубчастих коліс в умовах обкочування цей зв'язок виявити та формалізувати у певній моделі дуже важко. Внаслідок цього, попри численні дослідження у даному напрямку, відсутня інформація про залежності між вихідними факторами зубонарізання та параметрами зрізів черв'ячних фрез.

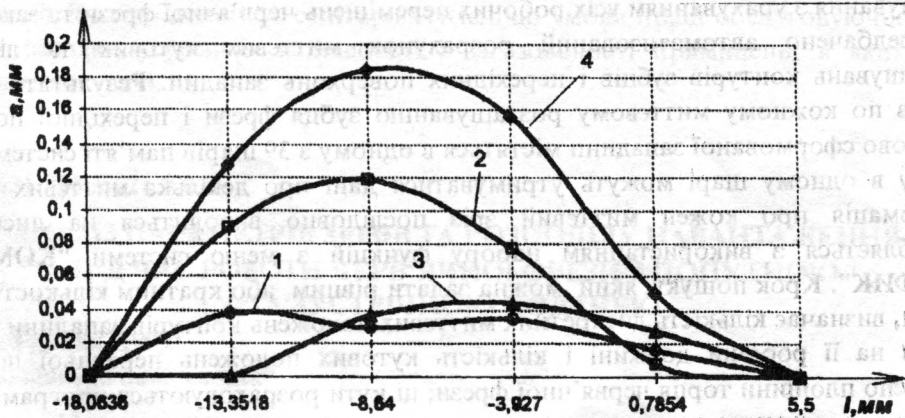
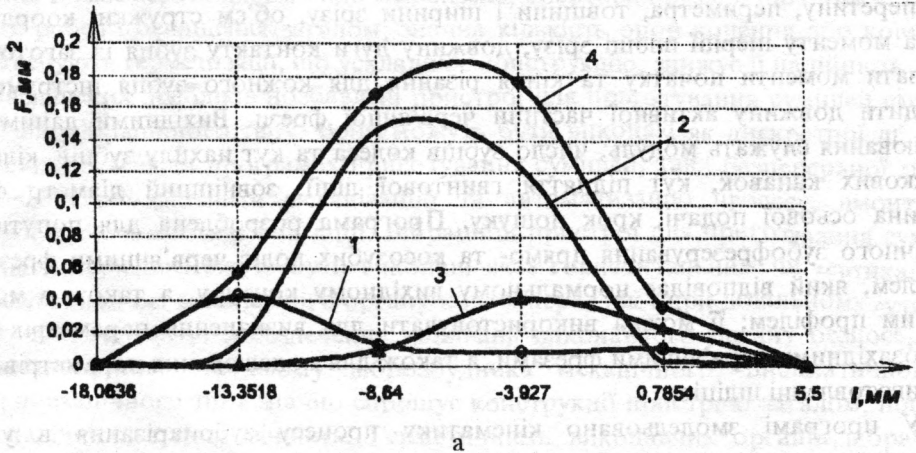
Принцип моделювання параметрів зрізів черв'ячної фрези з урахуванням форми та розмірів перехідної поверхні у западинах між зубцями заготовки зубчастого колеса, що підлягає обробці, наведені у роботі [1]. В даний час для автоматизації розрахунків на основі даної моделі створена програма, яка реалізована в середовищі бібліотеки програм автоматизованої креслярсько-графічної системи "КОМПАС-ГРАФИК" і яка дозволяє визначати миттєві значення площі поперечного перетину, периметра, товщини і ширини зрізу, об'єм стружки, координати центра моменту інерції площі зрізу, довжину дуги контакту зубця із заготовкою; фіксувати моменти початку та кінця різання для кожного зубця інструменту і знаходити довжину активної частини черв'ячної фрези. Вихідними даними для моделювання служать модуль, число зубців колеса та кут нахилу зубців, кількість стружкових канавок, кут підняття гвинтової лінії, зовнішній діаметр фрези, величина осьової подачі, крок пошуку. Програма розроблена для попутного і зустрічного зубофрезерування прямо- та косозубих коліс черв'ячними фрезами з профілем, який відповідає нормальному вихідному контуру, а також з модифікованим профілем; її можна використовувати для визначення параметрів зрізів багатозахідними черв'ячними фрезами, а також для моделювання параметрів зрізів при виготовленні шліців.

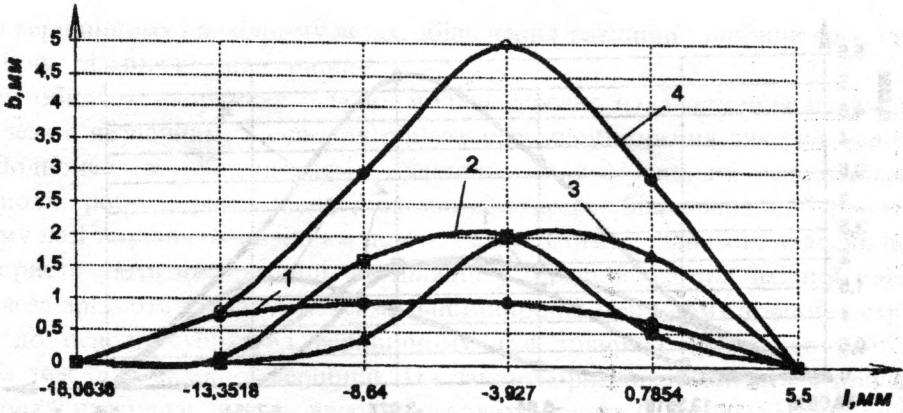
У програмі змодельовано кінематику процесу зубонарізання в умовах обкочування з урахуванням усіх робочих переміщень черв'ячної фрези та заготовки і передбачено автоматизований розрахунок миттєвих кутових та лінійних розташувань контурів зубців і перехідних поверхонь западин. Результати розрахунків по кожному миттєвому розташуванню зубця фрези і перехідної поверхні частково сформованої западини містяться в одному з 39 шарів пам'яті системи (при цьому в одному шарі можуть утримуватися дані про декілька миттєвих зрізів). Інформація про кожен миттєвий зріз послідовно виводиться на дисплей і обробляється з використанням набору функцій з меню системи "КОМПАС-ГРАФИК". Крок пошуку, який можна задати рівним, або кратним кількості рейок фрези, визначає кількість дискретних миттєвих положень контурів западини і зубця фрези на її робочій довжині і кількість кутових положень передньої поверхні відносно площини торця черв'ячної фрези; ці кути розраховуються програмою для заданого кроку пошуку автоматично, але можливий також режим ручного введення їх значень. Послідовна візуалізація на дисплеї миттєвих перетинів зрізів дає змогу

простежити за кінематикою зміни параметрів зрізів по двох координатах, фіксувати характер та величину навантаження на кожен зубець і кожне лезо інструмента.

З використанням даної програми було виконано більше ста теоретичних експериментів, у ході яких моделювалися параметри зрізів при роботі черв'ячної фрези з попутною та зустрічною подачами при різних конструктивних параметрах зубчастих коліс, черв'ячних фрез і осьових подачах від 1 до 5 мм/об. Отримані результати обробляли з використанням пакета програм EXCEL, а алгоритм обробки статистичних даних розрахований на усереднення параметрів зрізів на кожному лезі по куту повороту передньої поверхні.

Як приклад, для порівняння навантаження на зубці однозахідної черв'ячної фрези при попутній та зустрічній подачах на рис.1 та 2 наведені графіки площі перетинів, товщини та ширини зрізів на усіх трьох лезах. Моделювалося нарізання черв'ячною фрезою, що має нормальний вихідний контур, кількість стружкових канавок $z_0 = 12$, зовнішній діаметр $D_{af} = 110$ мм, кут підняття гвинтової лінії $\lambda = 1,2^\circ$ прямозубого колеса модулем $m = 3$ мм і кількістю зубців $z = 50$, при осьовій подачі $s_0 = 5$ мм/об.



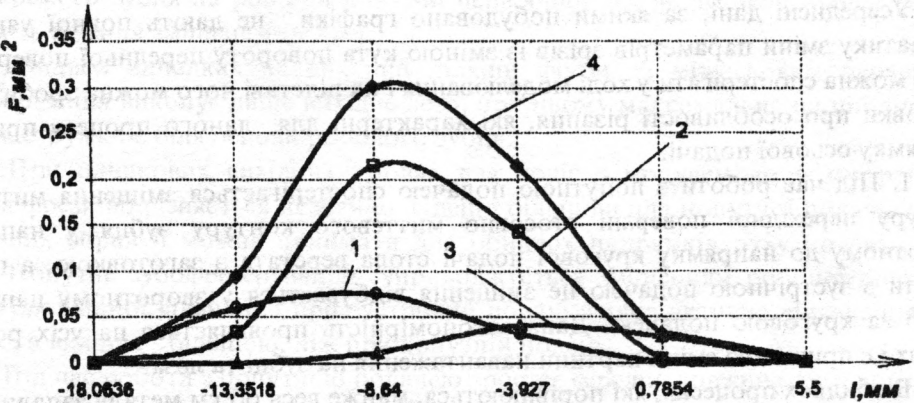


В

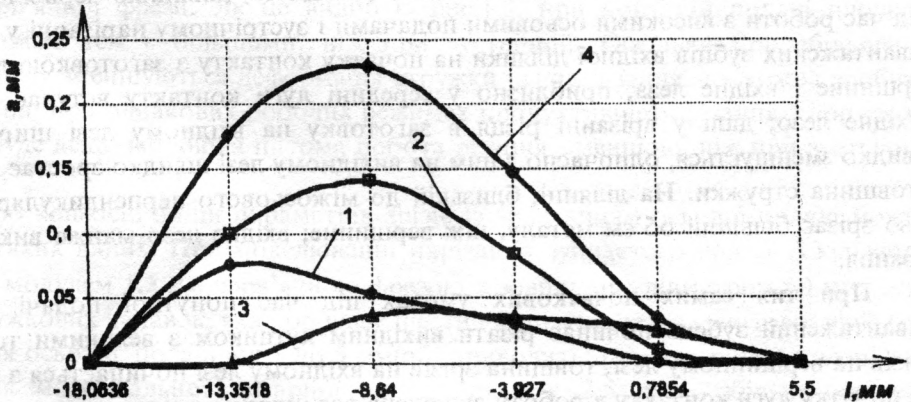
Рис.1. Параметри зрізів черв'ячної фрези
(а - площа; б - товщина; в - ширина) на лезах:

1 - вхідному; 2 - вершинному; 3 - вихідному;

4 - сумарне значення параметра при зустрічному зубофрезеруванні.



а



в

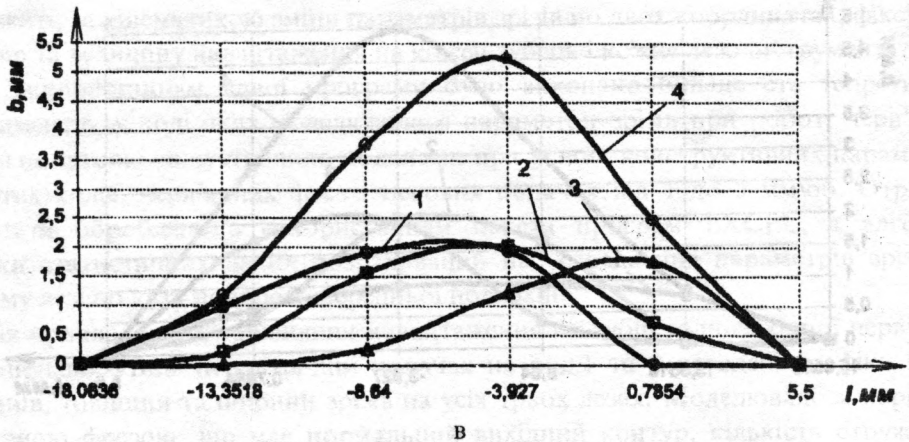


Рис.2. Параметри зрізів черв'ячної фрези
(а - площа; б - товщина; в - ширина) на лезах:
1 - вхідному; 2 - вершинному; 3 - вихідному;
4 - сумарне значення параметра при попутному зубофрезеруванні.

Усереднені дані, за якими побудовано графіки, не дають повної уяви про кінематику зміни параметрів зрізів із зміною кута повороту передньої поверхні, за якою можна спостерігати у ході моделювання і на підставі чого можна зробити такі висновки про особливості різання, які характерні для даного процесу при зміні напрямку осьової подачі.

1. Під час роботи з попутною подачею спостерігається зміщення миттєвого контуру перехідної поверхні стосовно миттєвого контуру зубця у напрямку, зворотному до напрямку кругової подачі стола верстата з заготовкою, а під час роботи з зустрічною подачею це зміщення відбувається у зворотному напрямку, тобто за круговою подачею. Дана закономірність проявляється на усіх робочих зубцях і є причиною зміни картини навантаження на зубці та леза.

В обидвох процесах, які порівнюються, майже весь об'єм металу западини між зубцями заготовки усувається допозувною (західною) ділянкою черв'ячної фрези. Під час роботи з високими осьовими подачами і зустрічному нарізанні у найбільш навантажених зубців вхідної ділянки на початку контакту з заготовкою працюють вершинне і вхідне леза, приблизно у середині дуги контакту вступає у різання вихідне лезо; далі у врізанні різця в заготовку на вхідному лезі ширина зрізу швидко зменшується, одночасно з цим на вихідному лезі швидко зростає і ширина, і товщина стружки. На ділянці, близькій до міжосьового перпендикуляра вихідне лезо зрізає більший об'єм металу, ніж вершинне; вхідне лезо майже виключене із різання.

При тих самих початкових умовах під час попутної подачі найбільш навантажений зубець починає різати вихідним кутником з великими товщинами зрізів на вершинному лезі, товщина зрізів на вхідному лезі починається з нуля. Вже на початку дуги контакту в роботу включена вся ширина вершинного леза; вихідне лезо зрізає товсту стружку при малій її ширині. По довжині контакту спостерігається зменшення ширини зрізу біля вихідного леза, зменшення товщини

зрізів на вершинному і вихідному лезах, збільшення товщини і ширини на вхідному лезі; закінчує різання вхідна вершина.

При обидвох напрямках осьової подачі середнє навантаження на вхідні та вихідні леза є незначним, а основну роботу стружкоутворення виконує вершинне лезо. Водночас зі збільшенням величини осьової подачі спостерігається перерозподіл роботи різання між боковими лезами: збільшення цієї роботи на вихідному лезі порівняно з вхідним лезом. Разом з тим, у діапазоні значень подач, що використовують на практиці, на ділянці у середній частині вхідної довжини вихідні леза зрізають стружки максимальної ширини, при цьому товщина стружок зростає до основи зубця; на вершинному лезі товщина зрізів має найбільше значення теж біля вихідної вершини. Ця закономірність посилюється при збільшенні подачі настільки, що при високих осьових подачах (у межах 5 мм/об.) вихідні леза кількох зубців у середині західної ділянки стинають більші об'єми металу, ніж вершинні.

Найбільша товщина зрізу при попутному зубофрезеруванні фіксується у моменти врізання зубців у заготовку, а при зустрічному - у кінці дуги контакту, при виході з заготовки. Оскільки при попутній подачі початок різання залежить від місця окремого зубця на робочій довжині черв'ячної фрези, то зубці однієї рейки починають різання зміщеними у часі.

В обидвох випадках на вихідній ділянці фрези за міжосьовим перпендикуляром різання виконує лише вихідне лезо, при цьому максимальна на цій ділянці товщина стружки є біля основи робочого зубця.

2. При однакових вихідних умовах для коліс з модулем до 6 мм робоча довжина фрези відрізняється незначно, є дещо більшою для попутної подачі, а для практичних справ її можна приймати для обидвох напрямків руху подачі однаковою. Попутне зубофрезерування супроводжується зміщенням робочої довжини фрези у бік вхідної ділянки, а при зустрічній подачі вхідна активна ділянка є дещо меншою, а вихідна - більшою, ніж при попутній подачі.

3. Під час роботи з попутною подачею зростає середня довжина дуги контакту зубців з заготовкою, при цьому найбільше зростають дуги різання на крайніх зубцях черв'ячної фрези. Як це видно із рис.1,2, при попутній подачі площа і товщина зрізів теж є більшими, ніж при зустрічній. Оскільки при збільшенні товщини зрізу зменшуються деформація стружки і сила різання, то можна зробити висновок, що при однакових робочих режимах продуктивність різання з попутною подачею буде дещо вищою, а питома робота різання - меншою, ніж при зустрічній подачі.

4. Про кількісні зміни параметрів зрізів із зростанням осьової подачі можна судити з таких даних. При моделюванні нарізання зубчастого колеса з кількістю зубців 20, модулем 1,5 мм черв'ячною фрезою з зовнішнім діаметром 60 мм, кількістю стружкових канавок, яка дорівнює шести і кутом підняття гвинтової лінії $1,2^\circ$, збільшення осьової подачі від 1 до 5 мм/об. приводить: при зустрічній подачі - до збільшення максимальної сумарної площі зрізів у 2,5 раза, збільшення максимальної сумарної товщини зрізів у 1,5 раза і максимальної сумарної ширини зрізів на усіх лезах на 15 %; при попутній подачі - до зростання сумарної макси-

мальної площі зрізів у 2 рази, сумарної товщини зрізів у 1,5 раза, максимальна сумарна ширини зрізів практично залишалася без змін.

Виявлені за допомогою моделювання закономірності формування зрізів, зокрема - збільшення довжини контакту крайніх зубців черв'ячної фрези, рівномірніше розподілення навантаження між лезами теоретично пояснюють поліпшення умов обробки, зменшення нерівномірності і динамічних навантажень під час зубофрезерування з попутною подачею, а також дають змогу прояснити особливості зношування черв'ячних фрез.

З практичного досвіду зубообробки відомо, що найбільшому зношуванню підлягають задні поверхні вихідних лез кількох зубців у середній частині вхідної ділянки; менш інтенсивно зношуються вхідні леза, а найменш зношеними виявляються вершинні леза. Аналіз даного процесу дав змогу з'ясувати чотири основні причини інтенсивного зношування, яке локалізується завжди у певних ділянках черв'ячної фрези, незалежно від зміни зовнішніх умов:

1. Прийнято вважати, що основною причиною зношування задніх поверхонь кількох зубців, розташованих на західній частині фрези, є відхилення стружок, які утворюються під час різання на вершинному та обидвох бокових лезах, у бік вихідного леза. Таке припущення може бути справедливим для таких процесів різання, під час яких утворюється зливна стружка, наприклад, для точіння пластичних сталей в умовах невеликого різання, коли стружки з кількох лез, сходячи по передній поверхні, неперервно взаємодіють. Для різання черв'ячною фрезою, яке є переривчастим процесом і відбувається при обмеженому контакті інструмента з заготовкою, це явище не може мати такого значного впливу на зношування. Цей висновок підкріплюється експериментально визначеними розмірами площадки контакту стружки з передньою поверхнею, значення якої знаходиться в межах 0,15 мм, і яка безпосередньо прилягає до леза [2], тому таке пояснення не можна вважати достатньо обґрунтованим.

Нижче запропоновано такий механізм силової взаємодії в умовах невеликого різання, яке є характерним для частини зубців черв'ячної фрези і полягає в участі у різанні водночас двох або трьох лез окремого зубця. Відомо, що в умовах вільного різання інтенсивністю деформацій у стружці керує сила тертя, яка виникає між стружкою та передньою поверхнею інструмента. Природно припустити, що під час невеликого різання характер силової взаємодії між стружками, що утворюються одночасно, теж визначатимуть сили тертя на суміжних лезах, стружки з яких перебувають у контакті. Взаємодія цих сил відбувається у місцях безпосереднього контакту стружок на передній поверхні, тобто при зрізанні Г-подібної стружки - біля відповідної вершини, а при зрізанні П- подібної стружки - одночасно біля обидвох вершин зубця. Вплив сили тертя на інтенсивність деформацій в умовній площині зсуву відбувається через зміну напрямку сили стружкоутворення і розташування площини зсуву на обидвох суміжних лезах. Якщо сили тертя на вершинному і вихідному лезах позначити відповідно як $F_{вих}$ і $F_{вер}$, то взаємодія вершинної та вихідної стружок на ділянці вихідного леза біля вихідної вершини характеризуватиметься власною силою тертя $F_{вих}$ та проєкцією сили тертя на

сусідньому вершинному лезі - $F_{\text{вер}}$, на перпендикуляр до вихідного леза, тобто:

$$F_{\text{вих}\Sigma} = F_{\text{вих}} + F_{\text{вер}} \sin \alpha_{\omega} \quad (1)$$

Вплив стружки, що сходиться з бокового леза, на вершинну стружку, характеризуватиметься проекцією сили тертя на цьому боковому лезі на перпендикуляр до вершинного леза, тобто:

$$F_{\text{вер}\Sigma} = F_{\text{вер}} + F_{\text{вих}} \sin \alpha_{\omega} \quad (2)$$

Співвідношення (1) характеризує умову динамічної рівноваги між силами тертя у напрямку, перпендикулярному до бокового вихідного леза, а співвідношення (2) виражає умову динамічної рівноваги у напрямку, перпендикулярному до вершинного леза. Єдиний напрямок сходження для обидвох стружок на передній поверхні, який біля вихідної вершини є спільним для них, визначиться вектором геометричної суми сил $F_{\text{вих}}$ та $F_{\text{вер}}$. Аналогічно можна описати силову взаємодію стружок між вершинним та вхідним лезом.

Зростання сил тертя біля однієї з вершин, або одночасно біля обидвох вершин зубця в умовах невеликого різання означає поворот проти годинникової стрілки сили стружкоутворення, зміну розташування площини максимальних дотичних напружень, зменшення кута зсуву, зростання деформацій у стружці та збільшення сили різання.

2. Під час обробки черв'ячною фрезою дійсні, або кінематичні кути на бокових лезах відрізняються від їх значень, вимірених у статичному стані. Різання черв'ячною фрезою є косокутним, при цьому передня поверхня зубця розташована під кутом до вектора швидкості головного руху, і цей кут дорівнює куту підняття гвинтової лінії фрези.

Кінематичні кути на вхідному та вихідному бокових лезах змінюються на однакову величину, але з протилежними знаками. Якщо передні кути на вхідному та вихідному лезах позначити відповідно, $\gamma_{\text{вх}}$ і $\gamma_{\text{вих}}$, а кут нахилу гвинтової лінії - λ , то кінематичні кути на цих лезах дорівнюватимуть:

$$\gamma_{\text{вх к}} = \gamma_{\text{б к}} + \lambda; \quad (3)$$

$$\gamma_{\text{вих к}} = \gamma_{\text{б к}} - \lambda. \quad (4)$$

Для задніх кутів ця залежність зворотна, тобто:

$$\alpha_{\text{вх к}} = \alpha_{\text{б}} - \lambda; \quad (5)$$

$$\alpha_{\text{вих к}} = \alpha_{\text{б}} + \lambda. \quad (6)$$

Як видно з даних залежностей, фактичні передні кути біля вхідних лез завжди є більшими від фактичних передніх кутів біля вихідних лез, а кінематичні задні кути - навпаки, на вхідних лезах завжди більші, ніж на вихідних. У стандартних черв'ячних фрез статичні передні кути на усіх трьох лезах дорівнюють нулю, тому, як це виходить з залежностей (1), (2), на вхідному лезі кінематичний передній кут є додатним і дорівнює λ , а на вихідному - теж дорівнює λ , але від'ємним. Від'ємний передній кут на вихідному лезі приводить до зростання роботи деформації зсуву і підвищеного тертя, а також до зростання розтягуючих напружень і пружного відновлення металу на обробленій поверхні, що може бути причиною інтенсивного стирання задньої поверхні даного леза навіть при додатному задньому куті.

Інший характер впливу кінематичних кутів на вхідному лезі. Від'ємне значення заднього кута є причиною підвищеного тертя задньої вхідної поверхні,

але додатний передній кут полегшує умови перебігу деформаційних процесів на передній поверхні біля вхідного леза.

3. Як було зазначено вище, під час зустрічного зубофрезерування найбільша ширина зрізів у всьому діапазоні зміни початкових умов спостерігається на вихідних лезах зубців, що розташовані між середньою частиною вхідної ділянки та міжосьовим перпендикуляром. Ці бокові вихідні леза завантажені так, що у них працює майже уся робоча ширина від вершини до основи ніжки. З теорії різання відомо, що сила тертя, яка виникає під час різання на задній поверхні різця, прямо пропорційна ширині зрізу, тому природно, що велика ширина зрізів є однією з причин виникнення значних питомих сил тертя, і одним з факторів інтенсивного нагрівання і зношування задніх поверхонь згаданих зубців.

4. Аналіз зміни параметрів зрізів, виконаний з допомогою моделі, дав змогу виявити ще одну істотну відмінність у навантаженні вхідного і вихідного лез. Під час різання з попутною подачею у зубців, що містяться у середній ділянці на західній частині фрези, вхідна вершина і вхідне бокове лезо на початку контакту з заготовкою починають різання з нульової товщини зрізу, а найбільша товщина зрізів припадає на вихідну частину. Під час обробки із зустрічною подачею кінематика зрізу є протилежною, тобто вхідне лезо у початковий момент різання завантажене, а вихідне лезо і вихідна вершина включаються у роботу пізніше і починають різання з нульової товщини зрізу на боковому лезі. Якщо збільшувати осьову подачу, то точка початкового контакту бокового леза з заготовкою переміщається у бік від вершини до ніжки зубця черв'ячної фрези. При товщинах зрізу, близьких до нуля, навіть якщо використовувати гострозаточений інструмент, у вказаних ділянках відбувається не різання металу, а його зминання, а на початку різання деформація зсуву досягає дуже великих значень, які відповідають двадцяти-тридцятикратному стиску [3]. Дане явище може служити ще одним фактором інтенсивного зношування.

Отже, основною причиною зношування задніх поверхонь вихідних лез під час зубонарізання із зустрічною подачею можна вважати зростання силової взаємодії між стружками на суміжних лезах внаслідок невільного різання, а також зростання тертя при контакті даних стружок з передньою поверхнею, яке (тертя) посилюється внаслідок від'ємних кінематичних передніх кутів на вихідних лезах та більшої задіяної у різанні ширини вихідних лез порівняно з вхідними, і яке набуває особливо великих значень на тих зубцях та бокових лезах, які починають різання з нульової товщини зрізів. Сукупна негативна дія згаданих факторів спричиняє виникнення у відмічених зонах різання високих деформацій, контактного тиску та температури, що є основною причиною локалізації максимального зношування на вихідних лезах кількох зубців західної ділянки черв'ячної фрези при зустрічній подачі. Подібні умови різання виникають також на вхідних лезах під час роботи з попутною подачею, але менша ширина цих лез, якою вони беруть участь у різанні і позитивні передні кути частково компенсують негативний вплив зростання контактних деформацій від взаємодії сусідніх стружок і значні деформації зсуву при різанні з товщинами зрізів, близькими до нуля. Тому під час обробки з попутною подачею найбільше зношуватись повинні вхідні вершини зубців на західній ділянці фрези, але абсолютна величина зношування, порівняно з роботою на зустрічній

подачі, повинна бути меншою. Цей висновок цілком узгоджується з експериментальними даними про характер зношування черв'ячних фрез при нарізанні зубчастих коліс з різними напрямками осьової подачі, що може служити одним із аргументів на користь розробленої моделі параметрів зрізів.

1. Грицай І.Є. *Моделювання параметрів зрізів, сил та моментів під час нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами* // *Машинознавство*. 1998. N 7. С.19-23. 2. Полетика М.Ф. *Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента*. М., 1969. 3. *Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания* / А.М.Розенберг, О.А.Розенберг. К., 1990

УДК 621.833.002-19

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШОРСТКОСТІ ТА ХВИЛЯСТОСТІ БОКОВИХ ПОВЕРХОНЬ ЗУБЦІВ КОЛІС У ПРОЦЕСІ ОБРОБЛЕННЯ

© Едуард Гуліда, Євген Махоркін, 1999

ДУ "Львівська політехніка"

Розглянуто вплив методів оброблення бокових поверхонь зубців коліс на формування їх шорсткості і хвилястості. Встановлена успадкованість формування цих параметрів у процесі оброблення зубчастих коліс.

Шорсткість R_a бокових поверхонь зубців формується на зубооброблювальних операціях. Згідно з прийнятим типовим технологічним процесом для зубчастих коліс високої твердості зубооброблення виконується на трьох операціях: зубофрезерній, яка є першою операцією і на якій формується шорсткість R_{a0} ; зубошліфувальній (перша викінчувальна операція) - R_{a1} ; зубошліфувальній (друга викінчувальна операція) - R_{a2} . Отже, необхідно знайти значення шорсткості на зубофрезерній операції, яка є вихідною, і значення коефіцієнтів технологічного успадкування $K_{R0.1}$ і $K_{R1.2}$ для двох зубовикінчувальних операцій. Для вирішення цієї задачі було проведено планований експеримент з урахуванням рекомендацій [1, 2].

Математична обробка результатів експериментів, які були проведені на зубофрезерному верстаті на сталевих заготовках з використанням черв'ячних фрез, дозволила отримати значення поперечної шорсткості набігаючого боку бокової поверхні зубця колеса. Результати дослідів показали, що шорсткість в поперечному напрямку набігаючого боку зубця більша, ніж збігаючого. Це пояснюється тим, що набігаючий бік зубця обробляється у важчих умовах, ніж збігаючий. По-перше, на набігаючому боці значно більші товщини зрізу, а це приводить до більших значень складових сили різання, а по-друге, при цьому збільшується температура в зоні різання і змінюються умови стружкоутворення.

Використовуючи результати проведених досліджень і рекомендації щодо режимів різання [3, 4 та ін.], було встановлено значення шорсткості після операції зубофрезерування $R_{a0} = 1,8$ мкм.

Для визначення R_{a1} і R_{a2} використано дані робіт [4-6], в яких наведені значення цих параметрів: $R_{a1} = 0,50$ мкм; $R_{a2} = 0,25$ мкм. Ці прийняті значення R_{a1}