

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-260-4-34-39>

УДК 621.9.025.11

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПОБУДОВА ПАРАМЕТРИЧНИХ І 3D-МОДЕЛЕЙ ЗУБОРІЗАЛЬНОЇ ФРЕЗИ З ФЛАНКОМ

Кроль О.С.

RESEARCH OF THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF PARAMETRIC AND 3D MODELS OF GEAR CUTTING MILLS WITH FLANK

Krol O.S.

Запропоновано інструментарій параметричного моделювання в додатку до завдань проектування і моделювання зуборізних інструментів, що працюють за методом обкатки. Розроблено спеціалізовані програми побудови параметризованих профілів черв'ячних зуборізних фрез для обробки зубчастих коліс. Запропоновано процедури побудови спеціалізованих графічних примітивів для моделювання рейкового контуру, модифікованого евольвентного профілю, перехідної кривої бічної поверхні зуба фрези з фланком. До складу програми параметричного моделювання введений спосіб верифікації допустимих варіантів контурів неробочої частини профілю зуба фрези. Розглянуто особливості взаємодії параметричних профілів в 2D-графічному редакторі APM Graph з подальшим експортом в 3D-редактор APM Studio. Побудовано тривимірні тверdotільні моделі черв'ячної зуборізної фрези в редакторі APM Studio на основі параметризованих графічних примітивів. Проведено дослідження напружено-деформованого стану зуба фрези методом кінцевих елементів.

Ключові слова: параметрична модель, черв'ячна зуборізна фреза, модифікація профіля зуба, 3D модель, напружено-деформований стан.

Постановка проблеми. Задачі розробки зуборізальних інструментів мають багатоваріантну природу. Для їхнього рішення слід визначити рівень граничних значень таких конструктивних та геометричних параметрів, які забезпечують найкращі умови технологічного процесу виготовлення зубчастих коліс різноманітної конструкції в широкому діапазоні розмірів.

Для виконання різноманітних розрахунків і повноцінного інженерного аналізу проєктованих різальних інструментів призначені інтегровані системи КОМПАС-3D та APM WinMachine [1-5]. Ці системи є відкритими й дозволяють створювати користувацькі бібліотеки для рішення різних завдань конструювання різального інструменту. Такі мож-

ливості представляє «Менеджер бібліотек», складовою частиною якого є модуль САПР ФРЕЗ. У цьому модулі реалізується процес проектування черв'ячних зуборізальних і шлицьових фрез, інструментів для нарізування зірочок і зуборізальних довбачив.

Різноманітна номенклатура інструментів [6-9] для нарізування циліндричних коліс з одного боку і наявність уніфікованих елементів конструкцій з іншого, робить актуальним побудова параметричних моделей черв'ячних зуборізних фрез. Реальний процес конструювання характеризується тим, що остаточні значення розмірів деталей, як правило, заздалегідь невідомі і підлягають додатковому уточненню. Звідси впливає необхідність редагування параметричних розмірів. Але формалізованих процедур побудови параметричних моделей основних функціональних елементів зуборізних фрез (робочого модифікованого евольвентного профілю зуба з фланком у ніжки зуба) з наступною побудовою 3D моделі в арсеналі конструктора відсутня

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Параметрична САПР дозволить створити один або кілька узагальнених параметричних проєктів, за допомогою яких можна згодом в найкоротші терміни спроекувати будь-який з можливих варіантів черв'ячних фрез. При цьому потрібна менша кількість проєктувальників і забезпечується висока якість результату. Як геометричного ядра САПР, як правило, використовується або Parasolid, або ACIS [10]. Разом з тим, практично у всіх систем, таких як Autodesk Mechanical Desktop, Unigraphics, CATIA, I-DEAS і т.д. використовується один параметризатор англійської фірми D-CUBED. Параметризатор D-CUBED включає в себе два компоненти: скетчер, призначений для побудови параметричного профілю, на основі якого буде створено 3D операція, і математичну бібліотеку, що дозволяє пов'язувати окремі деталі в складальні конструкції. К того ж па-

раметрзатор D-CUBED, орієнтований на 3D моделювання, виявляється неефективним в 2D кресленні. Та математика, яка успішно працює на десятках ліній профілю в Скетчер 3D системи, не справляється з тисячами взаємопов'язаних елементів креслень. А необхідність повного образмерівання параметричної моделі у D-CUBED, перетворює процес параметризації навіть нескладного креслення в практично нереальне завдання. Певною САПР T-FLEX CAD [11, 12] одночасно розроблялися і розвивалися обидва напрямки - параметричне креслення і параметричне твердотільне моделювання. Таким чином, вдалося уникнути недоліків "чистих" 3D систем. У тих, хто розробляє креслення в T-FLEX CAD, немає ніяких проблем зі створенням на основі цих креслень тривимірних моделей. У свою чергу по 3D моделі можна легко отримати проекцію і оформити необхідний чертеж. В тих ситуаціях, коли в конструкції є обмежена кількість уніфікованих елементів, що змінюються в межах єдиної номенклатури виробів, доцільним є часткова параметризація цих елементів.

Мета статті. Виконати розробку комбінованої проектної процедури параметричного моделювання модифікованого евольвентного профілю та одно- та двократно затилованого зуба фрези, як основи подальшого 3D-моделювання

Матеріали та результати дослідження. Ефективним бачиться поєднання параметричних профілів в 2-D графічних редакторах з подальшим експортом в 3 D редактор. Такий компромісний варіант можна реалізувати в відомій САПР АРМ «WinMachine», розробленої в НТЦ АПМ [5, 13-17].

У даній роботі запропонована процедура параметризації:

- вихідного контуру зубчастого колеса, що нарізується;
- вихідного генеруючого контуру черв'ячної зуборізної фрези (без модифікації і з модифікацією типу фланк);
- затилування зуба з одноразовим і подвійним використанням архімедової спіралі.

Як відомо генеруючий контур фрези відрізняється від вихідного контуру зубчастого колеса розмірами: висоти головки h_a (на розмір радіального зазору в зачепленні); товщини зуба S_{n0} (збільшений на величину обов'язкового бічного зазору) і розташуванням фланки (α_f і h_{f0}) на ніжці зуба. На рис.1 представлені параметричні моделі вихідного контуру і генеруючого контуру з фланкуванням ніжки зуба.

Затилування задня поверхня фрези найчастіше окреслюється архімедовою спіраллю [6, 8], з огляду на спрощення технології виготовлення (простота виготовлення кулачків для затилування і використання широкої гами верстатів з узгодженими обертальним і поступальним рухами). Крім того, кожна крива затилування забезпечує достатні задні кути для всіх точок різальних крайок (з урахуванням можливих переточувань). У модулі АРМ Graph побудовані параметричні моделі одноразово і двократно затилованих поверхонь фрез (рис.2), окреслених архімедовою спіраллю (величина приросту радіуса вектора прямо пропорційна величині приросту полярного кута) [2, 18-20].

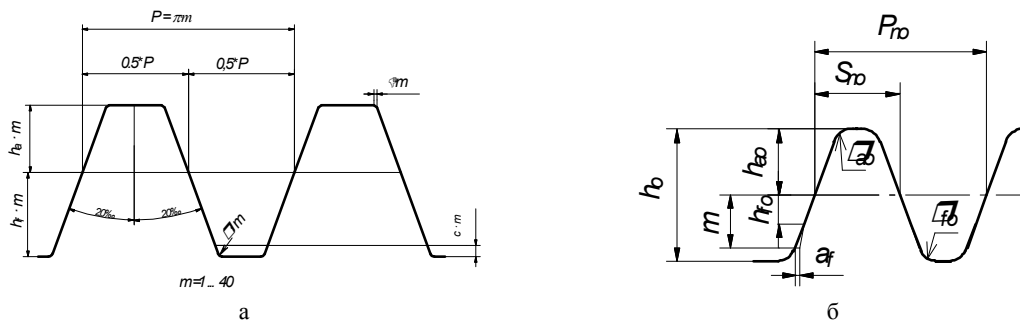


Рис. 1. Параметризовані вихідний (а) та генеруючий модифікований (б) контури

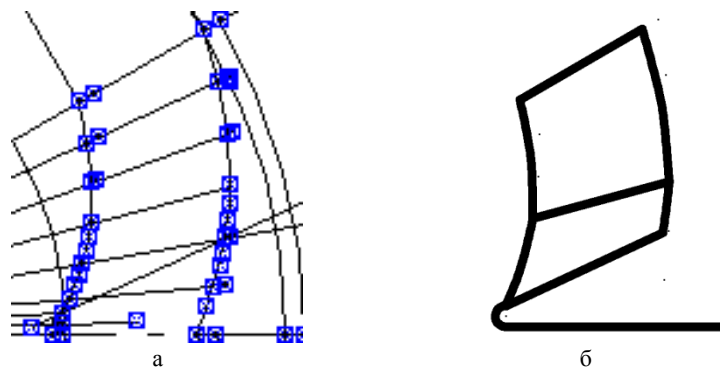


Рис. 2. Параметрична модель (а) та ескіз затилованого зуба (б)

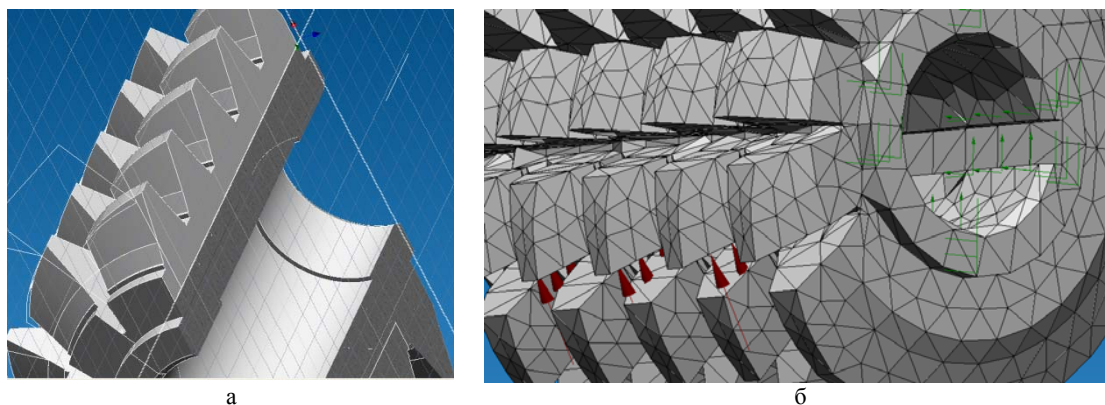


Рис. 3. Твердотільна модель фрези (а) і її кінцвоелементне уявлення (б)

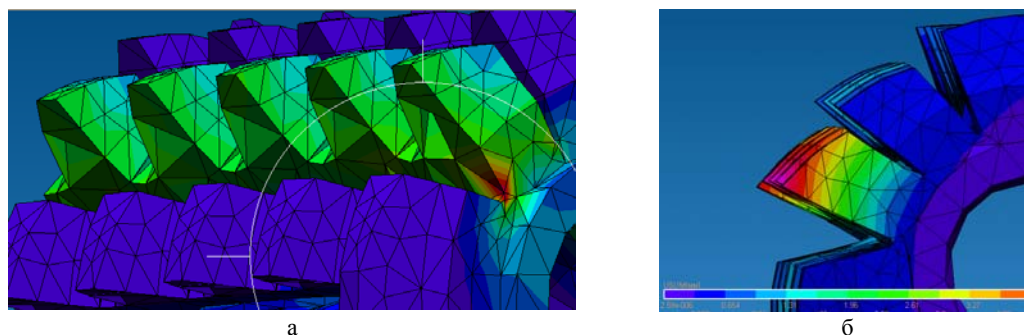


Рис.4. Результати розрахунку: поля напружень (а) та поля переміщень (б)

В основі організації комп'ютерної технології створення складних виробів машинобудування лежить формування повного електронного макету виробу, так як саме створення тривимірних електронних моделей, адекватних реально проєктованому виробу, відкриває можливості для створення більш якісної продукції (особливо складною, наукомісткою продукції) і в більш стислі терміни [21-24]. Тривимірне моделювання необхідно в якості надійного гнучкого та простого в застосуванні засобу для оптимізації процесу проєктування складнопрофільних інструментів і, нарешті, об'єднання завдань CAD / CAM в одному середовищі.

У середовищі модуля APM Studio побудована тривимірна модель черв'ячної зуборізної фрези (рис.3, а) і згенерована кінцвоелементна сітка з певним кроком розбиття (рис.3, б). У режимі кінцвоелементного аналізу встановлюються закріплення (фіксуються переміщення по осях X, Y, Z) і прикладаються сили (рис.3, б).

В рамках модуля APM Studio [25-28] здійснений статичний розрахунок конструкції, результати якого можна візуалізувати в графічному і числовому вигляді (рис.4).

В результаті 3D-моделювання побудовані поля напруг та переміщень у разі розгляду технологічного процесу нарізання зубчастого колеса, виготовленого із легірованої сталі 40X. Зубонарізання проводиться цільними черв'ячними фрезами діаметром 76

мм і довжиною, 102 мм, швидкість різання 62 м/хв. Під час різання черв'ячна фреза безперервно переміщається уздовж своєї осі на величину 76 мм. Зазор в ходовому гвинті шпинделя черв'ячної фрези вибирається за допомогою двох регулюючих гайок. Максимальна напруга спостерігається в ніжці зуба, що відповідає традиційній картині зубонарізання, а максимальне переміщення спостерігається в голівці зуба.

Висновки. Виконано розробку формалізованої процедури параметризації основних функціональних елементів зуборізних фрез, включаючи вхідний та генеруючий профілі, на основі котрих здійснюється побудова робочого модифікованого евольвентного профілю зуба з фланком у його ніжки. За рахунок параметричних рішень наступна побудова 3D моделі черв'ячної фрези є ефективніше ніж у разі традиційного процесу тривимірного моделювання. Більш того це особливо зменшує час роботи конструктора-інструментальщика при вирішенні задачі проєктування гами сучасного складнопрофільних фасонного інструменту. Запропоновано тривимірну модель черв'ячної зуборізної фрези у середовищі модуля APM Studio та згенерована кінцвоелементна сітка. У режимі кінцвоелементного аналізу проведено аналіз пружно-деформованого стану та побудовані поля напруг та переміщень, а також визначені найбільш небезпечні перерізи в зоні западин та виступів модифікованого профілю зуба з фланком.

Література

1. Кріль О.С., Шумакова Т.О., Соколов В.І. Проектування зуборізних інструментів за допомогою системи КОМПАС. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. – 144 с.
2. Krol O., Sokolov V.: Parametric Modeling of Gear Cutting Tools. In: Advances in Manufacturing II. Lecture Notes in Mechanical Engineering, vol. 4, pp. 3-11. Springer, Cham (2019).
3. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). – Спб.: Питер, 2004. – 560 с.
4. Киричек А.В.,Афонин А.Н. Проектирование металлообрабатывающих инструментов и технологической оснастки в T-FLEX CAD: Учеб. Пособие. – М.: Машиностроение, 2007. – 158 с.
5. Шелофаст В.В., Чугунова Т.В. Основы проектирования машин. Примеры решения задач. – М.: Изд-во АПМ, 2004. – 240 с.
6. Kunderák, J., Mitsyk, A., Fedorovich, V., Morgan, M., Markopoulos, A.: The Use of the Kinetic Theory of Gases to Simulate the Physical Situations on the Surface of Autonomously Moving Parts During Multi – Energy Vibration Processing. Materials 12(19), 3054 (2019).
7. Романченко О.В. Вибір системи синхронізації електропривода довгомірних вібраційних верстатів / Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2015. – № 52(1162). – С. 13–22.
8. Романов В.Ф. Расчет зубчатых инструментов. – М.: Машиностроение, 1969. – 201 с.
9. Мелконов Г., Ветряк С. Удосконалення токарного верстата 1А62 (16К20) шляхом заміни стандартного вузла встановленням взаємо пересувного різцетримача для обробки деталей з малим діаметром при відрізних операціях / Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, № 1(249), 2019, с. 23-25.
10. Кріль О.С. Параметрическое моделирование металлорежущих станков и инструментов. Монография. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2012. –116 с.
11. T-FLEX CAD 7.0 - Российская САПР нового поколения на ядре Parasolid/ КомпьютерПресс, № 7, 2000. – С 31-37.
12. Шустиков И. Параметризация в T-FLEX CAD 3D 8.0/ САПР и графика, №10, 2003. – с.56-64.
13. Замрий А.А. Практический учебный курс CAD/CAE АРМ WinMachine. Учебно-методическое пособие. – М.: Изд-во АПМ, 2007.– 144 с.
14. Krol O., Sokolov V.: Parametric Modeling of Transverse Layout for Machine Tool Gearboxes. In: Advances in Manufacturing II. Lecture Notes in Mechanical Engineering, vol. 4, pp. 122-130. Springer, Cham (2019).
15. Кріль О.С., Кріль А.А. Параметризація поперечних компоновок привода головного руху // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ: вип.24, 2009. – С. 164 – 168.
16. Krol O., Tsankov P., Sokolov V. Rational choice of two support spindles for machining centers with lubrication system // EUREKA: Physics and Engineering. – N. 3. – 2018. – P. 52–58.
17. Krol O., Sokolov V. Rational choice of machining tools using prediction procedures // EUREKA: Physics and Engineering. – N 4. – 2018. – P. 15–20.
18. Krol O.S., Sokolov V.I. Parametric Modeling Of Machine Tools For Designers. – Sofia: Prof. Marin Drinov Academy Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2018. – 112 p.
19. Кріль О.С. Построение параметрических моделей ременных передач с использованием системы АРМ WINMACHINE / Восточноевропейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2012. № 2/7(62). – С. 61 – 63.
20. Krol O., Osipov V. Modeling of construction spindle's node machining centre / TEKA Comission of Motorization and Power Industry of Agriculture. – OL PAN, 2013, Vol.13, № 3, Lublin, Poland. – P. 108 – 114.
21. Krol O., Sokolov V. Modelling of spindle nodes for machining centers // Journal of Physics: Conference Series. – Vol. 1084, 012007 (2018).
22. Krol, O., Sokolov, V.: 3D modelling of angular spindle's head for machining centre. Journal of Physics: Conference Series. – Vol.1278, 012002 (2019).
23. Krol O.S., Sokolov V.I. 3D Modeling Of Machine Tools For Designers. – Sofia: Prof. Marin Drinov Academy Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2018. – 140 p.
24. Кріль О.С., Кріль А.А., Бурлаков Е.И. Твердотельное моделирование и исследование шпиндельного узла обрабатывающего центра / Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ» – № 16(989), 2013. – С. 14 – 18.
25. Кріль О.С. Методы и процедуры 3D-моделирования металлорежущих станков и инструментов – Северодонецк: изд-во ВНУ им. В.Даля, 2015. – 120 с.
26. Кріль О.С. Методы и процедуры оптимизации режимов резания: монография. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2013. – 260 с.
27. Кріль О.С., Хмеловский Г.Л. Оптимизация и управление процессом резания: учебное пособие. – К: УМК ВО, 1991. – 140 с.
28. Krol, O., Sokolov, V. (2018). Modeling Carrier System Dynamics for Metal-Cutting Machines. 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), IEEE. – P. 1–5.

References

1. Krol O., Shumakova T., Sokolov V. Design metal cutting instruments by dint of system of KOMPAS. V. Dahl EUNU, Lugansk, 2013. – 144 p.
2. Krol O., Sokolov V.: Parametric Modeling of Gear Cutting Tools. In: Advances in Manufacturing II. Lecture Notes in Mechanical Engineering, vol. 4, pp. 3-11. Springer, Cham (2019).
3. Li K. Osnovyi SAPR (CAD/CAM/CAE). – Spb.: Piter, 2004. – 560 s.
4. Kirichek A.V.,Afonin A.N. Proektirovanie metallobrabatyvayuschih instrumentov i tehnologicheskoy osnastki v T-FLEX CAD: Ucheb. Posobie. – М.: Mashinostroenie, 2007. – 158 s.
5. Shelofast V.V., Chugunova T.B. Osnovyi proektirovaniya mashin. Primeryi resheniya zadach. – М.: Izd-vo APM, 2004. – 240 s.
6. Kunderák, J., Mitsyk, A., Fedorovich, V., Morgan, M., Markopoulos, A.: The Use of the Kinetic Theory of Gases to Simulate the Physical Situations on the Surface of Autonomously Moving Parts During Multi – Energy Vibration Processing. Materials 12(19), 3054 (2019).
7. Romanchenko O.V. Vibir sistemi sinhronizatsiyi elektroprivoda dovgomirnih vibratsiyinih verstativ / Visnik NTU "HPI". Seriya: Mehaniko-tehnologichni sistemi ta kompleksi. – 2015. – No 52(1162). – S. 13–22.
8. Romanov V.F. Raschet zubchatyih instrumentov. – М.: Mashinostroenie, 1969. – 201 s.

9. Melkonov G., Vetryak E. Udoskonalennya tokarnogo verstata 1A62 (16K20) shlyahom zamini standartnogo vuzla vstanovlenniam vzaemo peresuvnogo rizsetrimacha dlya obrobki detaley z malim diametrom pri vidriznih operatsiyah / Visnik Shidnoukrayinskogo natsionalnogo universitetu imeni Volodimira Dalya, No 1(249), 2019. – S. 23–25.
10. Krol O.S. Parametricheskoe modelirovanie metallorezhuschih stankov i instrumentov. Monografiya. Lugansk: SNU im. V. Dalya, 2012. – 116 s.
11. T-FLEX CAD 7.0 - Rossiyskaya SAPR novogo pokoleniya na yadre Parasolid/ KompyuterPress, No 7, 2000. – S. 31-37.
12. Shustikov I. Parametrizatsiya v T-FLEX CAD 3D 8.0/ SAPR i grafika, No. 10, 2003. – S.56-64.
13. Zamriy A.A. Prakticheskiy uchebnyiy kurs SAD/CAE APM WinMachine. Uchebno-metodicheskoe posobie. – M.: Izd-vo APM, 2007. – 144 s.
14. Krol O., Sokolov V.: Parametric Modeling of Transverse Layout for Machine Tool Gearboxes. In: Advances in Manufacturing II. Lecture Notes in Mechanical Engineering, vol. 4, pp. 122-130. Springer, Cham (2019).
15. Krol O.S., Krol A.A. Parametrizatsiya poperechnih komponovok privoda glavnogo dvizheniya // NadlynIst Instrumentu ta optimIzatsIya tehnologIchnih sistem. Zbrlnik naukovih prats. – Kramatorsk: vip.24, 2009. – S. 164 – 168.
16. Krol O., Tsankov P., Sokolov V. Rational choice of two support spindles for machining centers with lubrication system // EUREKA: Physics and Engineering. – N. 3. – 2018. – P. 52–58.
17. Krol O., Sokolov V. Rational choice of machining tools using prediction procedures // EUREKA: Physics and Engineering. – N 4. – 2018. – P. 15–20.
18. Krol O.S., Sokolov V.I. Parametric Modeling Of Machine Tools For Designers. – Sofia: Prof. Marin Drinov Academy Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2018. – 112 p.
19. Krol O.S. Postroenie parametricheskikh modeley remennyih peredach s ispolzovaniem sistemyi ARM WINMACHINE / Vostochnoevropeyskiy zhurnal peredovyih tehnologiy. – Harkov, 2012. No. 2/7(62). – S. 61 – 63.
20. Krol O., Osipov V. Modeling of construction spindle's node machining centre / TEKA Comission of Motorization and Power Industry of Agriculture. – OL PAN, 2013, Vol.13, № 3, Lublin, Poland. – P. 108 – 114.
21. Krol O., Sokolov V. Modelling of spindle nodes for machining centers // Journal of Physics: Conference Series. – Vol. 1084, 012007 (2018).
22. Krol, O., Sokolov, V.: 3D modelling of angular spindle's head for machining centre. Journal of Physics: Conference Series. – Vol.1278, 012002 (2019).
23. Krol O.S., Sokolov V.I. 3D Modeling Of Machine Tools For Designers. – Sofia: Prof. Marin Drinov Academy Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2018. – 140 p.
24. Krol O.S., Krol A.A., Burlakov E.I. Tverdotelnoe modelirovanie i issledovanie shpindel'nogo uzla obrabatyivayushchego tsentra / Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI». Seriya: Novi rishennya v suchasnihi tehnologiyah. – H: NTU «HPI» – No. 16(989), 2013. – S. 14 – 18.
25. Krol O.S. Metody i protsedury 3D-modelirovaniya metallorzhuschih stankov i instrumentov – Severodonetsk: izd-vo VNU im. V.Dalya, 2015. – 120 s.
26. Krol O.S. Metody i protsedury optimizatsii rezhimov rezaniya: monografiya. – Lugansk: VNU im. V.Dalya, 2013. – 260 s.
27. Krol O.S., Hmelovskiy G.L. Optimizatsiya i upravlenie protsessom rezaniya: uchebnoe posobie. – K: UMK VO, 1991. – 140 s.
28. Krol, O., Sokolov, V. (2018). Modeling Carrier System Dynamics for Metal-Cutting Machines. 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), IEEE. – P. 1–5.

Кроль О.С. Исследование конструкции и построение параметрических и 3D моделей зубонарезной фрезы с фланком

Предложен инструментарий параметрического моделирования в приложении к задачам проектирования и моделирования зуборезного инструмента, работающего по методу обкатки. Разработаны специализированные программы построения параметризованных профилей червячных зуборезных фрез для обработки зубчатых колес. Предложены процедуры построения специализированных графических примитивов для моделирования реечного контура, модифицированного эвольвентного профиля, переходной кривой боковой поверхности зуба фрезы с фланцем. В состав программы параметрического моделирования введен способ верификации допустимых вариантов контуров нерабочей части профиля зуба фрезы. Рассмотрены особенности взаимодействия параметрических профилей в 2D-графическом редакторе APM Graph с последующим экспортом в 3D-редактор APM Studio. Построены трехмерные твердотельные модели червячной зуборезной фрезы в редакторе APM Studio на основе параметризованных графических примитивов. Проведено исследование напряженно-деформированного состояния зуба фрезы методом конечных элементов

Ключевые слова: параметрическая модель, червячная зуборезная фреза, 3D модель, модификация профиля зуба, напряженно-деформированное состояние.

Krol O.S. Research of the design and construction of parametric and 3d models of gear cutting mills with flank

The problem of constructing parametric models of milling gear cutting tools with a modified profile in the form of a flank at the tooth leg is considered. Software for the implementation of the procedure for constructing such unified elements of the tooth profile as the involute profile, as well as once and twice backed posterior surfaces in an Archimedean spiral has been created. The main components of the profile in the form of corresponding graphic primitives for modeling a rack contour, a modified involute profile, a transition curve of the side surface of the cutter tooth with a flange are presented. An algorithm for the interaction of parametric profiles in the two-dimensional graphics editor APM Graph is proposed, followed by implementation in the 3D-editor APM Studio. In the process of parametric description of the complex working profile of the cutter tooth, the syntax of the APM WinMachine system in the shell of the "friendly" interface of this system is used. A particularly effective tool is the ability to create a parameterized database of gear cutting tools with stereotypical elements: an involute profile, a once-backed curve, a twice-backed curve, a transition surface. An algorithm for determining the position of the interface point of the active profile with the transition curve in a parametric form is proposed. A minimum of input parameters has been identified, which allows to accelerate the process of

multivariate design of worm gear cutting mills when changing the designs of machined gear wheels with various modules. 3D models of worm gear cutting mills in the APM Studio editor based on parameterized graphic primitives were developed. In the environment of the three-dimensional editor APM Studio, a finite element mesh was generated with a certain split step. A feature of this generation of the finite element mesh of the working surface of the tooth is the use of an uneven mesh to more accurately fit the finite elements into a complex cross section. The designed structure of the cutter was checked for connectivity before calculation, which allowed to implement the construction of a solid model and perform a complex calculation of a worm gear cutting

mills. The analysis of the stress-strain state of the cutter tooth by the finite element method is presented.

Keywords: *parametric model, worm gear cutting mill, 3D model, modification of the tooth profile, stress-strain state.*

Кріль Олег Соломонович – к.т.н., доц., професор кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Сєвєродонецьк) krolos.snu.edu@gmail.com

Стаття подана 11.02.2020 р.