УДК 621.9.013.2

О.Ю. Журавель¹¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КУТІВ СТРУЖКОУТВОРЕННЯ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСУ ТОЧІННЯ БУРОВОЇ КОРОНКИ

Розглядається метод визначення кутів стружкоутворення, а саме внутрішнього тертя-зсуву та зовнішнього тертя-ковзання при точінні корпусу бурової коронки. Вивчаються співвідношення кутів з використанням моделювання напружено-деформованого стану, методу найменших квадратів та графоаналітичного методу розрахунку. Методика досліджень базується на застосуванні елементів теорії різання стосовно схеми утворення зливної стружки і моделі пластичної деформації металу з однією поверхнею зсуву при вільному різанні без наросту на передній поверхні леза. Проведені комп'ютерні експерименти та визначені залежності кутів стружкоутворення від швидкості різання та від переднього кута леза. Результати статті можуть бути використані для автоматизації визначення раціональних режимів різання для зниження собівартості виготовленого продукту за рахунок зниження витрат матеріалу, інструменту та підвищення якості оброблюваної поверхні.

DOI: 10.34185/0543-5749.2020-1-14-24

Вступ

При відпрацюванні родовищ підземним способом Застосування шпурової відбійки, у тому числі якісних бурових коронок, при шаровій системі розробки дозволило забезпечити не тільки зниження витрат і розубожіння, але і підвищити продуктивність праці на проходці гірничих виробок, отримати гранулометричний склад машинних класів для подальшої переробки [1].

Подальше вдосконалення бурової коронки лежить в основі її розробки конструкторсько-технологічних параметрів і технологічних процесів, які відповідають вимогам по якісним, ціновим і екологічним показникам.

Одним з варіантів вирішення зазначеної проблеми є розробка методу визначення кутів стружкоутворення при моделюванні процесу точіння бурової коронки, що дозволяють знизити витрати матеріалу, інструменту та підвищити якості оброблюваної поверхні.

Однією з важливих проблем теорії різання, пов'язаних з дослідженнями і розрахунками складових сили стружкоутворення і густини теплових потоків через відповідні дотичні

напруження [2 – 5], є визначення наступних кутів:

- зовнішнього тертя-ковзання ρ_γ між стружкою і передньою поверхнею леза A_γ ;
- внутрішнього тертя-зсуву ρ_s металу в площині зсуву P_ϕ ;
- нахилу площини зсуву P_ϕ до площини різання P_n (кута зсуву ϕ).

Метою роботи є розробка методики розрахунку співвідношення кутів процесу стружкоутворення з використанням моделювання напружено-деформованого стану, методу найменших квадратів та графоаналітичного методу розрахунку.

Методика

Методика проведення дослідження:

- визначення початкових даних, допущень та обмежень у дослідженні;
- моделювання напружено-деформованого стану зони стружкоутворення методом кінцевих елементів за допомогою програмного забезпе-

чення «DEFORM™-2D Machining (cutting) Lab» від SFTC, отримання відеоматеріалів процесу різання та зображень напружено-деформованого стану зони стружкоутворення;

– адаптація для подальшої обробки отриманих зображень після моделювання за допомогою програмного забезпечення для редагування зображень FastStone «Image Viewer 7.4», отримання зображень зони по якій проходить поверхні зсуву матеріалу;

– обробка зони зсуву матеріалу за допомогою програмного забезпечення АСКОН

«КОМПАС», отримання координат точок поверхні зсуву матеріалу;

– апроксимація лінійною залежністю точок поверхні зсуву матеріалу за допомогою методу найменших квадратів, отримання значень кутів зсуву матеріалу для різних параметрів обробки;

– визначення графоаналітичним методом кутів внутрішнього тертя-зсуву та зовнішнього тертя-ковзання, отримання залежностей кутів стружкоутворення від швидкості різання та переднього кута леза.

Таблиця 1. Початкові дані експерименту

Матеріал заготовки				
Сталь 45				
Геометричні параметри леза				
Передній кут, град	Радіус при вершині r [мм]	Фаска зносу h [мм]	Кут у плані j [град]	Кут нахилу різальної кромки l [град]
-10	0	0	45	0
-5				
0				
5				
10				
15				
20				
Режими різання				
Швидкість різання, м/с	Глибина різання t [мм]		Подача s [мм/об]	
0,50	2,80		0,35	
0,85				
1,25				
1,60				
2,00				
2,35				

Допущення та обмеження у дослідженні:

– використовується класична теорія пластичної деформації яка описується тензорами та базується на постулаті Друкера;

– застосована вільна схема різання;

– не враховується наріст на передній поверхні різця;

– не враховується тертя по задній поверхні різця;

– дослідження проходить у двовірній системі координат;

Результати та їх обговорення

Для моделювання напружено-деформованого стану зони стружкоутворення та визначення кута зсуву використовувалось програмне забезпечення «DEFORM™-2D Machining (cutting) Lab» від SFTC.

DEFORM-2D кінцево-елементна система моделювання, призначена для аналізу двовимірної (2D) поведінки металу при різних процесах механічної обробки. DEFORM-2D надає важливу інформацію про поведінку матеріалів і розподілі температур під час процесів різання.

З метою скорочення часу на моделювання використовуються певні спрощення, зокрема розглядається тільки фрагмент (сектор) заготовки та різального інструменту рис. 1.

Обрано параметри різання які максимально охоплюють усі поширені випадки обробки металів, відображені у таблиці 1.

Програма DEFORM Machining 2D моделює процес різання металу і відображає його у двовірній системі координат рис. 2.

За допомогою програмного забезпечення DEFORM Machining 2D виконано серію комп'ютерних експериментів з різноманітними

технологічними параметрами. Зображення процесу моделювання отримане для випадку де

передній кут різця мінус 10 градусів відображено на рис. 3.

Рис. 1. Зв'язок між даними процесу та даними аналізу

Рис. 2. Приклад відображення процесу різання у програмі DEFORM™-2D Machining

Рис. 3. Зображення процесу моделювання, передній кут різця мінус 10 град.

Використовуючи програмне забезпечення для редагування зображень FastStone «Image Viewer 7.4» підвищено контрастність, яскравість, насиченість для чіткого виділення області стружкоутворення на кожному зображенні. Ця операція дає змогу прибрати плавні переходи кольору у зоні різання та виділити зону по якій

проходить поверхня зсуву матеріалу. Завдяки чому, зона стружкоутворення приймає чіткі контури, значення яких можна задати як координати точок двовірного простору. На даному етапі площа зсуву матеріалу має вигляд плями з безкінечною кількістю точок яка має чітко описаний контур рис. 4.

Рис. 4. Вдосконалене зображення процесу різання, передній кут різця мінус 10 град.

За допомогою програмного забезпечення АСКОН «КОМПАС» зону зсуву матеріалу розбито на десять рівних частин по осі абсцис за допомогою паралельних допоміжних прямих. Кожна допоміжна пряма перетинає лінію границі зони зсуву матеріалу у двох точках. Проведено відрізок по кожній допоміжній прямій, де початкова та кінцева точки відрізків будуть точками у яких допоміжні прямі перетинають зону зсуву матеріалу. Середини усіх відрізків відмі-

чено точками координати яких і будуть використані для розрахунку кута зсуву матеріалу рис. 5.

Нульовою точкою відліку двовірної системи координат для вирахування розташування точок задано перетином двох допоміжних прямих які побудовані на лініях які являються передньою та задньою поверхнями різця. Усі координати відносні та неприв'язані до жодних одиниць вимірювання Координати точок для одного з випадків відображено у таблиці 2.

Рис. 5. Вдосконалене зображення процесу різання з координатами точок для визначення кута зсуву

Таблиця 2. Координати точок поверхні зсуву матеріалу для випадку з параметрами: сталь 45, передній кут різця 0 град, швидкість різання 2 м/с

№ точки	Координата абсцис x	Координата ординат y
1	11,7	3,98
2	23,4	9,57
3	35,1	15,94
4	46,8	22,91
5	58,5	30,36
6	70,2	37,17
7	81,9	46,00
8	93,6	53,53
9	105,3	61,16
10	117,0	67,96

Для визначення кута зсуву значення координат точок апроксимуються лінійною залежністю за допомогою методу найменших квадратів [6, 7].

Метод найменших квадратів служить для оцінки невідомих величин за результатами вимірювань, які містять випадкові похибки. Серед багатьох застосувань цього методу най-

важливішим є знаходження рівняння, яке найбільш точно описує дану залежність для подання дослідних результатів.

Нехай $x_1, x_2, \dots, x_n$ – послідовність значень незалежної змінної, а $y_1, y_2, \dots, y_n$ – послідовність відповідних значень залежної змінної. Припустимо, що точки $M_1(x_1; y_1), M_2(x_2; y_2), \dots, M_n(x_n; y_n)$ приблизно розташовуються на одній

прямій. Поставимо за мету підібрати рівняння прямої $y = ax + b$, яка є найточнішим наближенням залежності між x та y .

За допомогою вбудованої функції, яка описує метод найменших квадратів, за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel, проведено усі розрахунки. Результатом розрахунку є рівняння яке описує пряму.

Наступним етапом обчислюється значення $y_{\text{лін}}$ по формулі $y_{\text{лін}} = ax + b$ для усіх значень x . Знаходиться коефіцієнт нахилу прямої за формулою:

$$k = \frac{y_{\text{лін}}^{10} - y_{\text{лін}}^1}{x^{10} - x^1}, \quad (1)$$

Таблиця 3. Показники кутів зсуву ϕ

Швидкість різання, м/с	Передній кут різця, град						
	-10	-5	0	5	10	15	20
0,5	28,2919	30,2858	32,5141	34,8255	37,7053	41,9957	48,1870
0,85	28,0556	30,1282	32,0723	33,5791	35,5873	39,7605	47,5863
1,25	27,9416	29,9621	31,8432	33,2706	35,2025	39,3510	47,3229
1,6	27,9758	29,9104	31,7889	33,3192	35,3797	39,5563	47,2730
2	28,1158	29,9266	31,8432	33,6357	36,0042	40,2291	47,3229
2,35	28,3074	30,1089	32,0603	33,9555	36,4329	40,6509	47,4577
2,75	28,6502	30,6615	32,7433	34,6716	37,1232	41,2538	47,7520

Для визначення внутрішнього та зовнішнього кутів зсуву використана алгоритмічна модель розрахунку частина якої вперше представлена у роботі [8]. Структурна схема алгоритму графоаналітичного розрахунку кутів процесу стружкоутворення відображена на рис. 6.

Початковими даними для розрахунку є: величина переднього кута леза g , прийняті режими різання і емпіричні залежності для складових сили різання, а також значення кута зсуву ϕ , що приведені вище у таблиці 3. Показники кутів зсуву ϕ .

Усі посилання, математичні залежності та графічні процедури, що стосуються кожного із блоків алгоритмічної моделі опубліковані у роботі [9].

В таблиці 1 наведені режими різання та геометричні параметри леза, що були прийняті у якості початкових даних для експериментів.

Програмна реалізація алгоритмічної моделі здійснена у середовищі Microsoft Excel та графоаналітично у програмі КОМПАС-3D.

Усі функції блоку розрахунку знаходяться

де $y_{\text{лін}}^{10}$ – значення $y_{\text{лін}}$ для 10-ї точки; $y_{\text{лін}}^1$ – значення $y_{\text{лін}}$ для 1-ї точки; x^{10} – значення x для 10-ї точки; x^1 – значення x для 1-ї точки.

Значення кута зсуву знаходяться за формулою:

$$\phi = \arctg(k). \quad (2)$$

Показники кутів зсуву ϕ для усіх випадків відображені у таблиці 3.

в структурі Microsoft Excel, тобто використовується відкрита послідовність розрахунків.

Для розрахунків застосована формула, що наведена в роботі [8]:

$$P_z = C_{P_z} t^{x_z} s^{y_z} V^n K_{P_z} \quad (3)$$

де x , y , z , h , n , u – показники ступеню (див. табл. 4. Показники ступеню у формулі (3)).

Враховуючи на те, що всі три складові сили різання підраховуються по одній і тій же формулі (2), то була створена відповідна підпрограма.

Дотичні напруження в площині зсуву τ_s повинні бути відповідні розрахованим по емпіричним формулам складовим силам різання. Тому у подальших комп'ютерних обчисленнях показники ступенів у формулі (3) та величини кутів приведені у таблиці 3. Показники кутів зсуву ϕ .

З використанням запропонованої алгоритмічної моделі проведено серію комп'ютерних експериментів та одержані залежності кутів стружкоутворення від переднього кута леза (рис. 7) та від швидкості різання (рис. 8).

Рис. 6. Структурна схема алгоритму графоаналітичного розрахунку поверхні зсуву за допомогою метода кінцевих елементів

Таблиця 4. Показники ступеню у формулі (3)

Складові сили різання [Н]	Коефіцієнт C_p для сталі		x	y	z	h	n	u
	45	12X18H9T						
Дотична P_z	1560	1790	1,0	0,75	-0,15	1,1	0,1	0,4
Нормальна P_y	620	809	0,9	0,60	-0,30	2,8	0,3	1,4
Осьова P_x	437	460	1,0	0,50	-0,40	2,4	-0,2	1,2

Рис. 7. Залежності кутів стружкоутворення від переднього кута леза для сталі 45

Рис. 8. Залежності кутів стружкоутворення від швидкості різання для сталі 45

Надані методики графоаналітичного розрахунку співвідношення кутів процесу стружкоутворення відповідають основним напрямкам наукових досліджень в технології машинобудуванні та матеріалознавстві. Наприклад, в роботах [10, 11] наведені результати експериментальних досліджень механізмів, основаних на терті. В роботах [12, 13] досліджено вплив проектних параметрів на експлуатаційні показники механізмів тертя. В роботах [14, 15] розглянуто способи підвищення міцності матеріалів та вплив їх на показники безпеки. В роботі [16] проаналізовано використання результатів моделювання для розрахунку параметрів механізмів.

Результати:

1. Розроблена методика розрахунку співвідношення кутів процесу стружкоутворення з використанням моделювання напружено-деформованого стану, методу найменших квадратів та графоаналітичного методу розрахунку.

2. Програмна реалізація алгоритмічної моделі здійснена в середовищах DEFORMTM-2D Machining, КОМПАС-3D та Microsoft Excel.

Висновки

Проведені комп'ютерні експерименти та визначені залежності кутів процесу стружкоутворення від швидкості різання та від переднього кута леза.

Для найпоширенішої у промисловому виробництві матеріалу марки сталі 45 кут ρ_s характеризується відносною стабільністю і, як правило, є більшим від кута ρ_γ на 5÷15 % в залежності від швидкості різання. В зв'язку з цим стає значення кута ρ_s може бути використано у якості першого наближення при інженерному аналізі процесу стружкоутворення.

Результати статті можуть бути використані для автоматизації підходу до визначення раціональних режимів різання для зниження собівартості виготовленого кінцевого продукту за рахунок зниження витрат матеріалу, інструменту та підвищення якості оброблюваної поверхні.

Бібліографічний список

1. Проців В. В., Пацера С. Т., Журавель О. Ю., Недельський О. Г. Підвищення якості мінеральної сировини при відпрацюванні складно-структурних родовищ корисних копалин підземним способом // Збагачення корисних копа-

лин : Наук.-техн. зб. 2019. Вип. 73 (114). С. 33–43.

2. Зорев Н. Н. Вопросы механики процесса резания металлов. Москва : Машгиз, 1956. 368 с.

3. Розенберг А. М., Еремін А. Н. Элементы теории процесса резания металлов. Москва : Машгиз, 1956. 320 с.

4. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов. Москва : Машиностроение, 1975. 344 с.

5. Основы теорії різання металів / М. П. Мазур та ін., під заг. ред. М. П. Мазура. Новий світ 2000, 2010. 422 с.

6. Стренг Г. Линейная алгебра и ее применения. Москва : Мир. 1980.

7. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. Москва, 1962.

8. Zhuravel O., Derbaba V. A., Protsiv V. V., Patsera S. T. Interrelation between Shearing Angles of External and Internal Friction During Chip Formation. Solid State Phenomena, 2019. Vol. 291. Materials Properties and Technologies of Processing, 193-203. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.291.193>.

9. Кравченко Ю. Г., Дербаба В. А., Крюкова Н. В. К вопросу эмпирического определения напряжений и коэффициентов трения при стружкообразовании. Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. Харьков : НТУ "ХПИ", 2015. Вып. 85. С. 137–148. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/21966>.

10. Protsiv V. V., Monya A. G. Experimental determination of characteristics of clutch of mine locomotive under the braking conditions. Metallurgicheskaya i Gornorudnaya Promyshlennost. 2003, № 2. С. 95–97.

11. Kyrychenko Y., Samusia V., Kyrychenko V., Goman, O. Experimental investigation of aeroelastic and hydroelastic instability parameters of a marine pipeline. Geomechanical Processes During Underground Mining – Proceedings of the School of Underground Mining, Dnipropetrovsk-Yalta, 24-28 September, 2012. P. 163–167.

12. Protsiv V. V., Samoilov A. I., Bondarev A. O. Design of braking process of mine diatomic locomotive on rail way. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2012. (5), P. 66-70. URL: <https://cutt.ly/ad5dOeA>.

13. Protsiv V. V., Novitsky O. V., Samoilov A. I. Advantages of magnetic loader over rail brakes on mine locomotive. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2012. (4). P. 79–83. URL: <https://cutt.ly/xd5d2Xf>.

14. Patsera S., Protsiv V., Kosmin V. Feasible Ways To Improve The Durability Of The Pumps' Parts Operating With Hydroabrasive Mixtures. *Mechanics, Materials Science & Engineering Journal*, Magnolihe, 2015. P. 135–139. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01305948>.

15. Ziborov K., Protsiv V., Fedoriachenko S., Verner I. On Influence Of Design Parameters Of Mining Rail Transport On Safety Indicators. *Mechanics, Materials Science & Engineering Journal*, Magnolihe, 2015. P. 62 – 69. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01305948>.

16. Protsiv V. V. Usage of tire-shoe brake on mine locomotive. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2013. № 3. P. 59-64. URL: <https://cutt.ly/ad5glMo>.

References

1. Protsiv, V.V., Patsera, S.T., Zhuravel, O.Iu., Nedelskyi, O.H. (2019) Pidvyshchennia yakosti mineralnoi syrovyny pry vidpratsiuvanni skladno-strukturnykh rodovysheh korysnykh kopalyn pidzemnym sposobom. *Zbahachennia korysnykh kopalyn*, 73 (114), 33-43

2. Zorev, N.N. (1956). *Voprosy mekhaniki protsessa rezaniia metallov*. Mosvka: Mashgiz

3. Rozenberg, A.M., & Eremin, A.N. (1956). *Ehlementy teorii protsessa rezaniia metallov*. Mosvka: Mashgiz

4. Bobrov, V.F. (1975). *Osnovy teorii rezaniia metallov*. Mosvka: Mashinostroenie

5. Mazur, M.P. (Ed.). (2010). *Osnovy teorii rizannia metaliv*. Novyi svit 2000

6. Streng, G. (1980). *Lineinaia algebra i ee primeneniia*. Moskva: Mir

7. Linnik, Iu.V. (1962). *Metod naimenshikh kvadratov i osnovy matematiko-statisticheskoi teorii obrabotki nabliudenii*, Moskva

8. Zhuravel, O., Derbaba, V.A., Protsiv, V.V., & Patsera, S.T. (2019). Interrelation between Shearing Angles of External and Internal Friction During Chip Formation. *Solid State Phenomena*, (291). *Materials Properties and Technologies of Processing*, 193-203. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.291.193>

9. Kravchenko, Iu.G., Derbaba, V.A., & Kriukova, N.V. (2015). K voprosu ehmpiricheskogo opredeleniia napriazhenii i koehffitsientov treniia pri struzhkoobrazovanii. *Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh*. Mezhdunar. nauch.-tekhn. sb. Kharkov : NTU "KHPI", 85, 137-148. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/21966>

10. Protsiv V.V., & Monya A.G. (2003). Experimental determination of characteristics of clutch of mine locomotive under the braking conditions. *Metallurgicheskaya i Gornorudnaya Promyshlennost*. (2), 95-97

11. Kyrychenko, Y., Samusia, V., Kyrychenko, V., & Goman, O. (2012). Experimental investigation of aeroelastic and hydroelastic instability parameters of a marine pipeline. *Geomechanical Processes During Underground Mining – Proceedings of the School of Underground Mining*, Dnipropetrovsk-Yalta, 24-28 September, 163– 167

12. Protsiv, V.V., Samoilov, A.I., & Bondarev, A.O. (2012). Design of braking process of mine diaxonic locomotive on rail way. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 66-70. URL: <https://cutt.ly/ad5dOeA>

13. Protsiv, V.V., Novitsky, O.V., & Samoilov, A.I. (2012) Advantages of magnetic loader over rail brakes on mine locomotive. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (4), 79-83. URL: <https://cutt.ly/xd5d2Xf>

14. Patsera, S., Protsiv, V., & Kosmin V. (2015). Feasible Ways To Improve The Durability Of The Pumps' Parts Operating With Hydroabrasive Mixtures. *Mechanics, Materials Science & Engineering Journal*, Magnolihe, 1, 135-139. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01305948>

15. Ziborov, K., Protsiv, V., Fedoriachenko, S., & Verner, I. (2015). On Influence Of Design Parameters Of Mining Rail Transport On Safety Indicators. *Mechanics, Materials Science & Engineering Journal*, Magnolihe, 62-69. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01305948>

16. Protsiv, V.V. (2013). Usage of tire-shoe brake on mine locomotive. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (3), 59-64. URL: <https://cutt.ly/ad5glMo>

Журавель Олексій Юрійович, аспірант, кафедри технології машинобудування та матеріалознавства, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (Дніпро, Україна). E-mail: alekseyzhuravel@ukr.net

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КУТІВ СТРУЖКОУТВОРЕННЯ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСУ ТОЧІННЯ БУРОВОЇ КОРОНКИ

Метою роботи є розробка методики розрахунку співвідношення кутів процесу стружкоутворення з використанням моделювання напружено-деформованого стану, методу найменших квадратів та графоаналітичного методу розрахунку.

Методика досліджень базується на застосуванні елементів теорії різання стосовно схеми утворення зливної стружки і моделі пластичної деформації металу з однією поверхнею зсуву при вільному різанні без наросту на передній поверхні леза. Для моделювання напружено-деформованого стану зони стружкоутворення та визначення кута зсуву використовувалось програмне забезпечення, яке базується на методі кінцевих елементів, призначення якого є аналіз двовимірної поведінки металу при різних процесах механічної обробки. Апроксимація лінійною залежністю точок поверхні зсуву матеріалу за допомогою методу найменших квадратів, отримання значень кутів зсуву матеріалу для різних параметрів обробки. Визначення графоаналітичним методом кутів внутрішнього тертя-зсуву та зовнішнього тертя-ковзання, отримання залежностей кутів стружкоутворення від швидкості різання та передньою кута леза.

Результати. Розроблена методика розрахунку співвідношення кутів процесу стружкоутворення з використанням моделювання напружено-деформованого стану, методу найменших квадратів та графоаналітичного методу розрахунку. Програмна реалізація алгоритмічної моделі здійснена в середовищах DEFORM™-2D Machining, КОМПАС-3D та Microsoft Excel.

Наукова новизна. Удосконалено структурну схему алгоритму графоаналітичного розрахунку кутів процесу стружки утворення. Вперше розроблено методика розрахунку співвідношення кутів процесу стружкоутворення з використанням моделювання напружено-деформованого стану, методу найменших квадратів та графоаналітичного методу розрахунку.

Практична цінність. Розроблена методика розрахунку співвідношення кутів процесу стружкоутворення може застосовуватися у якості першого наближення або базису при інженерних аналізах процесу стружкоутворення. Також, результати статті можуть бути використані для автоматизації підходу до визначення раціональних режимів різання для зниження собівартості виготовленого кінцевого продукту за рахунок зниження витрат матеріалу, інструменту та підвищення якості оброблюваної поверхні.

Ключові слова: кути стружкоутворення, напружено-деформований стан, метод найменших квадратів.

Oleksii Zhuravel, Research doctorate, Departments of Engineering Technology and Materials Science, National Technical University "Dniprovsk Polytechnic" (Dnipro, Ukraine). E-mail: alekseyzhuravel@ukr.net

METHOD OF DETERMINATION OF CORNING CORNER ANGLES IN SIMULATION OF DRILLING CORN

The purpose of this work is to develop a method for calculating the ratio of angles of the chip formation process using the modeling of stress-strain state, least-squares method and graphoanalytic method of calculation.

Methods. The research methodology is based on the application of elements of the cutting theory in relation to the scheme of formation of drain chips and models of plastic deformation of metal with one shear surface when free cutting without growth on the front surface of the blade. To simulate the stress-strain state of the chip formation zone and to determine the shear angle, software based on the finite-element method was used, the purpose of which is to analyze two-dimensional metal behavior during various machining processes. Approximation of the linear dependence of the shear points of the material using the least squares method, obtaining values of the shear angles of the material for different processing parameters. Determination by graphanalytical method of internal friction-shear and external friction-slip angles, obtaining the dependences of the chip angles on the cutting speed and the front blade angle.

Results. A method for calculating the ratio of angles of the chipboard process using the stress-strain state simulation, the least-squares method, and the graphoanalytic calculation method is developed. The software implementation of the algorithm model is implemented in the DEFORM™ -2D Machining, COMPASS-3D and Microsoft Excel environments.

Originality. The structural diagram of the algorithm of graphoanalytic calculation of angles of the process of chip formation is improved. For the first time, a method for calculating the ratio of the angles

of the chip formation process using the stress-strain state simulation, the least squares method, and the graphoanalytic calculation method was developed.

Practical implications. The developed method of calculating the ratio of angles of the process of chip formation can be used as a first approximation or basis for engineering analyzes of the process of chip formation. Also, the results of the article can be used to automate the approach to determining rational cutting modes to reduce the cost of the finished product by reducing the cost of material, tools and improving the quality of the machining surface.

Keywords: shaving angles, stress-strain state, least squares method.

Журавель Алексей Юрьевич, аспирант, кафедры технологии машиностроения и материаловедения, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника» (Днепр, Украина). E-mail: alekseyzhuravel@ukr.net

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕСС ТОЧЕНИЯ БУРОВЫЕ КОРОНКИ

Целью работы является разработка методики расчета соотношения углов процесса стружкообразования с использованием моделирования напряженно-деформированного состояния, метода наименьших квадратов и графоаналитического метода расчета.

Методика исследований базируется на применении элементов теории резания относительно схемы образования сливной стружки и модели пластической деформации металла с одной поверхностью смещения при свободном резании без нароста на передней поверхности лезвия. Для моделирования напряженно-деформированного состояния зоны стружкообразования и определения угла сдвига использовалось программное обеспечение, основанное на методе конечных элементов, назначение которого является анализ двумерной поведения металла при различных процессах механической обработки. Аппроксимация линейной зависимостью точек поверхности сдвига материала с помощью метода наименьших квадратов, получения значений углов сдвига материала для различных параметров обработки. Определение графоаналитическим методом углов внутреннего трения-сдвига и внешнего трения-скольжения, получения зависимостей углов стружкообразования от скорости резания и передней угла лезвия.

Результаты. Разработана методика расчета соотношения углов процесса стружкообразования с использованием моделирования напряженно-деформированного состояния, метода наименьших квадратов и графоаналитического метода расчета. Программная реализация алгоритмической модели осуществлена в средах DEFORM™ -2D Machining, КОМПАС-3D и Microsoft Excel.

Научная новизна. Усовершенствована структурную схему алгоритма графоаналитического расчета углов процесса стружкообразования. Впервые разработана методика расчета соотношения углов процесса стружкообразования с использованием моделирования напряженно-деформированного состояния, метода наименьших квадратов и графоаналитического метода расчета.

Практическая ценность. Разработана методика расчета соотношения углов процесса стружкообразования может применяться в качестве первого приближения или базиса при инженерных анализах процесса стружкообразования. Также, результаты статьи могут быть использованы для автоматизации подхода к определению рациональных режимов резания для снижения себестоимости изготовленного конечного продукта за счет снижения расхода материала, инструмента и повышения качества обрабатываемой поверхности.

Ключевые слова: углы стружкообразования, напряженно-деформированное состояние, метод наименьших квадратов.

Рукопис надійшов 14.01.2020