

УДК 621.787

Швець С. В., к.т.н., Криворучко Д. В., д.т.н.
Сумський державний університет

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ ПРОТЯЖОК З ВИКОРИСТАННЯМ CAD/CAM-СИСТЕМ

Різноманітність конструктивних особливостей деталей і технологічних процесів потребує при проектуванні протяжок інтелектуальних підходів, що стримує розробку єдиних алгоритмів для беззастережного використання CAD/CAM – систем. Мета роботи полягає у створенні математичних моделей для розрахунку окремих конструктивних елементів протяжок та визначення можливостей творчих підходів при їх проектуванні. При автоматизації процесу проектування виникає необхідність заміни деякої функції, заданої дискретною множиною точок, іншою, безперервною функцією. Такий вид апроксимації використаний при встановленні математичної залежності сили різання від підйому на зуб та параметрів стружкової канавки від кроку зубів. Запропоновані формули для визначення кількості чистових зубів та припуску для чистової секції. При проектуванні протяжки виникає необхідність порівняння альтернатив, що вимагає втручання людини і тому не може бути повністю автоматизованим. Інтерполяція залежності питомої сили різання від підйому на зуб, апроксимація дискретних значень параметрів стружкової канавки залежно від кроку, формули, які дозволяють, залежно від якості обробленої поверхні, визначити кількість зубів і припуск для чистової секції, підвищують ступінь автоматизації проектування протяжки.

Ключові слова: апроксимація, подача, питома сила різання, альтернатива, алгоритм, крок, припуск.

Вступ. Протяжки – це багатозубий металорізальний інструмент, що здійснює процес зрізування шарів металу за відсутності руху подачі за рахунок перевищення ширини або висоти наступного зуба відносно ширини або висоти попереднього [1 – 8]. Протяжки отримали значне поширення головним чином у масовому і багатосерійному виробництвях внаслідок того, що вони: дозволяють одержувати високу точність і якість обробки при низькій кваліфікації робітників; мають високу стійкість; дуже економічний інструмент (складова інструменту, яка входить до собівартості деталі, відносно невелика) і один із найпродуктивніших різальних інструментів.

Проектування протяжки є ітераційним процесом, тому що не усі його складові можна автоматизувати [6, 7]. Різноманітність конструктивних особливостей деталей і технологічних процесів потребує інтелектуальних підходів, що також стримує розробку єдиних алгоритмів для беззастережного використання CAD/CAM-систем при проектуванні протяжок. Проте, незважаючи на складнощі при спробі повної автоматизації цього процесу, є можливість автоматизувати деякі його частини, чому і присвячується ця стаття.

Мета роботи полягає у створенні математичних моделей визначення окремих конструктивних елементів протяжок та визначення можливостей творчих підходів при їх проектуванні.

1. Використання інтерполяції. При автоматизації процесу проектування виникає необхідність заміни деякої функції $f(x)$ іншою функцією $\phi(x)$, яка називається апроксимуючою. Якщо функція $f(x)$ задана дискретною множиною точок, то така апроксимація називається точковою.

Такий вид апроксимації необхідний при встановленні математичної залежності сили різання від підйому на зуб, конструктивних параметрів стружкової канавки від кроку протяжки, кількості чистових зубів і припуску на чистову секцію від підйому на зуб чорнкової секції і вимог до якості обробленої поверхні. Заміна дискретних значень безперервною функцією, яка з заданою точністю проходить через усі дискретні точки складає основний вид точкової апроксимації – інтерполяцію.

Сила різання при протягуванні залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, товщини і ширини шару, що зрізується, геометрії та затуплення зубів, властивостей змащувально-охолоджувальної рідини і т. ін.

Сумарна сила різання, яка виникає при протягуванні, може бути розкладена на складові, з яких головною є сила P_z , направлена уздовж осі протяжки (уздовж руху різання).

Значення головної складової сили різання використовують при перевірці протяжки на міцність та визначені моделі верстата. Складову P_z визначають за формулою [1, 3, 4]

$$P_z = pFz_{\max}, \quad (1)$$

де p – питома сила різання, кг/мм²;

$F = b \cdot a$ – площа шару, що зрізується одним зубом протяжки, причому

$b = \sum_{i>1}^n b_i$ – ширина шару, яка дорівнює ефективній довжині різальної кромки одного зуба, a – підйом на зуб;

$z_{\max} = \frac{l_0}{t} + 1$ – максимальне число зубів протяжки, що може одночасно перебувати у

контакті з оброблюваною деталлю (l_0 – довжина обробленої поверхні; t – крок зубів протяжки). Тут береться до уваги тільки ціла частина виразу z_{\max} , а дріб відкидається.

Таким чином, головна складова сили різання при протягуванні визначається як

$$P_z = paz_{\max} \sum_{i=1}^n b_i. \quad (2)$$

Питома сила різання p при протягуванні із зменшенням товщини шару металу, що зрізується, зростає (рис. 1). За літературними даними [3] складені апроксимуючі залежності

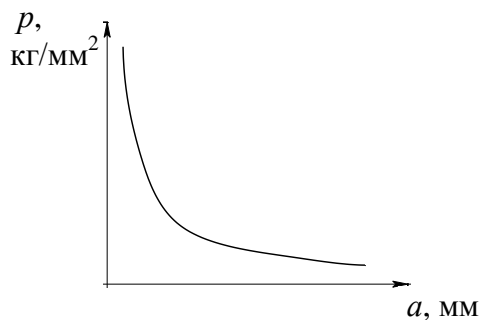


Рис. 1. Залежність питомої сили різання від підйому на зуб

$p = f(a)$ для різних матеріалів (табл. 1). Це дозволяє підвищити ступінь автоматизації розрахунків робочої частини протяжки. Значення питомих сил різання визначені при звичайно рекомендованих передніх і задніх кутах зубів протяжки, складі змащувально-охолоджувальної рідини і при зношенні зубів по задній поверхні у протяжок для обробки отворів до 0,3 мм, у протяжок для зовнішнього протягування до 0,5 мм.

Із діаграми (див. рис. 1) випливає дуже істотний висновок щодо конструювання протяжок: з точки зору зменшення сили протягування вигідніше розробляти протяжки, які зрізують більш товсті шари металу. Але підйом на зуб це основний вихідний параметр проектування, який впливає на забезпечення міцності протяжки.

Таблиця 1

Формули для визначення питомої сили різання p , кг/мм², за значенням підйому на зуб a , мм

Матеріал	Твердість	Формула
Вуглецева сталь	$HB < 197$	$p = 104,98a^{-0,413}$
	$HB = 198-229$	$p = 122,31a^{-0,386}$
	$HB > 229$	$p = 157,94a^{-0,345}$
Легована сталь	$HB < 197$	$p = 167,04a^{-0,329}$
	$HB = 198-229$	$p = 176,72a^{-0,337}$
	$HB > 229$	$p = 201,18a^{-0,327}$
Сірий чавун	$HB < 180$	$p = 82,852a^{-0,461}$
	$HB > 180$	$p = 95,99a^{-0,43}$
Ковкий чавун	–	$p = 74,197a^{-0,455}$

Тому змінюючи значення a досягають необхідних конструктивних рішень, і саме формули залежності p від a (табл. 1) сприяють автоматизації цієї частини проекту.

Стружкова канавка протяжки (рис. 2) визначається такими конструктивними параметрами:

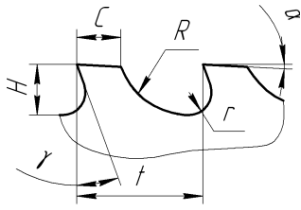


Рис. 2. Форма стружкової канавки

H – глибина стружкової канавки;
 C – ширина задньої поверхні;
 γ – передній кут;
 α – задній кут;
 R – радіус спинки зуба;
 r – радіус перехідної дуги між передньою поверхнею і спинкою зуба (радіус дна канавки).

Ці параметри, залежно від кроку t , визначаються з таблиць довідників [2 – 5]. Це створює незручності з точки зору автоматизації. Але, з іншого боку, значення цих параметрів не є остаточними. Необхідно ще перевірити розміри стружкової канавки через коефіцієнт заповнення K . За формулою

$$h_p = 1,13\sqrt{Kal_0}, \quad (3)$$

де K і l_0 задані, може бути визначена глибина канавки, достатня для розміщення стружки при вибраному підйомі a . Для вільного розміщення стружки необхідно щоб $h_p \leq H$. Якщо така нерівність порушується, тоді необхідно змінювати раніше встановлені за таблицями конструктивні параметри стружкової канавки, досягаючи її забезпечення. Зважаючи на цю обставину, немає потреби точно дотримуватись табличних дискретних значень параметрів стружкової канавки. Достатньо мати їх інтерполяцію:

$$H \approx 0,42t; \quad R \approx 0,7t; \quad C \approx 0,33t; \quad r = 0,5h. \quad (4)$$

Для обробки пластичних матеріалів найкращою є стружкова канавка із спинкою зуба, обкресленою дугою кола радіуса R . Така форма дає плавне сполучення дна канавки із спинкою, забезпечує добре формування стружки у щільний вал і збільшує об'єм канавки, не зменшуючи ширину спинки зуба і кількості переточувань протяжки.

При протягуванні крихких матеріалів може застосовуватися форма стружкової канавки з прямолинійною спинкою.

При роботі чорнових зубів на обробленій поверхні утворюються риски, задирки та інші дефекти. Глибина їх приблизно дорівнює підйому на зуб. Товщини того шару металу, який зрізують калібрувальні зуби, не достатньо для усунення перелічених недоліків. Тому, для зменшення глибини дефектів, що створюють чорнові зуби, між калібрувальними та чорновими зубами розміщують чистові зуби. Підйом чистових зубів змінюється. Він поступово зменшується від зуба до зуба (або від групи до групи) у $n = (1,5 - 2)$ рази.

Визначити кількість чистових зубів та припуск для чистової секції можна наступним чином. Підйом на i -тому чистовому зубі дорівнює

$$a_i = \frac{a}{n^i},$$

де a – підйом на чорновій секції.

При цьому підйом на останньому чистовому зубі a_{\min} при шорсткості обробленої поверхні з $Ra = (2,5 - 12,5)$ повинен бути не більшим 0,02 мм, а при $Ra = (0,63 - 2,5)$ – не більшим 0,01 мм [3]. За цією умовою можна визначити кількість чистових зубів, $z_{\text{чис}}$. Якщо

$\frac{a}{n^i} = a_{\min}$, то $n^i = \frac{a}{a_{\min}}$, і тоді, коли $z_{\text{чис}} = i$,

$$z_{\text{чис}} = \log_n \left(\frac{a}{a_{\min}} \right) = \frac{\ln \left(\frac{a}{a_{\min}} \right)}{\ln n}. \quad (5)$$

Припуск на чистову секцію визначається як

$$A_{\text{чис}} = a \sum_{i=1}^{z_{\text{чис}}} n^{-i}. \quad (6)$$

2. Евристична складова проектування. За останнє сторіччя продуктивність праці у промисловості виросла в десятки раз. При цьому в інженерній роботі вона збільшилась приблизно в два рази. Пояснення полягає в тому, що цей вид діяльності належать до «евристичного», а усі інтелектуальні види діяльності не сприймають алгоритмізацію. Це видно на прикладі конструювання задньої напрямної.

Сталою є думка, що задня напрямна запобігає перекошуванню протяжки під час виходу з деталі останніх її зубів і тим самим усуває небезпеку пошкодження обробленої поверхні і поломки зубів [1 – 3].

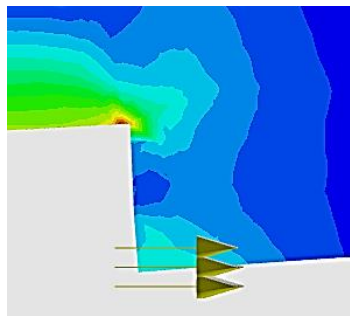


Рис. 3. Концентрація напружень при вигині

Поперечний перетин задньої напрямної повинен бути ідентичний поперечному перетину протягнутого отвору [1, 2]. При обробці симетричних отворів може бути також круглим, вписаним у протягнутий отвір (наприклад, як у шліцьових протяжках) [3, 4].

Поперечні розміри задньої напрямної не повинні перевищувати найменші допустимі значення відповідних розмірів готового отвору. Тоді задня напрямна може вільно проходити крізь отвір, виготовлений повністю зношеною протяжкою. Якщо цього не дотримуватися, то в деякий момент часу деталь ущільнюється на задній напрямній, система «протяжка – деталь» сприймається як одне ціле і, при наявності значних відхилень від перпендикулярності торця деталі до обробленої поверхні, протяжка згинається і у її тілі виникає значна концентрація руйнуючих напружень (рис.3).

Недотримання таких вимог призвело до руйнування протяжки внаслідок вигину (рис. 4).

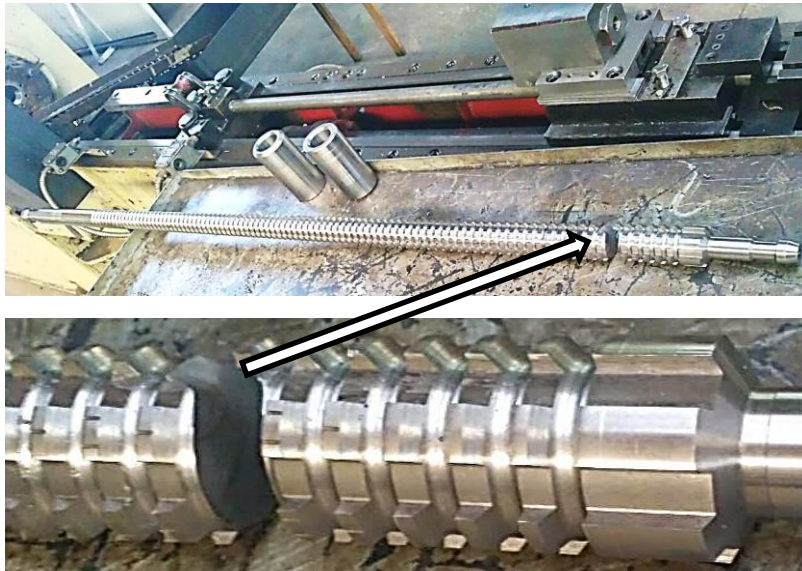


Рис. 4. Руйнування протяжки під час вигину через неперпендикулярність

З метою запобігання непередбачених ускладнень інколи протяжки виготовляють без задньої напрямної (рис. 5). Немає задньої напрямної у шпонкових протяжках, оскільки оброблювана деталь базується на напрямній втулці, що виключає перекошування деталі. Зовнішні протяжки закріплюються на супорті верстата для зовнішнього протягування і також не мають задньої напрямної.

Отже, при проектуванні протяжки виникає необхідність порівняння альтернатив, що вимагає втручання людини в роботу CAD/CAM-систем. Спершу необхідно визначити яка схема різання і який метод утворення поверхні будуть задіяні. Якщо практичний досвід не дає однозначної відповіді, то слід створити декілька конструкцій інструменту і вибрати із них кращу.

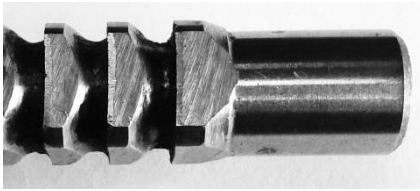


Рис. 5. Протяжка без задньої напрямної

Далі, встановивши величину підйому на зуб, геометрію лез протяжки, використовуючи відомі формули [1 – 5] та формули із табл.1, (4), (5) та (6) знаходять крок зубів, кількість зубів на чорновій, чистовій і калібрувальній секціях, параметри стружкової канавки, довжину протяжки, перевіряють протяжку на міцність. Ця частина проектування може бути автоматизована.

На підставі розрахунків на міцність та технічних характеристик наявного верстата остаточно визначають конструктивні параметри протяжки змінюючи вихідні дані для розрахункової програми. Тобто проектування протяжки альтернативне і ітераційне.

Висновки. Інтерполяція залежності питомої сили різання від підйому на зуб дозволяє підвищити ступінь автоматизації розрахунку протяжки на міцність. Апроксимація дискретних значень параметрів стружкової канавки залежно від кроку протяжки дозволяє задіяти САМ – систему при оптимізації конструкції інструменту. Запропоновані формули дозволяють, залежно від якості обробленої поверхні, визначити кількість зубів і припуск для чистової секції. Процес проектування протяжок не може бути повністю автоматизованим через те, що вимагає інтелектуальної роботи у зв'язку з наявністю операцій вибору.

Інформаційні джерела

1. Кукляк М.Л. Металорізальні інструменти. Проектування / М.Л. Кукляк, І.С. Афтаназів, І.І. Юрчишин – Львів: Львівська політехніка, 2003. – 556 с.
2. Кожевников Д.В. Режущий инструмент / Д.В. Кожевников, В.А. Гречишников, С.В. Кирсанов, В.И. Кокарев, А.Г. Схиртладзе – Москва: Машиностроение, 2007. – 528 с.
3. Семенченко И. И. Проектирование металлорежущих инструментов / И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г. Н. Сахаров. – Москва: Машгиз, 1963. – 949 с.
4. Щеголев А. В. Конструирование протяжек / А. В. Щеголев – Ленинград: Машгиз, 1960. – 352 с.
5. Маргулис Д. К. Протяжки для обработки отверстий /Д. К. Маргулис, М.М. Тверской, В. Н. Ашихмин и др. – Москва: Машиностроение, 1986. – 232 с.
6. Malyadri Akula. Design and analysis of broach tool for splines / Malyadri Akula, K.Chandra Sekhar, Akula Nagendra. – International Journal of Advanced Engineering Technology, vol. IV, 2013. – Pp. 06 – 08.
7. Vogtel P. Automatic Broaching Tool Design by Technological and Geometrical Optimization / P. Vogtel, F. Klocke, D. Lung, S. Terzi. – Procedia CIRP 33, 2015. – Pp. 496 – 501.
8. Vogtel P. Modelling of process forces in broaching Inconel 718 / P. Vogtel, F. Klocke, H. Puls, S. Buchkremer, D. Lung. – Procedia CIRP 8, 2013. – Pp. 409 – 414.

Швец С. В., к.т.н., Криворучко Д. В., д.т.н.
Сумский государственный университет

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРОТЯЖЕК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САД/САМ-СИСТЕМ

Разнообразие конструктивных особенностей деталей и технологических процессов требует при проектировании протяжек интеллектуальных подходов, что сдерживает разработку единственных алгоритмов для безоговорочного использования САД/САМ – систем. Цель работы заключается в созданные математических моделей для расчета отдельных конструктивных элементов протяжек и определения возможностей творческих подходов при их проектировании. При автоматизации процесса проектирование возникает необходимость замены некоторой функции, заданной дискретным множеством точек, другой, непрерывной функцией. Такой вид аппроксимации использован при создании математической зависимости силы резания от подъема на зуб и параметров стружечной канавки от шага зубьев. Предложены формулы для определения количества чистовых зубьев и припуска для чистовой секции. При проектировании протяжки возникает необходимость сравнения альтернатив, которое требует вмешательства человека, и потому не может быть полностью автоматизированным. Выполнена интерполяция зависимости удельной

силы резания от подъема на зуб, аппроксимация дискретных значений параметров стружечной канавки в зависимости от шага. Предложены формулы, которые позволяют определить количество зубьев и припуск для чистой секции.

Ключевые слова: аппроксимация, подача, удельная сила резания, альтернатива, алгоритм, шаг, припуск

Shvets S. V., PhD, Kryvoruchko D. V., Dr. Sci
Sumy state university

FEATURES OF DESIGNING BROACH TOOL WITH USE CAD/CAM – SYSTEMS

Broach tool – the special tool, is projected and produced for processing of details of one form in mass and multiserries manufactures. The work purpose consists in created mathematical models for calculation of separate constructive elements broach tool and definitions of possibilities of creative approaches at their designing. At creation of mathematical dependence of force of cutting from lifting on tooth and parametres of a flute for a shaving from a step of teeth replacement of the functions set by discrete sets of points, is executed by continuous functions. Formulas for definition of quantity of fair teeth and an allowance for fair section are offered. On an example designing of the rear pilot is shown value of an intellectual kind of activity. At designing протяжки there is a necessity of comparison of alternatives which demands intervention of the person and consequently cannot be completely automated. Interpolation of dependence of specific force of cutting from lifting on tooth, approximation of discrete values of parametres of a flute for a shaving depending on a step is executed. Formulas which allow to define quantity of teeth and an allowance for fair section are offered.

Keywords: approximation, feed, specific force of cutting, alternative, algorithm, step, rough tolerance

Стаття надійшла до редакції 12.04.2018.