УДК 621.9: 658.5

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ІНСТРУМЕНТАМИ З ПОКРИТТЯМ ПІД ЧАС ТОЧІННЯ ВИСОКОМІЦНИХ ЧАВУНІВ

Вітохіна Д.В., Брадулов П.Р., Івченко Т.Г. *(кафедра ТМ, ДонНТУ, Донецьк, Україна)*
Тел./Факс: +38 (062) 3050104;E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

Анотація. *Представлена методика оптимізації режимів різання інструментами з карбонітридним покриттям під час точіння високоміцних чавунів з використанням методу лінійного програмування. На підставі досліджень теплових явищ під час обробки чавунів оптимальні подачі та швидкості різання, що забезпечують максимальну продуктивність обробки, визначені з урахуванням температурних обмежень.*

Ключові слова: *точіння, чавун, оптимізація, швидкість, подача, покриття.*

Підвищення продуктивності виготовлення деталей машин – актуальна задача сучасного машинобудування, яка найбільш ефективно вирішується на підставі вибору раціональних параметрів механічної обробки.

Найбільш обґрунтоване підвищення режимів різання виконується на підставі оптимізації за критерієм максимальної продуктивності з використанням методу лінійного програмування [1], який дозволяє здійснювати одночасну оптимізацію швидкості різання і подачі з урахуванням діючих обмежень.

Перспективним напрямком удосконалення процесів механічної обробки в наступний час вважається широке використання твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями з карбідів, нітридів, карбонітридів титану, які суттєво підвищують стійкість різального інструменту [2].

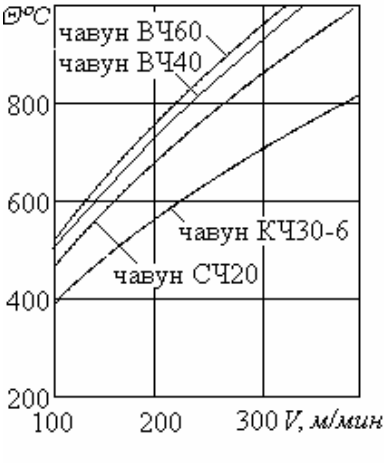


Рис. 1. Графіки залежності температури різання Θ від швидкості *V* під час токарної обробки чавунів: глибина різання *t*=3мм; подача *S*=0,3мм/об

Під час точіння чавунів внаслідок високих температур різання значну роль відіграють температурні обмеження [3, 4]. Однак, в сучасній довідково - нормативній літературі інформація про температурні обмеження для різних умов обробки, в тому складі для обробки чавунів інструментами з покриттям, досить обмежена, що потребує подальших досліджень в цьому напрямку.

Мета роботи - визначення оптимальних режимів різання під час точіння високоміцних чавунів інструментами з покриттям за критерієм максимальної продуктивності з урахуванням температурних обмежень.

Дослідження теплових явищ під час обробки чавунів свідчать про те, що незважаючи на менші сили різання в порівнянні зі сталями, щільності теплових потоків в зоні різання перевищують щільність теплових потоків під час обробки сталей, внаслідок істотно нижчих площадок контакту стружки з передньою поверхнею леза. [4].

Однак, значно більша теплопровідність однокарбідних твердих сплавів групи ВК в порівнянні з двох карбідними сплавами групи ТК, а також значно менші контактні площадки на передній поверхні, обумовлюють складний сукупний вплив на температуру різання.

На рис. 1 представлені графіки залежності температури різання Θ від швидкості різання в умовах токарної обробки різних чавунів: сірих СЧ20, ковких КЧ30-6, високо-

міцних ВЧ40 та ВЧ60. Температура різання суттєво зростає з підвищенням швидкості різання, твердості та міцності чавунів.

З використанням множинного регресійного аналізу встановлені аналітичні залежності температури різання від швидкості різання *V*, подачі *S* та глибини різання *t*, які кількісно характеризують взаємозв'язок між цими параметрами для обробки чавунів твердими сплавами:

$$\Theta_3 = C_\Theta V^{0,65} S^{0,38} t^{0,2}, \qquad (1)$$

де C_Θ – коефіцієнт,що залежать від умов обробки: для сірого чавуну СЧ20 $C_{\Theta 1}$ = 28,5; для ковкого чавуну КЧ30-6 $C_{\Theta 2}$ = 24,6; для високоміцного чавуну ВЧ40 $C_{\Theta 3}$ = 30,5; ВЧ60 $C_{\Theta 4}$ = 34,1.

Розрахунки свідчать про те, що температура різання в певних умовах обробки різних чавунів може перевищувати допустимий рівень 800^oC, що потребує урахування температурних обмежень та вживання заходів для зниження температур.

Під час оптимізації режимів різання як цільова функція розглядається продуктивність обробки, обумовлена основним часом: $t_o = L/nS$ (*L* – довжина обробки, *n* - частота обертання, *S* – подача). Максимум продуктивності досягається при мінімумі основного часу, або максимумі добутку $n \cdot S \to max$.

Під час токарної обробки чавунів розглядаються обмеження: по можливостях різального інструменту, по потужності різання, по міцності державки різця, по міцності пластини різця, по температурі різання, по припустимих діапазонах частот обертання і подач.

В результаті лінеаризації цільової функції й обмежень шляхом логарифмування для токарної обробки чавуна визначена наступна математична модель процесу різання:

$$\begin{cases} X1 + y_V X2 \le b_1, \\ (n_P + 1)X1 + y_P X2 \le b_2, \\ n_P X1 + y_P X2 \le b_3, \\ y_P X2 \le b_4, \\ z_t X1 + y_t X2 \le b_5, \\ X1 \ge b_6,\ X1 \le b_7, \\ X2 \ge b_8, X2 \le b_9, \\ (X1 + X2) \to max, \end{cases} \qquad \begin{aligned} b_1 &= ln\left(1000 C_V K_V K_T^m / \pi D T^m t^{x_v}\right); \\ b_2 &= ln\left(6 \cdot 10^{3\,(n_p+2)} N_{cm} \eta / C_P K_P (\pi D)^{(n_p+1)} t^{x_p}\right); \\ b_3 &= ln\left(\sigma_u B H^2 1000^n / 6 l C_P K_P (\pi D)^{n_p} t^{x_p} K3\right); \\ b_4 &= ln\left(34 c^{1.35} K_\varphi / C_P K_P s^{y_p} t^{(x_p - 0.77)}\right); \\ b_5 &= ln\left(1000^{z_t} \Theta\ / C_\Theta K_\Theta (\pi D)^{z_t}\right); \\ b_6 &= ln\, n_{min};\ b_7 = ln\, n_{max};\ b_8 = ln\, S_{min};\ b_9 = ln\, S_{max}. \end{aligned} \qquad (2)$$

де *D* – діаметр обробки; *t* – глибина різання; *T*- стійкість інструменту; C_V, K_V – постійний коефіцієнт та коефіцієнт, що враховує умови обробки; K_T – коефіцієнт, що враховує підвищення стійкості для інструменту з покриттям; x_v, y_v, *m* – показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі та стійкості на швидкість різання; C_P, K_P - постійний коефіцієнт та коефіцієнт, що враховує умови обробки; x_p, y_p, n_p – показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі та швидкості на силу різання P_z; η - коефіцієнт корисної дії передач верстата; *c* – товщина пластини; $K\varphi = (\sin 60^o / \sin)^{0,8}$ - коефіцієнт, що враховує головний кут різця в плані φ. C_Θ, K_Θ - постійний коефіцієнт та коефіцієнт, що враховує умови обробки; x_t, y_t, z_t - показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі та швидкості на температуру різання; n_{min}; n_{max}; S_{min}; S_{max} - гранично припустимі діапазони частоти обертання та подач, обумовлені кінематичною структурою приводів головного руху і подач:

Приклад визначення оптимальних режимів різання приведений для токарної обробки на токарно-гвинторізному верстаті 16К20Ф3 колінчастого валу компресорів побутових холодильників з високоміцного чавуну ВЧ40, збірними різцями з механічним

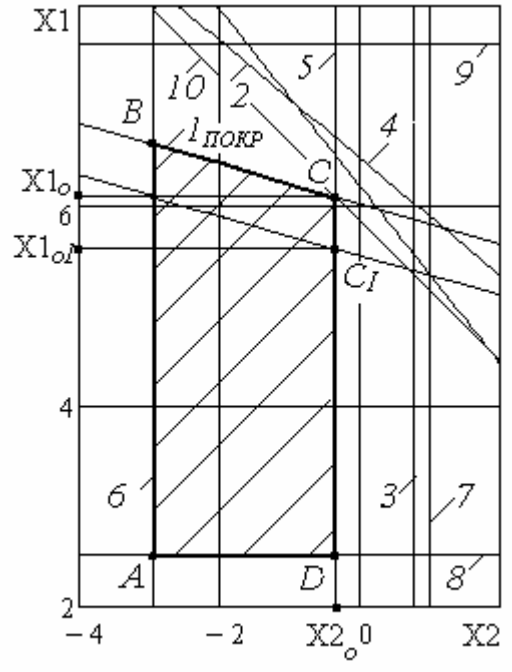


Рис. 2. Схема визначення оптимальних режимів різання для токарної обробки високоміцного чавуна ВЧ40

закріпленням твердосплавних пластин ВК8 з карбонітридним покриттям, яке суттєво підвищує стійкість інструменту, що в математичній моделі (2) враховується коефіцієнтом K_T = 4 [2]; геометричні параметри: головний кут в плані φ=45°, передній кут γ=10°; товщина пластини c=5мм; ширина та висота державки B=25мм; H=25мм; виліт різця lp=25мм; стійкість T=30хв., глибина різання t = 3мм.

Для заданих умов обробки прийняті наступні коефіцієнти та показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі і стійкості на швидкість різання: C_V =317; K_V = 0,7; x_v = 0,15; y_v = 0,20; m = 0,2; K_T = 4; коефіцієнти і показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі і швидкості на силу різання: C_P = 81; K_P = 1,48; x_p = 1,0; y_p = 0,75; n_p = 0; коефіцієнти і показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі і швидкості на температуру різання: C_Θ = 34,1; x_Θ = 0,2; y_Θ = 0,38; z_Θ = 0,65. З їх урахуванням визначені наступні значення параметрів b_i: b_1 = 6,009; b_2 = 5,535; b_3 = 0,649; b_4 = 4,202; b_5 = -0,205; b_6 = -2,996; b_7 = 1,03; b_8 = 2,536; b_9 = 7,601.

Багатокутник *ABCD* являє собою область можливих рішень. Цільова функція приймає максимальне значення в крапці *C*, для якої сума відстаней до осей ($X1+X2$) максимальна, про що свідчить украй можливе положення лінії 10, що характеризує цільову функцію. Координати крапки $C(X1_o, X2_o)$ є шуканими оптимальними значеннями параметрів, на підставі яких визначаються оптимальні частота обертання і подача. Крапка $C_1(X1_{o1}, X2_o)$ визначає оптимальні режими для інструменту без покриття. Для заданих умов обробки визначені наступні результати розрахунку оптимальних режимів різання: $X1_o$ = 6,063; $X2_o$ = -0,273,

$$n_o = e^{X1_o} = 430 об/хв;\ \ s_o = e^{X2_o} = 0{,}76 мм/об;\ \ v_o = \pi D n_o / 1000 = 101 м/хв$$

Наявність покриття підвищує швидкість різання в 1,3 рази.

Таким чином, на підставі представленої методики оптимізації режимів різання інструментами з покриттям під час точіння чавунів з урахуванням температурних обмежень визначені оптимальні подачі та швидкості різання, що забезпечують максимальну продуктивність обробки.

Перелік літератури: 1. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. - М.: Машиностроение. 1989. - 296с. **2.** Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойким покрытием / А.С. Верещака. – М.; Машиностроение,1993. 368с. **3**. Івченко Т.Г. Визначення впливу режимів точіння на температуру різання в різних умовах механічної обробки / Т.Г Івченко., К.О. Король, Д.В. Вітохіна // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы. Материалы 14 международного научно-практического семинара в Донецке. В 2-х т. Т. 2. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – С.121 - 125. **4.** Івченко Т.Г. Аналіз впливу параметрів механічної обробки на температуру різання чавунів / Т.Г Івченко., Д.В. Вітохіна // Молодая наука XXI века: Сборник научных работ международной студенческой научной конференции. Краматорск: ДГМА, 2013. – С.36-39.

УДК 621.941.1

ВИБРАЦИОННОЕ РЕЗАНИЕ, КАК РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ОБРАБОТКИ ТОНКОСТЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Исаев Д.С., Таровик А.Б., Михайлов А.Н. *(Кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк)*

Аннотация. *Повышается процентная доля тонкостенных изделий, обработка которых вызывает трудности, в процессе изготовления машин и оборудования, поэтому требуются новые композиционные технологии, которые способны упростить изготовление тонкостенных изделий. В качестве данной технологии выступает вибрационное резание.*

Ключевые слова: *вибрационное резание, тонкостенные изделия, преобразователь, ультразвук, концентратор, колебания.*

В связи с развитием авиации, космической техники, судостроения и машиностроении, где большую роль играет металлоемкость изделий, становится актуальным изготавливать изделия, имеющие малый вес. Так как не всегда удается уменьшить габариты или убрать некоторые элементарные поверхности, то возникает необходимость в изготовлении изделий с тонкими стенками. Для тонкостенных изделий повышены требования к показателям точности и качества их изготовления. Но при этом не нужно забывать о производительности. Возникает проблема: как повысить качество и точность изготовления данных изделий, но не потерять производительность. Перед исследователями и инженерами становится задача о поиске эффективного метода обработки, который позволил бы решить данную проблему. При традиционном резании производительность высока, но имеем недостаток качества и потерю точности, другие методы позволяют получить точность и качество, но имеют потерю в производительности.

Решением данной проблемы является применение специальных композиционных технологий. Композиционная технология это специальная технология, базирующаяся на композиции принципов и особенностей синтеза различных вариантов технологий, которая позволяет управлять свойствами изделия и обеспечивать повышение параметров его качества по направлениям состава композиции вариантов технологий [1].

В данном случае в качестве вариантов этих технологий выступает традиционное точение и ультразвук. Суть процесса состоит в том, чтобы обеспечить регулярное импульсное воздействие на деталь, обрабатываемую с постоянной скоростью резания $\boldsymbol{v}$, как изображено на рисунке 1, использовали режущий инструмент, который совершал синусоидальные колебания в направлении резания с постоянной амплитудой $\boldsymbol{a}$ и частотой $\boldsymbol{f}$ таким образом, что скорость $\boldsymbol{v}$ не превышала $\boldsymbol{2\pi af}$. При этом для придания колебаний режущему инструменту использовали отдельный источник энергии [2]. В качестве данного источника применяют ультразвуковой генератор(в нашем случае – модели УЗГ1-1), преобразующий электрическую энергию промышленной частоты в электрическую энергию ультразвуковой частоты [3], и магнитострикционный преобразователь, преобразующий электрическую энергию ультразвуковой частоты в механические колебания. Данные колебания накладывались на режущий инструмент с малой амплитудой ($\boldsymbol{a}$ = 10…25 мкм) в ультразвуковом диапазоне частот ($\boldsymbol{f}$ = 20…50 кГц). Такую обработку назвали резанием с ультразвуковыми колебаниями. При его исследовании обращали внимание на разработку соответствующего оборудования и на закон движения рабочей кромки режущего инструмента. Такое резание существенно отличается от традиционного. Поскольку в этом случае используются переходные процессы и, как показано на рисунке 1, механизм обработки стружки непосредственно обусловлен импульсными

силами резания, можно воспользоваться терминами «импульсное резание с вибрациями», или просто «импульсное резание». Однако в дальнейшем от этих терминов было решено отказаться и ввести общее понятие «вибрационное резание» [2].

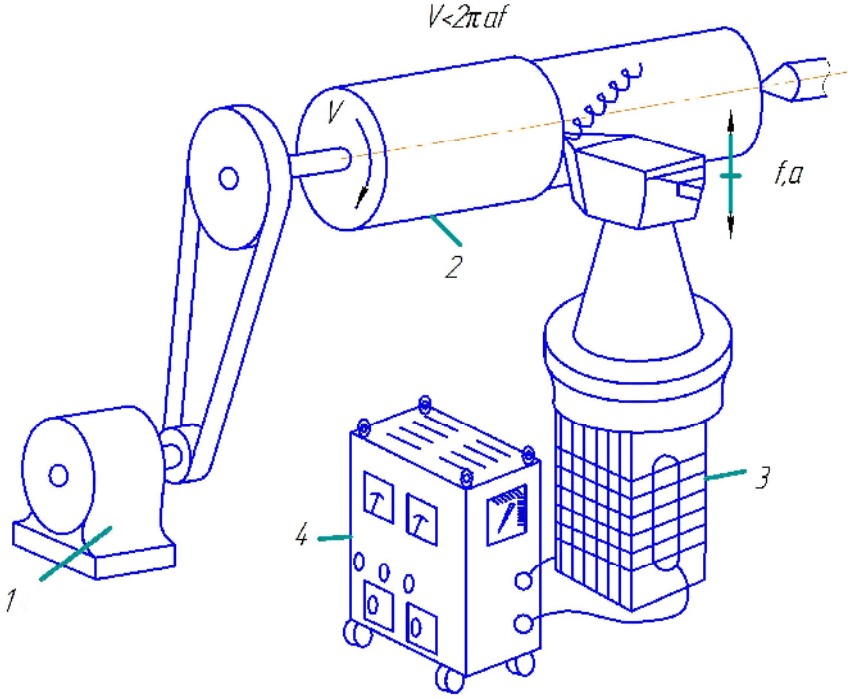


Рис. 1. Схема установки для вибрационного резания:
1- электродвигатель малой мощности; 2- заготовка; 3- вибратор; 4- источник питания вибратора

При обычном резании важным фактором является получение устойчивых, т.е. регулярных колебаний по закону ***p sinwt*** в стационарной области. Методом вибрационного резания можно с высокой точностью обрабатывать алмазными резцами закаленные стали, резцами из твердых сплавов – быстрорежущие стали и другие материалы. Таким методом удается добиться прецизионной обработки тонкостенных изделий с практически идеальными показателями овальности, нецилиндричности, непараллельности и отклонениями от плоскостности и прямолинейности формы.

При колебательной системе можно путем наложения соответствующих частот широкого спектра создать условия, при которых слабо колеблющаяся режущая кромка будет оставаться, как бы неподвижной. В таком случае удастся реализовать идеальную модель резания. Следовательно, появится способ прецизионной обработки, позволяющий получить идеальную поверхность с практически нулевой шероховатостью и без отклонений от плоскостности. При таком способе возможно будет получать сливную стружку, которая имеет узкий и постоянный интервал сдвига [2].

Такая идея может быть обоснована рассмотрением динамических характеристик колебательной системы СПИД. Вполне естественно, что коэффициент жесткости ***k*** системы в таком случае должен быть высоким. Помимо этого, необходимо проанализировать с новых позиций не только абсолютные значения ***Pcp*** и ***p***, характеризующие сопротивление резанию, но и такой важный параметр как круговая частота колебаний ***w***, на которую раньше не обращали внимания.

Существует три основных направления высокочастотных колебаний (Рис. 2):

- в направлении осевой составляющей силы резания;
- в радиальном направлении;
- в направлении главной составляющей силы резания.

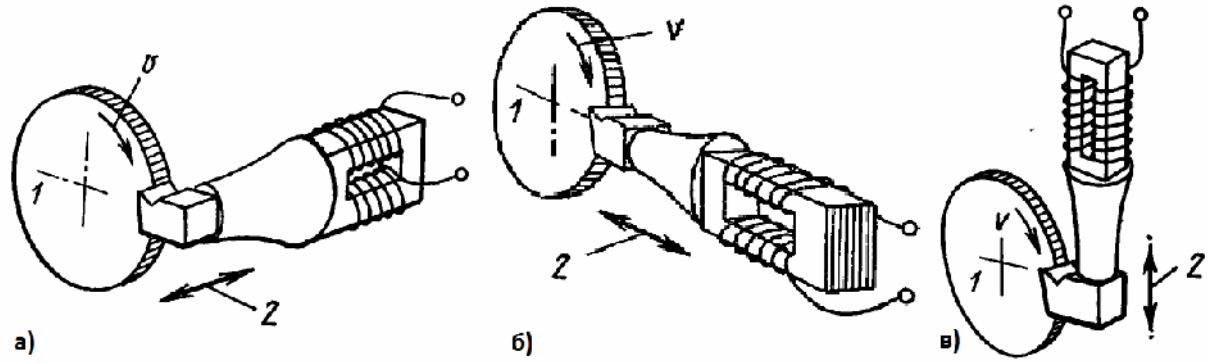


Рис. 2. Виды направления высокочастотных(ультразвуковых) колебаний: а) в направлении осевой составляющей силы резания; б) в радиальном направлении; в) в направлении главной составляющей силы резания; 1- заготовка; 2- инструмент

При помощи отдельно установленного колебательного привода можно непосредственно заставить колебаться рабочие кромки режущего инструмента. За счет энергии привода можно обеспечить слабые колебания по закону ***p sin wt***. В таком случае удастся разработать рациональный способ резания, при котором выделение тепла будет незначительным, а частота может быть довольно большой.

Режущие кромки инструмента обычно совершают нерегулярные колебания довольно сложной формы, которым соответствуют ударные нагрузки, действующие в направлении резания. Вероятно, была бы идеальной организация такого резания, при котором ударные нагрузки, создаваемые резцом, имели бы регулярный характер. В таком случае вместо непрерывной синусоиды следовало бы использовать силу резания регулярного импульсного характера.

Импульсные силы резания в колебательной системе СПИД могут действовать и в области переходных процессов. Чем больше ширина импульсов, тем эффективнее будут использованы эти процессы [2].

Таким способом можно осуществлять прецизионное резание тонкостенных изделий, которые раньше обычно обрабатывали шлифованием; вибрирующим алмазным инструментом можно резать закаленные стали. Можно надеяться, что в перспективе вместо шлифовальных станков для обработки (заточки) инструмента будут использоваться станки с вибрирующим режущим инструментом. На основе вибрационного принципа резания можно будет создать весьма разнообразное новое станочное оборудование.

Список литературы : 1. Михайлов А.Н. Основы синтеза композиционных технологий машиностроения /А.Н. Михайлов, Е.А. Михайлова, Д.А. Михайлов // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2011. – No 713 . – С. 23 – 31. **2.** Кумабэ Д. Вибрационное резание: Пер. с яп. С.Л. Масленникова/ Под ред. И.И. Портнова, В.В. Белова. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с. **3.** Генератор ультразвуковой модели УЗГ1-1. Руководство по эксплуатации. - М:МашГиз, 1985. **4.** Рикардс Р.Б. Метод конечных элементов в теории оболочек и пластин. – Рига: Зннатне, 1988. – 284с.

УДК 621.91.02

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГНЕЗДА ДЕРЖАВКИ РЕЗЦА С АВТОМАТИЧЕСКИ ЗАМЕНЯЕМЫМИ РЕЖУЩИМИ ВСТАВКАМИ

Казаченко К.В., Гринёв Ю.А. *(каф. МСМО, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

Основной тенденцией в мировой инструментальной промышленности является повышение унификации и универсальности сборного режущего инструмента. При этом повышение производительности в машиностроительном производстве достигается за счет применения автоматизированного оборудования, оснащенного системами ЧПУ, что подразумевает также реализацию в конструкциях инструмента возможности автоматизированной смены отдельных режущих элементов, рабочей части и самого инструмента в целом. Этим тенденциям отвечает резец (рис.1) [1], спроектированный в Донецком национальном техническом университете. При этом было предложено конструктивное решение, но не были определены рациональные параметры элементов самого корпуса резца и его рабочей части. В связи с этим целью данной работы является определение рациональных параметров державки резца с автоматически заменяемыми режущими вставками.

Рис. 1. Токарный резец [1]

В работах [2, 3] предложены зависимости для определения конструктивных и геометрических параметров универсальных резцов с рабочей частью, оснащенной многогранными неперетачиваемыми пластинами (МНП):

С помощью данных зависимостей определим возможность установки на одной державке сменных вставок, оснащенных стандартными МНП различной конфигурации, которые приведены на рисунке 2.

Рассмотрим различные варианты сочетания базовых геометрических параметров: главного угла в плане φ, главного заднего нормального угла α_N, угла наклона главной режущей кромки λ_0, которые определяют параметры опорных поверхностей гнезда державки и геометрические параметры на главной и вспомогательной режущих кромках рабочей части универсального резца. При этом базовые параметры принимают следующие значения: φ - 45°; α_N - 5°, 10°, 15°; λ_0 - 0°, 5°; 10°. Кроме того, рассматривается установка различных МНП с углами в плане φ + 15°, φ + 30° на опорную поверхность, которая определяется базовыми параметрами φ = 45°; α_N = 10°; λ_0 = 0°. Наиболее рациональным считается такое положение опорной поверхности гнезда державки, при котором обеспечивается возможность установки максимального количества МНП. Ограничениями являются значения вспомогательного угла в плане (не менее 5°) и вспомогательного заднего угла (не менее 0°).

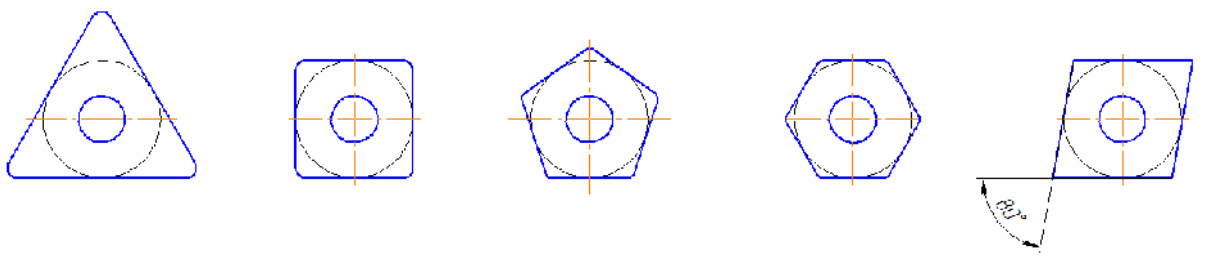


Рис. 2. Конфигурации исследуемых пластин

Результаты расчетов геометрических параметров на главной и вспомогательной режущих кромках сведем в таблицы 1 - 7.

Таблица 1. Геометрические параметры на главной и вспомогательной режущих кромках при базовых параметрах: $\varphi = 45°$; $\alpha_N = 10°$; $\lambda_0 = 0°$

	φ	γ	α	λ	φ_1	γ_1	α_1	λ_1
Квадратная	45°	-10	10	0	45	0	0	10
Треугольная	45°	-10	10	0	75,4	5	**-4,981**	8,65
Ромбическая	45°	-10	10	0	55,2	1,789	**-1,73**	9,96
Пятигранная	45°	-10	10	0	26,741	-3,162	3,076	9,506
Шестигранная	45°	-10	10	0	14,619	-5,096	4,981	8,649

Таблица 2 – Геометрические параметры на главной и вспомогательной режущих кромках при базовых параметрах: $\varphi = 45°$; $\alpha_N = 10°$; $\lambda_0 = 0°$ и повороте пластин на опорной поверхности на 15°

	φ	γ	α	λ	φ_1	γ_1	α_1	λ_1
Квадратная	59,782	-9,675	9,656	2,576	29,779	-2,65	2,576	9,656
Треугольная	59,782	-9,675	9,656	2,576	60,221	2,65	**-2,576**	9,656
Ромбическая	59,782	-9,675	9,656	2,576	39,923	-0,894	0,867	9,962
Пятигранная	59,782	-9,675	9,656	2,576	11,598	-5,544	5,427	8,374
Шестигранная	59,782	-9,675	9,656	2,576	**-0,439**	-7,161	7,054	7,053

Таблица 3. Геометрические параметры на главной и вспомогательной режущих кромках при базовых параметрах: $\varphi = 45°$; $\alpha_N = 10°$; $\lambda_0 = 0°$ и повороте пластин на опорной поверхности на 30°

	φ	γ	α	λ	φ_1	γ_1	α_1	λ_1
Квадратная	74,622	-8,715	8,65	4,981	14,619	-5,096	4,981	8,649
Треугольная	74,622	-8,715	8,65	4,981	45	0	0	10
Ромбическая	74,622	-8,715	8,65	4,981	24,716	-3,498	3,405	9,391
Пятигранная	74,622	-8,715	8,65	4,981	**-3,463**	-7,516	7,415	6,672
Шестигранная	74,622	-8,715	8,65	4,981	**-15,378**	-8,715	8,65	4,981

Таблица 4. Геометрические параметры на главной и вспомогательной режущих кромках при базовых параметрах: $\varphi = 45°$; $\alpha_N = 5°$; $\lambda_0 = 0°$

	φ	γ	α	λ	φ_1	γ_1	α_1	λ_1
Квадратная	45°	-5	5	0	45	0	0	5
Треугольная	45°	-5	5	0	75,095	2,512	**-2,498**	4,329
Ромбическая	45°	-5	5	0	55,037	0,874	**-0,867**	4,924
Пятигранная	45°	-5	5	0	26,936	-1,554	1,543	4,755
Шестигранная	45°	-5	5	0	14,905	-2,512	2,498	4,329

Таблица 5. Геометрические параметры на главной и вспомогательной режущих кромках при базовых параметрах: $\varphi = 45°$; $\alpha_N = 15°$; $\lambda_0 = 0°$

	φ	γ	α	λ	φ_1	γ_1	α_1	λ_1
Квадратная	45°	-15	15	0	45	0	0	15
Треугольная	45°	-15	15	0	75,551	7,828	**-7,439**	12,95
Ромбическая	45°	-15	15	0	55,345	2,755	**-2,576**	14,76
Пятигранная	45°	-15	15	0	26,408	-4,833	4,588	14,25
Шестигранная	45°	-15	15	0	14,133	-7,827	7,439	12,95

Таблица 6. Геометрические параметры на главной и вспомогательной режущих кромках при базовых параметрах: $\varphi = 45°$; $\alpha_N = 10°$; $\lambda_0 = 5°$

	φ	γ	α	λ	φ_1	γ_1	α_1	λ_1
Квадратная	45°	-10,037	9,963	5	44,12	-5,154	5,00	9,962
Треугольная	45°	-10,037	9,963	5	74,625	0,656	**-0,631**	11,151
Ромбическая	45°	-10,037	9,963	5	54,258	-3,312	3,199	10,69
Пятигранная	45°	-10,037	9,963	5	26,015	-7,987	7,838	7,908
Шестигранная	45°	-10,037	9,963	5	14,062	-9,427	9,323	6,098

Таблица 7. Геометрические параметры на главной и вспомогательной режущих кромках при базовых параметрах: $\varphi = 45°$; $\alpha_N = 10°$; $\lambda_0 = 10°$

	φ	γ	α	λ	φ_1	γ_1	α_1	λ_1
Квадратная	45°	-10,151	9,851	10	43,246	-10,3	10,00	9,847
Треугольная	45°	-10,151	9,851	10	73,667	-3,937	3,72	13,587
Ромбическая	45°	-10,151	9,851	10	53,29	-8,456	8,127	11,453
Пятигранная	45°	-10,151	9,851	10	25,428	-12,741	12,59	6,257
Шестигранная	45°	-10,151	9,851	10	13,702	-13,695	13,64	3,513

Как видно из таблиц 1 – 3, изменение главного угла в плане не позволяет увеличить количество устанавливаемых на одну державку типоразмеров МНП. В таблицах жирным шрифтом выделены значения, не удовлетворяющие ограничениям. Изменение главного заднего нормального угла (см. табл.4, 5) в рассматриваемом диапазоне также не позволяет обеспечить установку треугольной и ромбической пластин, но при этом уменьшение заднего угла приближает значения геометрических параметров рабочей части к допускаемым. Увеличение угла наклона главной режущей кромки до 5° (см. табл. 6) позволяет производить установку квадратной, пятигранной, шестигранной и ромбической пластин на державке с соответствующей опорной поверхностью. Увели-

чение же до 10° угла наклона главной режущей кромки позволяет нам устанавливать все рассматриваемые разновидности МНП. Однако, как известно из технической литературы, при значениях угла наклона главной режущей превышающих 5° возрастает сила резания. В связи с этим, считаем рациональным повышать угол наклона главной режущей кромки лишь до 5° при уменьшении главного заднего угла, что позволит обеспечить установку всех рассматриваемых типоразмеров пластин. Методом подбора определили одно из рациональных сочетаний базовых параметров: φ = 45°; α_N = 8°; λ_0 = 5°, которые обеспечивают геометрию рабочей части, удовлетворяющую граничным условиям (табл. 8).

Таблица 8. Геометрические параметры на главной и вспомогательной режущих кромках при базовых параметрах: φ = 45°; α_N = 8°; λ_0 = 5°

	φ	γ	α	λ	φ_1	γ_1	α_1	λ_1
Квадратная	45°	-8,03	7,97	5	44,298	-5,098	5	7,969
Треугольная	45°	-8,03	7,97	5	74,621	-0,362	0,353	9,419
Ромбическая	45°	-8,03	7,97	5	54,377	-3,624	3,541	8,724
Пятигранная	45°	-8,03	7,97	5	26,268	-7,303	7,224	6,023
Шестигранная	45°	-8,03	7,97	5	14,33	-8,375	8,326	4,387

Определим значения, характеризующие положение опорной поверхности гнезда державки, соответствующие рациональным базовым геометрическим параметрам

$$tg\gamma_{np} = -\sin\varphi tg\lambda_0 - \cos\varphi tg\alpha_N \sec\lambda_0;\ tg\gamma_n = \cos\varphi tg\lambda_0 - \sin\varphi tg\alpha_N \sec\lambda_0,$$

откуда γ_{np} = -9,181°, γ_n = -2,17°.

Таким образом, рациональным сочетанием базовых параметров является: φ = 45°; α_N = 8°; λ_0 = 5°, а соответствующее выполнение опорной поверхности гнезда державки с углами γ_{np} = -9,181° и γ_n = -2,17° позволит устанавливать сменные вставки с пластинами всех рассматриваемых типоразмеров.

Список литературы: 1. Патент України на винахід №77712 С2 МКІ В23 В27/16. Токарний різець/ Матюха П.Г., Скринніков В.С., Холод В.М. Опубл. 15.01.2007. Бюл. № 1. **2.** Матюха П.Г., Гринёв Ю.А. Определение геометрических и конструктивных параметров режущей части универсально-сборного резца //Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 2001. Вып. 17 – С. 85 – 89. **3.** Гринёв Ю.А., Матюха П.Г. Исследование изменения геометрических параметров универсально-сборных резцов с поворотной режущей частью //Вісник Сумського державного університету. Науковий журнал. Серія технічні науки (технологія машинобудування). – Суми : Видавництво СумДУ, №2 (35). 2002, - С. 36 – 40.

УДК 621.95

РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ СМЕЩЕНИЯ ОСИ СВЕРЛА НА ПЛОЩАДЬ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ

Хмиров Н.А., Коваленко В.И. *(кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

Аннотация. *В статье приведены данные по вибрациям в процессе сверления, которые в значительной степени предопределяют процесс обработки, рассмотрен процесс увода оси отверстия, приведены статические уравнения равновесия двухлезвийного инструмента, формулы определения площади срезаемого слоя, рассмотрена схема влияния увода сверла на площадь срезаемого слоя, получены численные значения площади срезаемого слоя с учетом увода оси инструмента.*

Ключевые слова: *вибрация, увод оси, шаг, площадь, срезаемый слой.*

1. Введение

Возникающие в процессе сверления вибрации в значительной степени предопределяют процесс обработки, оказывая влияние на точность обрабатываемых поверхностей, стойкость инструмента, площадь срезаемого слоя. Целью работы является выявление закономерностей изменения сечения и площади срезаемого слоя в зависимости от процесса сверления.

Получение отверстий с повышенными требованиями по точности посредством концевых мерных многолезвийных инструментов является весьма сложной технологической задачей. На практике, как правило, при проектировании технологических процессов технологи используют различные справочные данные. В этих материалах, обычно, отсутствуют какие-либо конкретные данные об отрицательном влиянии вибраций на точность формообразования отверстий, хотя в ряде литературных источников указано, что неотъемлемым свойством резания металлов как технологического процесса является наличие вибраций [1], вызванных самим ходом процесса или внешними возмущающими факторами.

Площадь сечения срезаемого слоя является основным и решающим фактором при определении силы резания, которая возрастает прямо пропорционально увеличению глубины резания и несколько медленнее при увеличении подачи. Сопротивление металлов резанию увеличивается с увеличением площади сечения срезаемого слоя, причем увеличение ширины его вызывает большее увеличение усилия резания, чем увеличение толщины. При сверлении с увеличением диаметра сверла увеличивается площадь сечения срезаемого слоя. При этом увеличивается теплоотвод от режущих кромок, что способствует увеличению скорости резания. Последнее оказывает большое влияние на стойкость сверла. В связи с этим возникает необходимость создания методики проектирования операций обработки отверстий с учетом возникающих вибраций инструментов, а также определение площади срезаемого слоя.

2. Основное содержание и результаты работы

2.1 Методика проведения исследований

Рассмотрим работу двухлезвийного спирального сверла, схема которой представлены на рис. 1. Если в первом приближении пренебречь тангенциально-поперечными силами и перемещениями, дающими составляющие погрешности при динамической устойчивости процесса, то уравнение статического равновесия двухлезвийного инструмента [2] имеет вид:

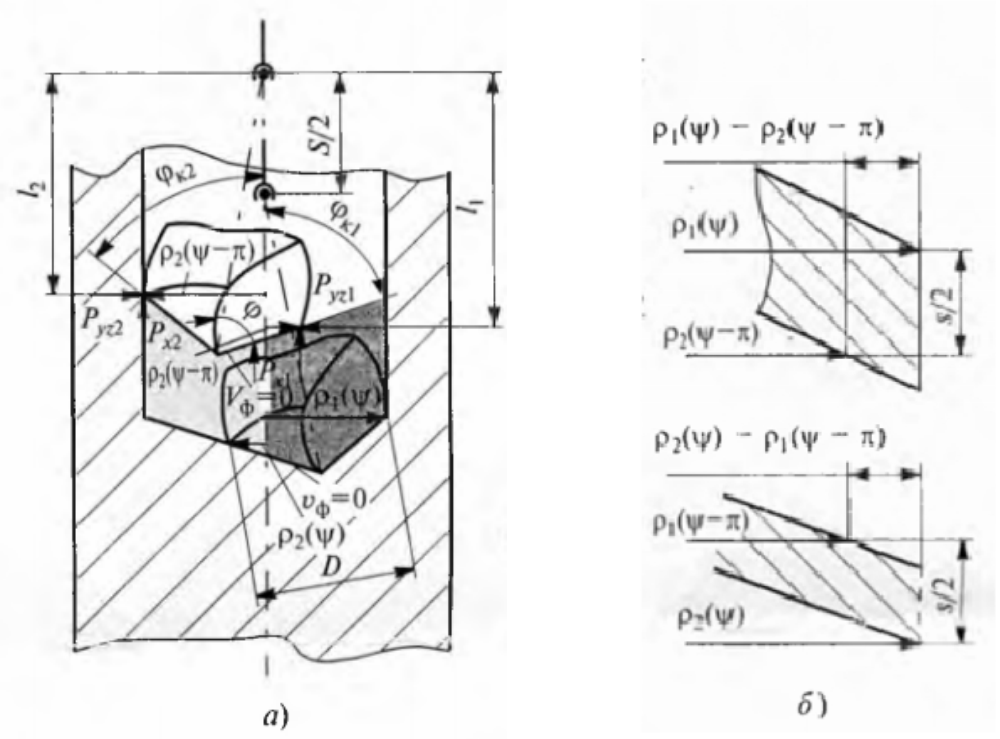


Рис. 1. Схема формирования увода оси отверстия в его продольном сечении (а) и определение площадей срезаемых слоев (б)

$$P_{yz1}l_1 - P_{x1}\rho_1(\psi) = P_{yz2}l_2 - P_{x2}\rho_2(\psi), \tag{1}$$

где P_{yz1} и P_{yz2} — радиальные составляющие силы резания на первом и втором лезвиях инструмента; P_{x1} и P_{x2} — продольные составляющие силы резания на этих лезвиях; $\rho_1(\psi)$ и $\rho_2(\psi)$ — текущие радиус-векторы вершин этих лезвий; $\psi = \omega_{вр}t$ — текущий угол поворота инструмента; $\omega_{вр}$ - угловая скорость; t - текущее время; $l_1 = l_2 = l$ — расстояние от вершин лезвий до полного поворота.

При $l >> D$ и при $\varphi < 90°$, моментами от продольных сил можно пренебречь. Тогда уравнение (1) статического равновесия можно выразить формулой:

$$P_{yz1} = P_{yz2}; \tag{2}$$

при этом оно дополняется геометрическим соотношением

$$\rho_1(\psi) + \rho_2(\psi) = D. \tag{3}$$

Силы, входящие в уравнение статического равновесия, приблизительно пропорциональны площадям f_1 и f_2 срезаемых слоев и коэффициентам K_{y1} и K_{y2} резания инструмента:

$$P_{yz1} = K_{y1}\Delta_1 = K_{y1}a_1b_1; \quad (4)$$

$$P_{yz2} = K_{y2}\Delta_2 = K_{y2}a_2b_2, \quad (5)$$

где a_1 и b_1 — соответственно толщина и ширина срезаемого слоя.
Из рис. 1 видно, что площадь срезаемого слоя равна [2]

$$f_1 = \rho_1(\psi)\left[\frac{S}{2} + \frac{\rho_1(\psi) - \rho_2(\psi)}{tg\varphi}\right]. \quad (6)$$

2.2 Определение площадей среза для конкретных условий обработки
Исходные данные:

D=23.6 мм – диаметр обрабатываемого отверстия;

L=60мм – длина отверстия;

обрабатываемый материал – чугун НВ=196;

режущий инструмент - твердосплавное сверло общего назначения с двойным углом при вершине 2φ=118˚;

подача S=0,28 мм/об.

На рис. 2 приведена схема формирования увода оси отверстия в его поперечном сечении, где $\Delta\psi$ – угловой шаг, e – смещение оси сверла при его повороте на угловой шаг.

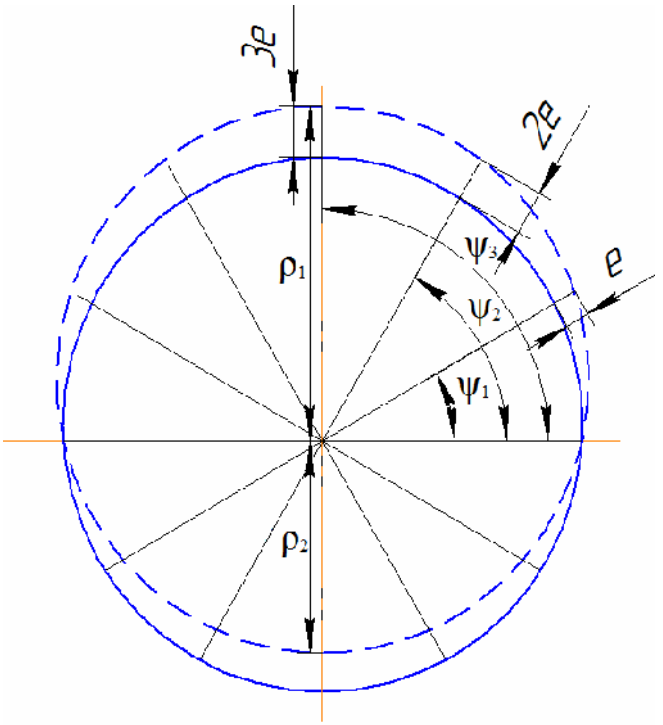


Рис. 2. Схема формирования увода оси отверстия в его поперечном сечении

Исходя из схемы формирования увода оси отверстия (см. рис.. 2), получим:

$$\psi_1 = \Delta\psi = 30° - шаг;$$

$$\psi_2 = 2\cdot\Delta\psi = 2\cdot 30° = 60°;$$

$$\psi_3 = 3 \cdot \Delta\psi = 3 \cdot 30° = 90°.$$

Амплитуда *A* вибраций выбирается в соответствии с [1].

Примем 2A=0,1мм. При повороте сверла на 90° (то есть на ¼ оборота) элементарная подача ΔS , соответствующая угловому шагу, равна:

$$\Delta S = (1/4)\ (1/3)\ S = (1/12)\ S.$$

Следовательно:

$$e = (1/3)\ A = (1/3)\ 0{,}05 = 0{,}017 \text{ мм}.$$

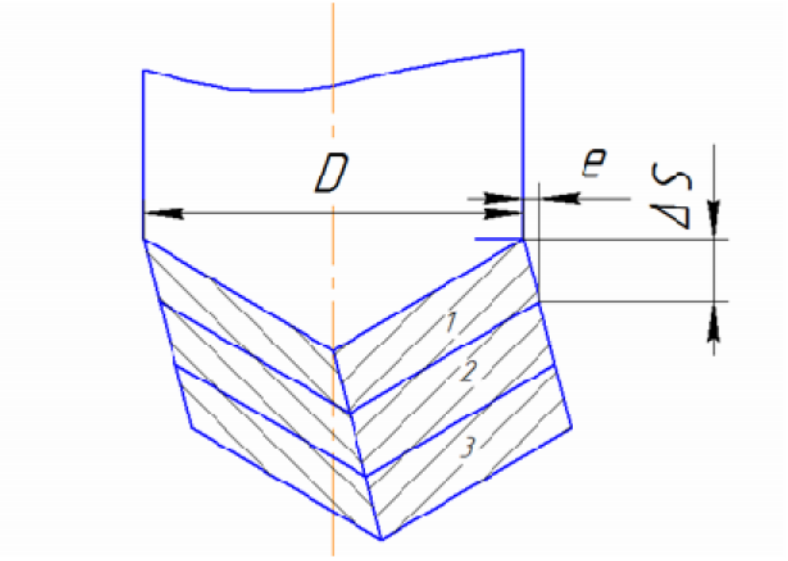


Рис. 3 Влияние увода сверла на площадь срезаемого слоя

На рис. 3 приведена схема влияния увода сверла на площадь срезаемого слоя (сегменты 1, 2, 3).

Для принятых исходных данных определяем площадь срезаемого слоя.

Тогда, из формулы (6) получаем:

$$f_1 = \rho_1(\psi)\left[\frac{S}{2} + \frac{\rho_1(\psi) - \rho_2(\psi)}{tg\varphi}\right] = 11{,}80\left[\frac{0{,}28}{2} + \frac{11{,}80 - 11{,}76}{tg\,59°}\right] = 1{,}91 мм^2$$

$$f_2 = \rho_2(\psi)\left[\frac{S}{2} + \frac{\rho_2(\psi) - \rho_1(\psi)}{tg\varphi}\right] = 11{,}76\left[\frac{0{,}28}{2} + \frac{11{,}76 - 11{,}80}{tg\,59°}\right] = 1{,}38 мм^2$$

3. Заключение

Вследствие возникновения вибраций траектория оси применяемого инструмента искривляется, вследствие чего лезвия сверла срезают разный слой материала. Это является одной из основных причин, определяющих такие факторы, как сопротивление резанию, силы резания, стойкость инструмента. В результате каждое из лезвий сверла снимает разные значения объёма металла. Это значительно влияет на распределение сил резания, воздействующих на лезвия инструмента, и, следовательно, существенно снижает стойкость сверла.

Список литературы: 1. Подураев В.Н. Обработка резанием с вибрациями. М., «Машиностроение», 1970, стр. 350. **2.** Сергеев С.В. Моделирование точности формирования отверстий при сверлении//СТИН. – 2010. - №9. – С. 33-38.

УДК 621.9:658.5

ПРИМЕНЕНИЕ СОЖ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Петриков А.В., Полтавец В.В., Иванов А.А. *(ДонВПМУ, ДонНТУ,г. Донецк, Украина)*

Современные смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС), применяемые в металлообработке – неотъемлемая часть всего комплекса средств, обеспечивающего эффективную эксплуатацию металлообрабатывающего оборудования и инструмента, а также качество производимого изделия. При существующем в настоящее время пересмотре взглядов на применение СОТС простого заполнения зоны резания указанным средством уже не достаточно [1]. Наиболее распространёнными СОТС продолжают оставаться смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Кроме вида применяемой жидкости, также и способ подачи СОЖ в зону резания вместе с характеристиками её потока оказывают существенное влияние на производительность процесса, охлаждение инструмента, удаление стружки, снижение количества пыли, точность и качество обрабатываемой поверхности детали [2].

При современном, динамично растущем уровне металлообработки одновременно повышаются и требования к СОЖ, а именно, многофункциональность и одновременное эффективное выполнение нескольких действий. Одним из прогрессивных методов применения СОЖ является её подача в зону резания под давлением через точно направленные отверстия (сопла) в теле инструмента. Долгое время подобный способ подачи СОЖ являлся слишком сложным в осуществлении, но со временем системы подачи СОЖ под высоким давлением (HPC – High pressure coolant) положительно зарекомендовали себя. Подача СОЖ под давлением положительно влияет на физико-механические и тепловые показатели процесса обработки: распределение и отвод тепла из зоны резания, процессы формирования и дробления стружки, налипание обрабатываемого материала на поверхность инструмента [3].

Изучение литературных источников показало, что исследованиями в этой области активно занимаются компании, которые лидируют в сфере изготовления инструмента с внутренней сопельной подачей жидкости. Компания Sandvik Coromant предлагает семейства инструментов CoroTurnHP, CoroMill и CoroDrill, которые в сочетании с модульной инструментальной системой Coromant Capto изначально разрабатывались для подачи СОЖ под высоким давлением [1]. Компания Iscar разработала семейства инструментов: Cut-grip – для канавочно-токарной обработки, семейства Isoturn и Heliturn – для продольного и торцевого точения, Tang-grip – для отрезки и точения канавок, Pentacut – для прорезки, точения канавок и отрезки [4]. Указанные компании разработали ряд конструктивных решений для обеспечения подачи СОЖ в зону резания под высоким давлением через тело инструмента.

Конструктивной особенностью инструментов системы CoroTurnHP является высокоточное расположение сопел в теле инструмента под определенным углом, причем величина этого угла назначается исходя из условия, чтобы жидкость, выходящая из сопел, покрывала непосредственно саму зону резания, т.е. попадала на главную и вспомогательную режущие кромки инструмента (рис. 1).

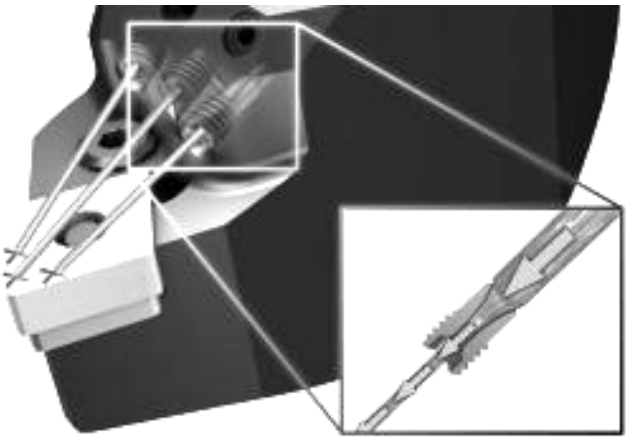


Рис. 1. Подача СОЖ через тело инструмента в инструментальной системе CoroTurn HP [1]

Характеристиками системы подачи СОЖ под высоким давлением HPC являются давление, расход жидкости, а также диаметр отверстия сопла. Принцип, на котором основан эффект HPC, заключается в следующем: чем меньше диаметр отверстия сопла, тем больше скорость потока на выходе. Чем больше диаметр сопла, тем больший расход жидкости необходим, и наоборот. Кроме того, количество сопел (если их несколько) будет также влиять на давление жидкости на выходе [1].

Согласно теории Бернулли, выражающей зависимость между давлением, скоростью и расходом жидкости, в случае, когда жидкость переходит из трубы с большим диаметром в трубу с меньшим диаметром (рис. 2), обеспечиваются необходимые условия для получения высокоскоростного потока жидкости. Чем больше диаметр выходного отверстия (сопла системы подачи СОЖ), тем больший расход жидкости необходим для обеспечения требуемого давления.

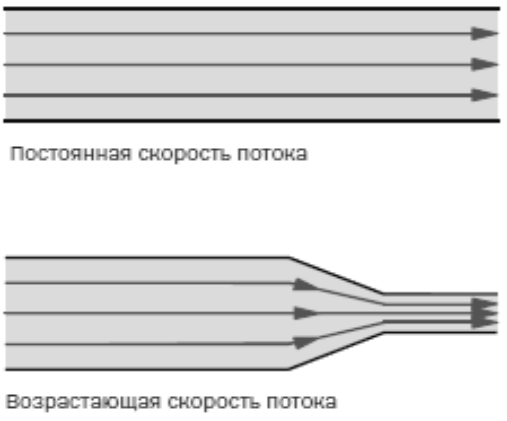


Рис. 2. Влияние площади сечения трубы на скорость потока жидкости

Количество сопел в токарных резцах может колебаться от 2 до 3. При фрезеровании количество сопел, а соответственно, и расход жидкости увеличивается в зависимости от количества режущих пластин, установленных на фрезе. При сверлении важным выходным параметром процесса является не только охлаждение и смазывание контактирующих поверхностей, но и облегчение отвода стружки. Немаловажным требованием для более эффективного действия потока СОЖ является получение ламинарного истечения жидкости из сопла.

Сопла для подачи СОЖ в специализированных инструментах для HPC заранее настроены, зафиксированы в корпусе инструмента и не требуют дополнительной регулировки. Также конструкция инструментальной системы предусматривает использование специальной инструментальной оснастки, обеспечивающей подачу СОЖ в каналы в корпусе инструмента (рис. 3).

Подача СОЖ под высоким давлением положительно сказывается на качественных и количественных показателях обработки нержавеющих и низкоуглеродистых сталей, но максимальный эффект при использовании этого технологического решения достигается при резании более труднообрабатываемых материалов, такие как титановые и жаропрочные сплавы [5].

Рис. 3. Механизм закрепления токарного инструмента с возможностью подачи СОЖ под высоким давлением в каналы в теле инструмента [1]

Перечисленные выше преимущества позволяют добиться более эффективного использования оборудования, рабочего времени и улучшения всего процесса обработки, обеспечивая тем самым быстрый возврат вложенных средств. Оптимизированная система обработки на станке с использованием HPC может окупиться за несколько месяцев [5].

Модернизация станка с целью оснащения станцией подвода СОЖ под высоким давлением возможна и при эксплуатации оборудования на производстве, но экономически целесообразно устанавливать данную опцию при заказе оборудования на предприятии-изготовителе. Это обусловлено сложностью замены и модернизации стандартных узлов в системе подачи СОЖ станка.

Таким образом, применение подачи СОЖ под высоким давлением следует рассматривать как способ повышения эффективности различных технологических операций при фрезерной и токарной обработке, что позволяет увеличить производительность, повысить качество поверхностей изделия при механической обработке с различной серийностью производства.

Список литературы: 1. Обработка с СОЖ под высоким давлением (HPC) – повышение производительности и стабильность обработки. – AB Sandvikens Tryckeri: 2010.06. – 48 с. **2.** Смазочно-охлаждающие технологические средства. Справочник / Под ред. Л.В. Худобина. – М.: Машиностроение, 2006. – 543 с. **3.** Богуславский В.А. Повышение производительности обработки труднообрабатываемых материалов с применением смазочно-охлаждающих жидкостей / В.А. Богуславский, Т.Г. Ивченко, Сахби Зантур // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия: Машиностроение и машиноведение. Выпуск 7 (166). – Донецк: ДонНТУ, 2010. – С. 9-16. **4.** Новые технологии ISCAR: Инструмент с подачей СОЖ под давлением // Информационно-аналитическое издание «Инструменты и факты» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://xn----7sbhvkd1aaohgm.xn--p1ai/m-article/59---iscar------- (дата обращения: 05.04.2013). **5.** Преимущества подачи СОЖ под высоким давлением //Экспозиция металлообработка. Научно-техн. журнал. – 2012. – № 2 (93). – С. 16-17.

УДК 621.9.025

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ СТАЛИ 12Х18Н10Т ТВЁРДОСПЛАВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ С TiN-ПОКРЫТИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СОТС

Сидорова Е.В., Бугай Я.Ю. *(кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*
Тел./Факс: +38 062 305 01 04, E-mail: sydorova@gmail.com

Аннотация. *Выполнено определение среднего коэффициента трения при точении аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н10Т твёрдосплавным инструментом с TiN-покрытием с использованием различных видов СОТС.*

Ключевые слова: *точение, усадка стружки, средний коэффициент трения, СОТС, TiN-покрытие.*

1. Введение

Функции смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) [1] (смазывающая, охлаждающая, диспергирующая, моющая, демпфирующая, защитная) состоят в повышении эффективности процесса точения посредством увеличения производительности, повышения стойкости инструмента, улучшения качества обрабатываемой поверхности, что приводит в конечном счете к снижению стоимости металлообработки вследствие уменьшения затрат на режущий инструмент, сокращению брака и простоев станков, связанных с заменой затупившегося инструмента.

Для рационального выбора СОТС необходимо предварительно выполнить оценку его технологических свойств. В данной работе рассматривается одно из основных свойств СОТС - смазывающий эффект. Способ оценки данного эффекта был рассмотрен в работе Рыкунова А.Н. [2], который позволил непосредственно на производстве, в реальных конкретных технологических условиях и в кратчайшее время осуществлять сравнение триботехнических характеристик различных пар трения. Мигранов М.Ш. в своей докторской диссертации [3] с помощью методов неравновесной термодинамики разработал информационную базу данных по триботехнических и технологическим характеристикам, позволяющую оперативно с помощью компьютерных программ автоматизировать и рационализировать по износостойкости выбор инструментальных материалов, *PVD*-покрытий, СОТС и режимов резания. Наибольшее внимание обратил на себя метод определения среднего коэффициента трения, представленный в работе Фоменко Р.Н. [4], который достаточно легко и быстро реализуется в производственных условиях.

Целью данной работы является определение среднего коэффициента трения при точении аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н10Т твёрдосплавным инструментом с *TiN*-покрытием при использовании различных видов СОТС. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить размеры стружки после точения стали 12Х18Н10Т при использовании различных видов СОТС;
- определить коэффициент усадки стружки;
- определить средний коэффициент трения.

2. Основное содержание и результаты работы

Экспериментальные исследования выполнялись на токарном металлорежущем станке с ЧПУ модели 16К20Ф3. В качестве инструмента использовали твердосплавные пластины Т5К10 с *TiN*-покрытием (передний угол γ = 0°; задний угол

α = 7°; главный угол в плане φ = 45°; вспомогательный угол в плане φ_1 = 45°).Во всех исследованиях рассматривалось продольное точение (v = 125 м/мин, s = 0,3 мм/об, t = 1 мм) аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н10Т с использованием следующих СОТС: Унизор-М, Ферробетол-М, ЭкоЭМ-1, *STARCUT E9*, *SAFECUT M120*.

Средство «Унизор-М» (5%-ный синтетический раствор «Унизор-М» на базе водорастворимых олигомеров, ПАВ, функциональных присадок с включением ингибиторов коррозии и биоцидов) вида *MAG* сочетает в себе, по отношению к другим рассматриваемым СОТС, высокие охлаждающие и низкие смазывающие свойства.

Средство «Ферробетол-М» (5%-ная эмульсия «Ферробетол-М» на базе растительных и минеральных масел, ПАВ и антифрикционных присадок) вида *MAB* является эмульсией по типу «масло в воде» с антифрикционными присадками и обладает высокими смазывающими свойствами, но низкими охлаждающими.

Средство «ЭкоЭМ-1» (5%-ная полусинтетическая микроэмульсия «ЭкоЭМ-1» на базе растительных и минеральных масел, ПАВ и антифрикционных присадок) вида *MAF* является полусинтетической микроэмульсией по типу «масло в воде» с антифрикционными присадками и обладает высокими смазочными свойствами и средними охлаждающими.

Средство «*STARCUT E9*» (5%-ная эмульсия «*STARCUT E9*» на базе минеральных масел и присадок высокого давления) вида *MAA* является эмульсией и обладает средними смазывающими и низкими охлаждающими свойствами.

Средство «*SAFECUT M120*» (5%-ная полусинтетическая микроэмульсия «*SAFECUT M120*» на базе минеральных масел, функциональных присадок с включением ингибиторов коррозии и биоцидов) вида *MAE* является полусинтетической микроэмульсией и включает в себя средние охлаждающие и смазывающие свойства.

Подача СОТС осуществлялась посредством насосов ПА-22 (мощность 120 Вт, расход 22 л/мин) на заднюю поверхность режущего инструмента.

Средний коэффициент трения при точении согласно [4]

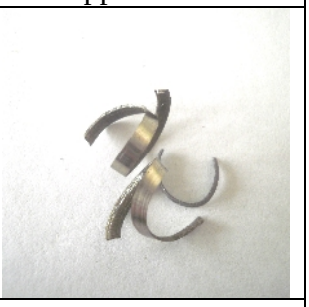
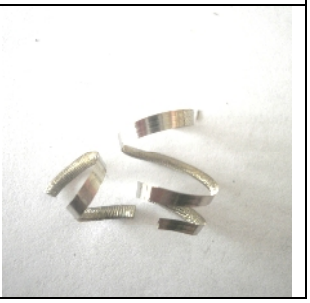
$$\mu = \frac{\cos\gamma + \sin\gamma - B\cdot(\cos\gamma - \sin\gamma)}{\cos\gamma - \sin\gamma + B\cdot(\cos\gamma + \sin\gamma)},$$

где γ – передний угол резца; $B = tg\beta_1$ – величина, характеризующая степень пластических деформаций металла снимаемого припуска и поверхностного слоя обрабатываемой детали; β_1 – угол наклона условной плоскости сдвига. При этом величина β_1 была определена из формулы с учетом известной из опыта величины поперечной усадки стружки k_a

$$k_a = \frac{\cos(\beta_1 - \gamma)}{\sin\beta_1}.$$

Виды стружек, полученные при подаче различных видов СОТС, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Стружкообразование при точении стали 12Х18Н10Т

без СОТС	Унизор-М	Ферробетол-М
		
ЭкоЭМ-1	*STARCUT E9*	*SAFECUT M120*
		

Согласно экспериментальным исследованиям коэффициенты усадки стружки для рассматриваемых условий точения при использовании средства «Унизор-М» - 2,4; «Ферробетол-М» - 1,9; «ЭкоЭМ-1» - 2,0; «*STARCUT E9*» - 2,2; «*SAFECUT M120*» - 2,2. Тогда, согласно вышеприведенным зависимостям, средний коэффициент трения при точении с использованием средства «Унизор-М» - 0,41; «Ферробетол-М» - 0,31; «ЭкоЭМ-1» - 0,33; «*STARCUT E9*» - 0,38; «*SAFECUT M120*» - 0,38.

Заключение. Представленный метод позволил быстро и без применения специального оборудования определить ориентировочные значения среднего коэффициента трения при точении аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н10Т твёрдосплавным инструментом с *TiN*-покрытием с использованием различных видов СОТС. При применении «Унизор-М» средний коэффициент трения составил 0,41; «Ферробетол-М» - 0,31; «ЭкоЭМ-1» - 0,33; «*STARCUT E9*» - 0,38; «*SAFECUT M120*» - 0,38.

Список литературы : 1. ABC du graissage [Электронный ресурс] / Castrol. – Режим доступа: http://www.castrol.com/liveassets/bp_internet/castrol/castrol_switzerland/STAGING/local_assets/downloads/a/ABC_F_Mai_2009.pdf - (06.09.2013). **2.** Рыкунов, А.Н. Сравнительная экспресс-оценка триботехнических характеристик зоны резания / А.Н. Рыкунов // Инструмент и технологии. – 2005. - № 11-12. – С. 159-161. **3.** Мигранов, М.Ш. Повышение износостойкости инструментов на основе прогнозирования процессов адаптации поверхностей трения при резании металлов: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 / Мигранов Марс Шарифуллович; Уфимский государственный авиационный технический университет. – Зашита 22.05.07. – Москва, 2007. –34 с. **4.** Фоменко, Р.Н. Исследование влияния износостойких покрытий инструмента на различные параметры процесса резания при точении/ Р.Н. Фоменко // Вестник УГАТУ. Машиностроение – 2009. – Т. 12. - № 4 (33). – С. 51-55.

УДК 621.923

ВЫБОР ГЕОМЕТРИИ ТОРЦОВОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Устименко А.С., Байков А.В. (*кафедра ТМ, ДонНТУ, г. Донецк, Украина*)

При обработке лицевой поверхности облицовочных плит из природного камня необходимо обеспечить требуемую величину неплоскостности поверхности. На этапах финишной обработки на равномерность съема материала существенное влияние оказывает геометрия рабочей поверхности шлифовального инструмента, в частности, закон изменения вдоль радиуса инструмента коэффициента заполнения алмазоносного слоя.

На основании физико-механического подхода к проблеме формообразования поверхностей [1, 2] при торцовом шлифовании съем на каждой элементарной площадке контакта инструмента и заготовки определяется зависимостью:

$$\frac{dz}{dt} = C_m \, p \, k \, \overline{V} \, ,$$

где z - линейный съем в данной точке поверхности детали; C_m - постоянная, характеризующая конкретные условия обработки (зернистость и твердость инструмента, свойства обрабатываемого материала и т.д.), Мпа$^{-1}$; p - удельное давление в зоне резания, МПа; k - коэффициент заполнения инструмента [2, 3, 4]; $\overline{V}$ - средняя скорость относительного движения инструмента и детали, м/с; t - время, с.

Величина коэффициента заполнения в каждой кольцевой зоне инструмента зависит от требуемой производительности обработки, кинематических параметров резания и геометрии инструмента.

Исследование влияния вышеперечисленных факторов на величину и характер изменения коэффициента заполнения проводились для инструмента с размерами, соответствующими размерам алмазной головки АПГ 320: наружный диаметр D=320 мм, диаметр отверстия d=112 мм при условии, что в диапазоне b=56…135 мм величина съема постоянна. Расчеты проводились с использованием ППП MathCAD 7.0

Исследования показали, что с изменением частоты вращения инструмента значение коэффициента заполнения в различных кольцевых зонах пропорционально изменяется, а характер распределения вдоль радиуса инструмента сохраняется неизменным. Зависимость коэффициента заполнения инструмента в различных сечениях от частоты вращения инструмента представлена на рисунке 1. Зависимость носит обратно пропорциональный характер, что вполне объяснимо, так как величина съема материала пропорционально зависит и от коэффициента заполнения, и от средней скорости контакта поверхности заготовки и инструмента, определяемой частотой вращения последнего.

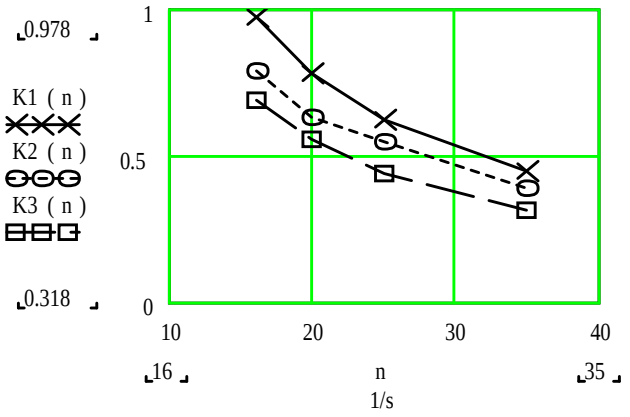


Рис. 1. Зависимость коэффициента заполнения от частоты вращения

Величина подачи инструмента на характер распределения коэффициента заполнения вдоль радиуса инструмента так же, как и скорость, не влияет, однако влияет на значение коэффициента заполнения и это влияние прямо пропорциональное (рис. 2). Это связано с тем, что величина подачи определяет время контакта элементарной площадки на поверхности заготовки с поверхностью шлифовального круга: с увеличением подачи время контакта уменьшается, следовательно, уменьшается количество актов взаимодействия абразивных зерен с обрабатываемым материалом. Таким образом, для сохранения производительности обработки необходимо увеличивать величину коэффициента заполнения инструмента.

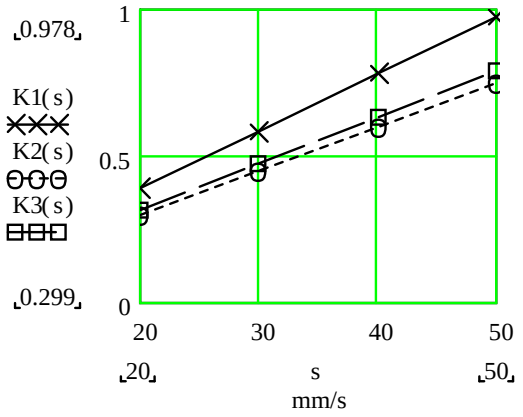


Рис. 2. Зависимость коэффициента заполнения от величины подачи

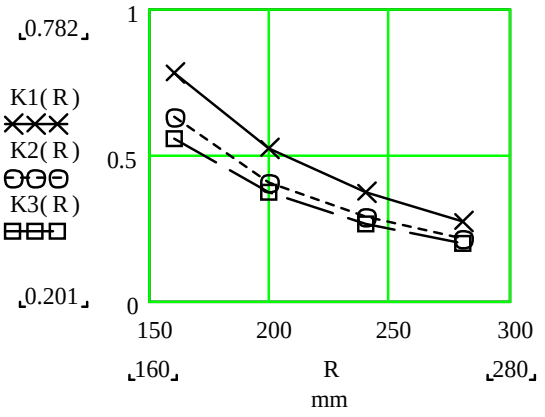


Рис. 3. Зависимость коэффициента заполнения от радиуса инструмента

При варьировании радиуса инструмента изменение коэффициента заполнения вдоль радиуса имеет одинаковый характер для всех рассматриваемых значений, различаются только численные значения. Величина значений коэффициента заполнения в соответствующих зонах с увеличением радиуса инструмента обратно пропорционально уменьшается (рис.3). Это объясняется тем, что с увеличением радиуса инструмента увеличиваются и скорость, и время контакта элементарных площадок обрабатываемой поверхности и поверхности инструмента.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что характер изменения коэффициента распределения алмазоносного слоя вдоль радиуса инструмента определяется только законом распределения величины съема материала в сечении, перпендикулярном направлению подачи. Численное значение величины коэффициента распределения зависит от режимных параметров обработки и геометрических размеров инструмента.

Список литературы: 1. Крагельский И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. - М. : Машиностроение, 1977. – 526 с. **2.** Рогов В. В. Финишная алмазно-абразивная обработка неметаллических деталей / В. В. Рогов. - К. : Наук. Думка, 1985. - 264 с. **3.** Сидорко В. И. Теоретический анализ износа рабочего слоя инструмента для финишной обработки деталей из природного и синтетического камня / В. И. Сидорко // Сверхтвердые материалы. - 2006. - № 2 - С. 64-71 **4.** Скрябин В. В. Характер износа рабочего слоя инструмента при финишной обработке плоских поверхностей изделий из алюмосиликатных материалов / В. В. Скрябин, В. И. Сидорко, Ю. Д. Филатов // Сверхтвердые материалы. - 2004. - № 4. - С. 69-74.

УДК 621.91.01

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЛАПЛАСА В ИССЛЕДОВАНИИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Харахашьян А.М. *(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)*

Аннотация. *Отработана методика определения температурных полей в системе «режущий инструмент – заготовка» с использованием преобразования Лапласа. Результат верифицирован путем сопоставления с предельным стационарным решением, общефизическими соображениями и данными технического эксперимента. Предполагается развитие методики на реалистичные многомерные постановки.*

При резании металлов тепловой режим системы «режущий инструмент – деталь» определяет срок службы резца и качество обработки материала. Поэтому исследования тепловых режимов резания являются крайне актуальной задачей. Температурные поля в инструменте и детали описываются дифференциальным уравнением с частными производными [1-3]. Поиск решения этого уравнения с конкретизирующими начальными и граничными условиями является достаточно сложной задачей, а современные системы символьных вычислений позволяют получить решение только в простейших случаях. Значительно упрощает вычисления интегральное преобразование Лапласа, состоящее в сведении дифференциального уравнения с частными производными к обыкновенному дифференциальному уравнению.

Физически состоятельные допущения позволяют рассматривать задачу о тепловом режиме резца как задачу нагрева полуограниченного стержня, на конце которого задан тепловой поток, а поверхность подвержена теплоотдаче с коэффициентом *b*. Соответствующее уравнение имеет вид:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - bT, \tag{1}$$

Без потери общности можно окружающую и начальную температуру стержня считать нулевой, т.е. $T(x,\,0)=0$, $\dfrac{\partial T(0,\,t)}{\partial x} = -\dfrac{q}{\xi}$, $T(0,\,t)=0$.

Стационарным решением (1) служит:

$$T(x) = \frac{q}{\xi}\sqrt{\frac{a}{b}}e^{-\sqrt{\frac{b}{a}}x}. \tag{2}$$

Интерес для анализа и моделирования представляет нестационарное решение, зависящее от времени. Стационарное решение позволяет судить о процессах, происходящих в стержне лишь на большом промежутке времени, в то время как нестационарное решение даёт возможность рассматривать их даже на малых временных промежутках.

Применив прямое преобразование Лапласа к уравнению (1), получим:

$$sU - T(x,\,0) = a\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - bU$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - U\left(\frac{s+b}{a}\right) = 0. \tag{3}$$

Общее решение этого уравнения имеет вид:

$$U(x,\,s) = C_1 e^{\sqrt{\frac{s+b}{a}}x} + C_2 e^{-\sqrt{\frac{s+b}{a}}x}$$

$$U'(x,\ s) = C_1\sqrt{\frac{s+b}{a}}e^{\sqrt{\frac{s+b}{a}}x} - C_2\sqrt{\frac{s+b}{a}}e^{-\sqrt{\frac{s+b}{a}}x} \quad . \tag{4}$$

Применив преобразование Лапласа к граничным условиям и подставив результат преобразования в (3) и (4), получаем

$$C_1 = -\frac{q\sqrt{a}}{2\xi s\sqrt{s+b}} \ , C_2 = \frac{q\sqrt{a}}{2\xi s\sqrt{s+b}} \ . \tag{5}$$

Получаем решение в пространстве изображений:

$$U(x,\ s) = \frac{q\sqrt{a}}{2\xi s\sqrt{s+b}}\left(e^{-\sqrt{\frac{s+b}{a}}x} - e^{\sqrt{\frac{s+b}{a}}x}\right). \tag{6}$$

Произведя обратное преобразование Лапласа и упростив выражение, получаем функцию двух переменных, которая служит решением уравнения (1):

$$T\left(x,\ t\right) = \frac{q\int_0^{\sqrt{bt}} e^{-z^2}dz}{\pi\xi\sqrt{b}} \int_0^t \frac{xe^{\frac{-x^2}{4a\tau} - b\tau}}{\tau^{\frac{3}{2}}} d\tau \ . \tag{7}$$

С целью проверить решение (7) на рис. показан его выход на стационарное (2) при $t \to \infty$. Полученный результат не противоречит здравому смыслу и неплохо согласуется с количественными данными технического эксперимента.

Наиболее сложным этапом решения (1) с использованием преобразования Лапласа является обращение изображения: последнее, как правило, состоит из большого числа функций. Выделить в изображении решения элементы, которые могут быть обращены, достаточно сложно, поскольку требуются дополнительные преобразования [1]. Однако, переход к обыкновенным дифференциальным уравнениям позволяет производить часть вычислений (в том числе и обратное преобразование Лапласа) с помощью систем символьной математики.

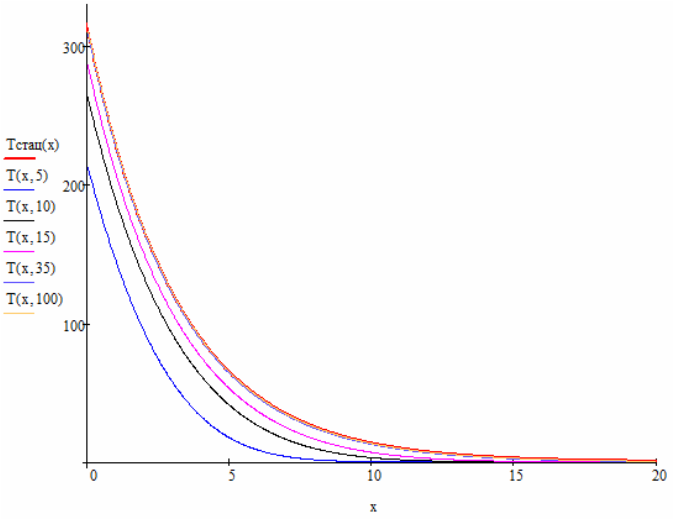


Рис. 1. Динамика температурного поля в резце с выходом на стационарное

Таким образом, автором освоена и отработана методика применения преобразования Лапласа для изучения температурных режимов пространственно одномерной системы «режущий инструмент – заготовка». Перспективным представляется распространение полученных результатов на системы с реалистичной двух- и трехмерной геометрией.

Список литературы: 1. Дёч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования. М., 1971. **2.** Араманович И.Г., Левин В.И. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1969. **3.** Шубин М. А. Лекции об уравнениях математической физики. М.: МЦНМО, 2003.