

TREATMENT OF WORKPIECES WITH COMPLEX FORM ON NUMERICALLY CONTROLLED LATHES

TODOR KUZMANOV, HRISTO METEV, IVO IVANOV

Abstract. In this article prerequisites for optimization of the methods for cutting of workpieces with complicated form have been created. These prerequisites provide a possibility for theoretical analysis of special features of mechanical treatment in the conditions of dynamical cutting. The relationships for wear and life-time have been found.

Key words: mechanical treatment; numerically controlled lathes; longitudinal-profile surfaces; dynamical cutting; wear; life-time.

ОБРАБОТВАНЕ НА ДЕТАЙЛИ СЪС СЛОЖНА ФОРМА ВЪРХУ СТРУГОВИ МАШИНИ С ЦПУ

1. Въведение

В техниката, наред с цилиндричните и равнинни повърхнини, широко приложение намират и различни криволинейни повърхнини, обединени под общото наименование профилни, а детайлите с такива повърхнини образуват групата на детайлите със сложна форма (ръкохватки, профилни валове, копири, валове на прокатни и калибровъчни машини, шайби за плоски и клиновидни ремъци, вагонни оси и бандажни колела, профилни кръгли ножове и фрези и др.).

Най-разпространените видове профилни повърхнини са ротационните, образувани от движението на криволинейна образуваща по направляваща окръжност.

Всички цилиндрични детайли (гладки и стъпални) се явяват частен случай на детайлите със сложна форма и ситуациите, отнасящи се към технологиите за обработване на детайлите със сложна форма могат да бъдат отнесени, към технологиите за обработване на цилиндрични детайли.

Имайки предвид това е ясно, че класът на детайлите със сложна ротационна форма, се явява много обширен, обединява значително количество наименования на различни машиностроителни детайли от всички отрасли на промишлеността и във връзка с това обработването на детайлите от този клас заема значително място в операциите за механично обработване.

Детайлите със сложна ротационна форма, преди всичко, се обработват на стругови машини, което прави изучаването на процеса формообразуване при струговане важна технико-икономическа задача. Процесът е особено актуален в

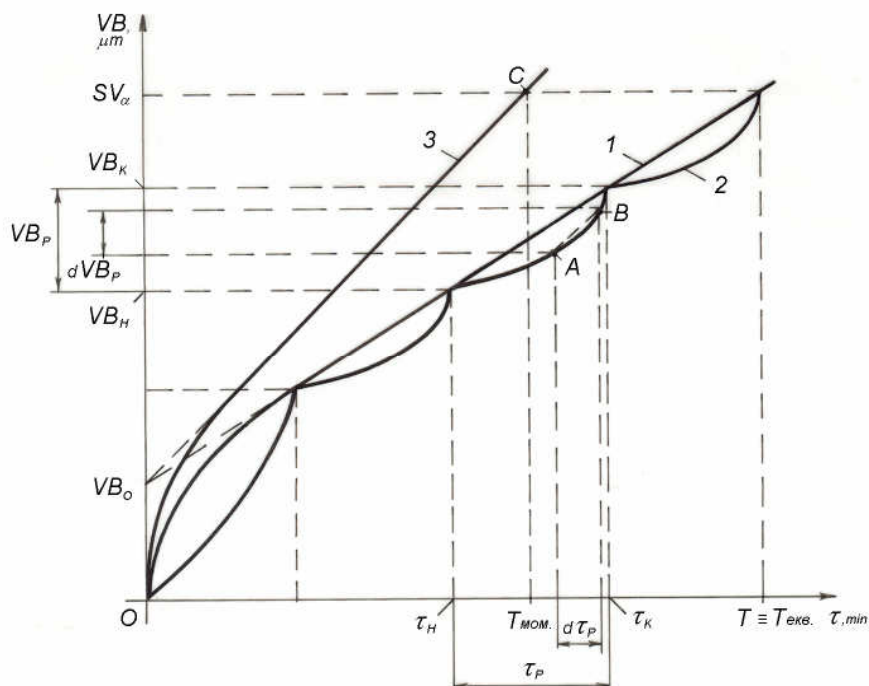
условията на частична автоматизация на производството, характеризираща се с използването на машини с ЦПУ и друго скъпо струващо автоматизирано оборудване.

Оптимизацията на режимите на рязане при стругово обработване е свързана с получаването на математически модели за трайността T и износването VB_p на инструмента. Известните теоретични и емпирични модели [1,4,7,8] са получени за условията на стационарен процес на рязане, характеризиращ се с постоянство на средните стойности (математическото очакване) и полето на разсейване (дисперсията) на външните въздействия (дълбочина на рязане a_p , скорост на рязане V_c , подаване f и др.) за периода на трайност на инструмента.

Целта на изследването е определяне на трайността T и износването VB_p на инструмента при обработване на повърхнини със сложна форма с променливи режими на рязане.

2. Износване и трайност на инструментите при обработване на елементарни повърхнини с променливи режими на рязане

Кривата на износване на инструмента при обработване на елементарна криволинейна повърхнина с променлив режим на рязане има формата на последователни криволинейни участъци (фиг. 1, крива 2), началото и края на които съответства на началото и края на обработването на елементарната повърхнина [2]. За всеки променлив режим на рязане може да се избере постоянен такъв, наречен *еквивалентен режим*, оказващ такова влияние на износването и трайността на инструмента, както и променливият (фиг. 1, крива 1).



Фиг. 1 Крива на износване на инструментите (1-при постоянен еквивалентен режим на рязане; 2-при променлив режим на рязане; 3-при постоянен моментен режим на рязане, съответстващ на режима 2 в момента $d\tau$)

Трайността съответстваща на еквивалентния режим се нарича *еквивалентна* - $T_{екв.}$

За зоната на нормално износване

$$\frac{VB_k - VB_n}{SV_\alpha - VB_0} = \frac{\tau_k - \tau_n}{T}, \quad (1)$$

където VB_n и VB_k са износване на инструмента по задната повърхнина, съответно в началото и края на обработване на елементарната повърхнина; SV_α – допустимо износване на инструмента за периода на трайността му T ; VB_0 – начално износване; τ_n и τ_k – времена съответстващи на началото и края на обработване на елементарната повърхнина.

В зависимост (1) $VB_k - VB_n = VB_p$ и $\tau_k - \tau_n = \tau_p$, откъдето за износването VB_p се получава

$$VB_p = (SV_\alpha - VB_0) \frac{\tau_p}{T}. \quad (2)$$

При постоянен еквивалентен режим на рязане, зависимостта за VB_p има вида

$$VB_p = (SV_\alpha - VB_0) \frac{\tau_k - \tau_n}{T} = (SV_\alpha - VB_0) \frac{\tau_p}{T_{екв.}}, \quad (3)$$

където $T_{екв.} = T$.

При променлив режим на рязане, се преминава към диференциална форма на зависимост (2)

$$dVB_p = (SV_\alpha - VB_0) \frac{d\tau}{T_{мом}}, \quad (4)$$

където $T_{мом}$ е моментен период на трайност на инструмента т. е. време, за което износването на новия инструмент достига допустимата стойност SV_α , при условие, че за целият период на обработване параметрите на режима на рязане остават постоянни (фиг. 1, крива 3) и равни на разглежданите моментни стойности, съответстващи на момента от време $d\tau \equiv d\tau_p$ [9].

Интензивността на износване на инструмента при променлив режим на рязане в момента $d\tau$ е равна на интензивността на износване при моментен постоянен режим, т.е. $AB // VB_0C$.

При интегриране на (4) се получава

$$VB_p = (SV_\alpha - VB_0) \int_{\tau_n}^{\tau_k} \frac{d\tau}{T_{мом}}. \quad (5)$$

След приравняване на (3) и (5)

$$\frac{\tau_k - \tau_n}{T_{екв.}} = \int_{\tau_n}^{\tau_k} \frac{d\tau}{T_{мом}}, \quad (6)$$

откъдето, отчитайки че $T_{екв.} = T$, за трайността T се получава

$$T = \frac{\tau_k - \tau_H}{\int_{\tau_H}^{\tau_k} \frac{d\tau}{T_{\text{мом}}}} = \frac{\tau_k - \tau_H}{\int_{\tau_H}^{\tau_k} \frac{d\tau}{T_{\text{мом}}(a_p, f, v_c, \chi_r, \dots)}}. \quad (7)$$

В (7), зависимостта на $T_{\text{мом}}$ от параметрите на режима на рязане се предполага че е известна.

Използването на зависимост (5) за определяне на VB_p е възможно само при наличие на зависимост от вида $T = f(a_p, f, v_c, SV_\alpha, \dots)$. В останалите случаи, а така също при неизвестно SV_α , износването на инструмента при обработване на една елементарна повърхнина може да се определи, използвайки диференциалното уравнение за скоростта на износване

$$V_{VB} = \frac{dVB}{d\tau}, \quad (8)$$

където V_{VB} е скорост на износване на инструмента, която е обратно пропорционална на трайността и за разлика от нея не зависи от приетия критерий за износване, а само от режимите на рязане и условията на обработване (например от обработвания и инструменталния материал, геометрията на инструмента, използваната МОТ и др.).

В общия случай може да се запише

$$V_{VB} = V_{VB}(a_p, f, v_c, \chi_r, \dots). \quad (9)$$

От зависимости (8) и (9) може да се определи износването на инструмента при обработване на елементарна повърхнина с променлив режим на рязане

$$VB_p = VB_k - VB_H = \int_{\tau_H}^{\tau_k} V_{VB}(a_p, f, v_c, \chi_r, \dots) d\tau. \quad (10)$$

Замествайки в (7) и (10) с изразите за τ_H , τ_k , $T_{\text{мом}}$ и V_{VB} , за всеки конкретен случай на обработване, се получават зависимости за определяне на T и VB_p при обработване на елементарна повърхнина с променлив режим на рязане. При това е необходимо да се има предвид, че изчисленията по зависимости (7) и (10) трябва да се извършват само за тези диапазони на изменение на параметрите, за които са получени изходните изрази за трайността и износването при обработване с постоянен режим на рязане. Изборът на изрази за $T_{\text{мом}}$ и V_{VB} определя точността на изчисленията и ако изборът е правилен, то точността с която са определени T и VB_p зависи само от точността, с която са определени трайността и износването в случая на обработване с постоянен режим на рязане.

За определяне на трайността в областта на практически използваните режими на рязане се използва формулата на Ф. Тейлор

$$T = C_T a_p^x f^y v_c^z, \quad (11)$$

където C_T , x , y и z са коефициент и степенни показатели, зависещи от условията на обработване.

В този случай зависимост (7) добива вида

$$T = \frac{\tau_k - \tau_n}{\frac{1}{C_T} \int_{\tau_n}^{\tau_k} \frac{d\tau}{a_p^x f^y v_c^z}} \quad (12)$$

За скоростта на износване може да се използва зависимост [4]

$$V_{VB} = V \cdot VB_{отн.}, \quad (13)$$

където $VB_{отн.}$ е относително износване [9]

$$VB_{отн.} = C_h a_p^q f^u v_c^{m'} K_{\chi_r} K_M K_u, \quad (14)$$

където $C_h, q, u, m', K_{\chi_r}, K_M, K_u$ са коефициент и степенни показатели зависещи от условията на обработване [4].

Замествайки в (13), зависимостта за V_{VB} добива вида

$$V_{VB} = C_{VB} a_p^q f^u v_c^{m'+1} K_{\chi_r} K_M K_u, \quad (15)$$

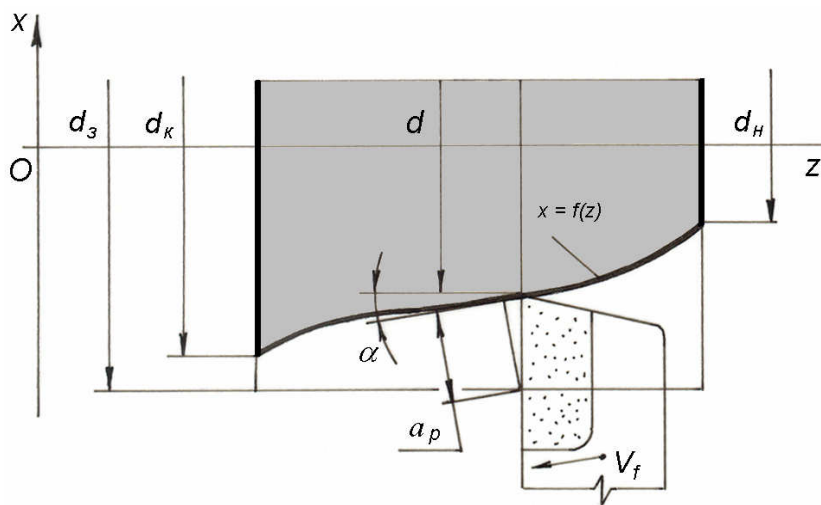
в която след полагане на $m = m' + 1$, $C_u = C_{VB} K_{\chi_r} K_M K_u$ се получава

$$V_{VB} = C_u a_p^q f^u v_c^m. \quad (16)$$

Зависимостта за VB_p след заместване на (16) в (10) добива вида

$$VB_p = \int_{\tau_n}^{\tau_k} C_u a_p^q f^u v_c^m d\tau = C_u \int_{\tau_n}^{\tau_k} a_p^q f^u v_c^m d\tau. \quad (17)$$

Конкретни зависимости за определяне на T и VB_p при обработване на конусни, сферични, елипсоидни и с произволна форма на образуващата повърхнини, с променливи параметри на режима на рязане, са изведени в [3,5,6], като в общият случай, при струговане от изходна цилиндрична заготовка на сложна елементарна повърхнина, образуващата линия на която се описва с уравнението $x=f(z)$ в равнината XOZ (фиг. 2), зависимостите за времето τ_p , трайността T и износването VB_p са дадени в табл. 1.



Фиг. 2 Обстръгване на повърхнина $x=f(z)$ с променливи режими на рязане

Табл. 1. Зависимости за τ_p , T и VB_p при обработване на сложна елементарна повърхнина

	Променлив технологически параметър		
	a_p [3]	v_c [6]	a_p и f (при $K = a_p f = const$) [5]
τ_p	$\frac{1}{n_c f} \int_{z_H}^{z_K} \sqrt{1 + [f'(z)]^2} dz \quad (18)$	$\frac{1}{n_c f} \int_{z_H}^{z_K} \sqrt{1 + [f'(z)]^2} dz \quad (21)$	$\frac{1}{nK} \int_{z_H}^{z_K} \left\{ \frac{a_p(z)}{\cos[\arctg f'(z)]} - f(z) \right\} dz \quad (24)$
T	$C_T f^y v_c^z \frac{\int_{z_H}^{z_K} \sqrt{1 + [f'(z)]^2} dz}{2^x \int_{z_H}^{z_K} \frac{\sqrt{1 + [f'(z)]^2} dz}{B^x}}, \quad (19)$	$C_T a_p^x f^y (\pi n_c)^z \frac{2^z \int_{z_H}^{z_K} \sqrt{1 + [f'(z)]^2} dz}{\int_{z_H}^{z_K} \frac{\sqrt{1 + [f'(z)]^2} dz}{[f(x)]^z}}, \quad (22)$	$C_T v_c^z \frac{K^y \int_{z_H}^{z_K} \left\{ \frac{a_p(z)}{\cos[\arctg f'(z)]} - f(z) \right\} dz}{\int_{z_H}^{z_K} a_p^{y-x}(z) \left\{ \frac{a_p(z)}{\cos[\arctg f'(z)]} \right\} dz}, \quad (25)$
VB_p	$C_u f^u v_c^m \frac{1}{2^q n_c f} \int_{x_H}^{x_K} B^q \cdot \sqrt{1 + [f'(x)]^2} dx, \quad (20)$	$C_u a_p^q f^u (\pi n_c)^m \frac{2^m}{n_c f} \int_{x_H}^{x_K} [f(x)]^m \cdot \sqrt{1 + [f'(x)]^2} dx, \quad (23)$	$C_u v_c^m \frac{K^{u-1}}{n} \int_{z_H}^{z_K} a_p^{q-u}(z) \left\{ \frac{a_p(z)}{\cos[\arctg f'(z)]} - f(z) \right\} dz. \quad (26)$
<p>където $f(z)$ е първата производна на функцията $f(z)$; z_H и z_K - координати на върха на ножа по ос OZ, съответно в началото и края на обработването на елементарната повърхнина $x=f(z)$, и се определят с помощта на зависимости $z_H = F(d_H/2)$ и $z_K = F(d_K/2)$, където F е обратната функция на $x=f(z)$; $B = \{[d_s - 2f(z)] \cos[\arctg [(f'(z))]\}$; K – площ на срязвания слой метал</p>			

3. Експериментална проверка

- при обработване с променлива дълбочина на рязане

Условията на обработване са: металорежеща машина - струг с ЦПУ СП503; изходна заготовка – горешовалцован прътов материал $\phi 90\text{ mm}$, $L = 100\text{ mm}$ от стомана 45, $HB = 215$; инструмент – стругарски нож, материал на режещата част $P10$, $k_r = 60^\circ$, $\kappa'_r = 30^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\gamma = 7^\circ$, $\lambda = 0^\circ$; режим на рязане - $n_c = 500\text{ min}^{-1}$; $f = 0,2\text{ mm/tr}$; $d_n = 84\text{ mm}$; $d_k = 89\text{ mm}$.

Получените от експеримента стойности на математическите очаквания за T и VB_p са $M[T] = 156\text{ min}$ и $M[VB_p] = 0,095\text{ mm}$, а изчислените с помощта на зависимости (19) и (20) - $T = 168\text{ min}$ и $VB_p = 0,09\text{ mm}$. Грешките на изчислените стойности не превишават 10,5%, което е показател за висока точност на получените модели.

- при обработване с променлива скорост на рязане

Условията на обработване са: металорежеща машина - струг с ЦПУ СП503; изходна заготовка – отливка от $GJL200$, $HB 190$; инструмент с материал на режещата част $K20$, $k_r = 45^\circ$, $\kappa'_r = 45^\circ$, $\alpha = 6^\circ$, $\gamma = 7^\circ$, $\lambda = 0^\circ$; режим – $n_c = 300\text{ min}^{-1}$; $f = 0,5\text{ mm/tr}$; $a_p = 1\text{ mm}$; $d_n = 75\text{ mm}$; $d_k = 150\text{ mm}$; без използване на MOT . Времето за рязане, определено по (21), е $\tau_p = 0,75\text{ min}$. Изчислените по (22) и (23) износване за един обработван детайл и трайност са $VB_p = 1,101\text{ }\mu\text{m}$, $T = 54\text{ min}$, а износването на инструмента за периода на трайността T , определено от [2] е $SV_\alpha = 0,084\text{ mm}$.

Получените от експеримента стойности на математическите очаквания за T и SV_α са $M[T] = 49\text{ min}$ и $M[SV_\alpha] = 0,093\text{ mm}$, като грешките на изчислените стойности не превишават 10,2% за T и 9,7% за SV_α – показател за достатъчно висока точност на получените аналитични модели.

4. Заключение

1. Получените зависимости са виртуални за оптимизация с помощта на методите на математическото моделиране на режимите на рязане при обработване на детайли със сложна форма върху стругови машини с ЦПУ.

2. Оптимизационните модели дават възможност за получаване на максимална производителност, минимални разходи за обработка и оптимален вариант на снемане на прибавката.

3. Математическите модели за T и VB_p , позволяват определяне ресурсите на режещите инструменти при обработването на детайли с променливи режими на рязане.

4. Създават се възможности за оптимизирано управление на инструментите в инструменталните системи в условията на частична автоматизация.

5. Зависимости (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25) и (26) могат да се използват за определяне на τ_p , T и VB_p при обработване на произволна аналитично описана ротационнопрофилна повърхнина.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов. М. Высшая школа, 1985.
2. Кузманов Т. Метев Хр. Обработване на детайли със сложна форма върху стругови машини с ЦПУ при променливи режими на рязане, сп. "Машиностроене" С., 2006 (приета за отпечатване).

3. **Кузманов Т., Метев Хр.** Износване и трайност на инструментите при обработване на детайли със сложна форма върху стругови машини с ЦПУ, ч.І: с променлива дълбочина на рязане, Г., Известия на ТУ-Габрово, т. 33, с. 36-39, 2006.
4. **Макаров А. Д.** Оптимизация процессов резания. М., Машиностроение, 1976.
5. **Метев Хр., Кузманов Т.** Износване и трайност на инструментите при обработване на детайли със сложна форма върху стругови машини с ЦПУ, ч.ІІ: с поддържане на постоянен технологически параметър. Г., Известия на ТУ-Габрово, т. 33, с. 40-44, 2006.
6. **Метев Хр., Кузманов Т.** Износване и трайност на инструментите при обработване на детайли със сложна форма върху стругови машини с ЦПУ с променлива скорост на рязане. Г., Известия на ТУ-Габрово, т. 34, 2006 (приета за отпечатване).
7. **Соломенцев Ю.М., Басин А.М., Кутин А.А.** Определение стойкости режущего инструмента при нестационарном резании. Станки и инструмент, №5, с.16-18 1981.
8. **Справочник на технолога по механична обработка, т.2.** (под общ. ред. на **С. Пашов и П. Петков**). С., Техника, 1990.
9. **Тверской М. М.** Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках. М. Машиностроение, 1982.

Department of Electrical Engineering
Technical University–Sofia, Plovdiv Branch
25, Tsanko Dystabanov Str.
4000 Plovdiv
BULGARIA
E-mail: