

**ОБРАБОТВАНЕ НА СЛОЖНИ ДЕТАЙЛИ С ПРОМЕНЛИВИ РЕЖИМИ
НА РЯЗАНЕ В УСЛОВИЯТА НА ЧАСТИЧНА АВТОМАТИЗАЦИЯ****Калин Крумов**

*Технически Университет – Габрово, катедра „Машиностроителна техника и технологии“
kalin_krasimirov_krumov@abv.bg*

**PROCESSING OF COMPLEX DETAILS WITH VARIABLE CUTTING
MODES IN THE CONDITION OF PARTIAL AUTOMATION****Kalin Krumov**

*Technical University of Gabrovo, department of Mechanical Engineering and Technology,
Bulgaria
kalin_krasimirov_krumov@abv.bg*

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.

Keywords: mechanical treatment; longitudinal-profile surfaces; dynamical cutting; wear; life-time.

ВЪВЕДЕНИЕ

В техниката, наред с цилиндричните и равнинни повърхнини, широко приложение намират и различни криволинейни повърхнини, обединени под общото наименование профилни [1,3,4,5,6], 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 образувача 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 скъпоструващо автоматизирано оборудване.

Целта на изследването е анализ на методите за обработване на сложни ротационни детайли, определяне трайността T и износването VB на инструмента, с оглед създаване на предпоставки за оптимизацията им при нестационарно рязане в условията на частична автоматизация на производството.

ИЗЛОЖЕНИЕ

• ОБРАБОТВАНЕ НА ДЕТАЙЛИ СЪС СЛОЖНА РОТАЦИОННА ФОРМА НА СТРУГОВИ МАШИНИ

Основните методи за обработване на детайли със сложна ротационна форма на стругови машини са [1,2,3,4,5,6]:

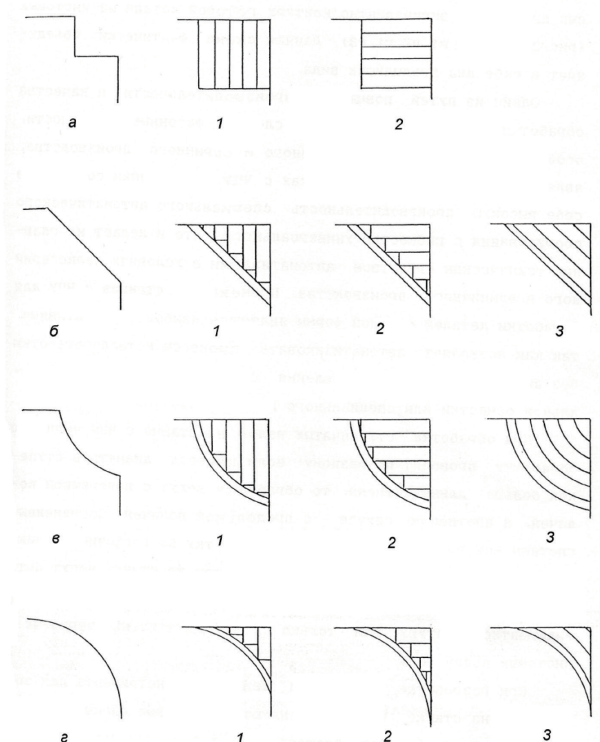
- 1) струговане със стандартни ножове без копир (с комбинирано надлъжно и напречно подаване);
- 2) обработване с профилни ножове;
- 3) обработване със стандартизирани ножове с помощта на приспособление за кръгово подаване;
- 4) обработване със специални кръгли профилни ножове;
- 5) струговане със стандартизирани ножове с помощта на копирно приспособление;
- 6) струговане със стандартизирани ножове на стругови машини с ЦПУ.

Всеки метод има своя област на приложение, предимства и недостатъци. Всичките детайли могат да бъдат обработени по два различни начина. Първият се основава на движение на режещия ръб на инструмента по криволинейна траектория (*метод на следата*), втория – чрез праволинейен работен ход на инструмента, режещият ръб на който има криволинейен контур идентичен с контура на обработваната повърхнина (*метод на копирането*).

При първия начин се изразходва многократно значително време и средства, за да се възпроизведе на машината сложната форма на детайла много пъти. При втория начин се изразходва еднократно значително време и средства, необходими след това на машината за възпроизвеждане многократно сложния път на инструмента.

Схемите на движение (преместване) на инструмента при снемане на основната прибавка са:

- успоредно на оси OY или OX (фиг. 1б, а1, а2);
- еквилистантно на контура на обработения детайл (фиг. 1б, б3, в3, г3);
- успоредно на OY или OX при грубите проходи и еквилистантно на контура на обработвания детайл за чистовите проходи (фиг. 1б, б1, б2, в1, в2, г2) (схемата обединява предните две схеми).



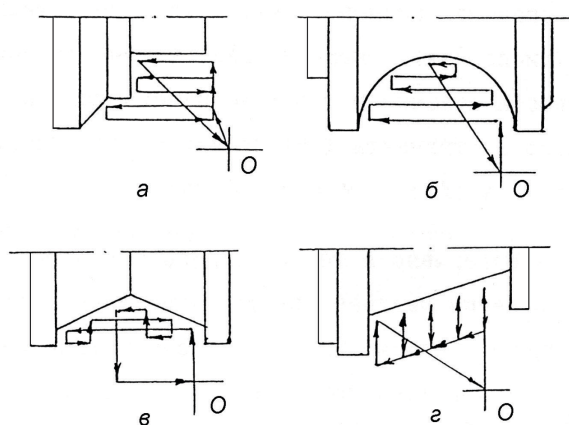
Фиг. 1. Схеми на преместване на инструмента при обработване на елементарни повърхнини (а - цилиндрични и челни; б - конусни; в - вдлъбнати сферични; г - изпъкнали сферични; 1 – перпендикулярно на оста на детайла; 2 - успоредно на оста на детайла; 3 - еквилистантно на профила)

Един от пътищата за повишаване производителността и качеството при обработване на детайли, имащи сложни профилни повърхнини, в условията на частична автоматизация на производството, се явява използването на машини с ЦПУ. Тези машини съчетават в себе си високата производителност на автоматизираното оборудване с гъвкавостта на универсалното, което ги прави основни технически средства за автоматизация в условията на единичното и

дребносерийно производства. Използването на машини с ЦПУ за обработване на детайли със сложна форма се явява най-ефективно, тъй като позволява автоматизиране на металообработващия процес без да е необходимо изработването на сложна и трудоемка специална екипировка или специални инструменти.

При обработване на стъпални валове на стругове с ЦПУ грубото обработване може да се извърши по различни начини: ако разликата в диаметрите на шийките е по-голяма от дължината им, обработването се извършва с напречно подаване, в противен случай – с надлъжно подаване. Съвременните системи за ЦПУ позволяват тези видове обработване да се извършват при постоянен цикъл. Възможни са и варианти с надлъжно подаване при грубите проходи и еквидистантно на контура подаване при чистовите или еквидистантно при грубите и чистовите проходи.

При разработване траекториите на движение на инструментите на машини с ЦПУ се препоръчват типови схеми на движение на инструмента [3,4,7]. Схемата “бримка” (фиг. 2а) се използва за обработване на заготовки с ножове, които работят в едно направление. Схемата “зиг-заг” (фиг. 2б) се прилага главно при работа в двете направления за обработване на дълбоки падини с чашковидни ножове. Схемата “витка” (фиг. 2в) се отличава малко от схемата “зиг-заг”, но има предимства при обработването на дълбоки падини, съставени от конусни повърхнини с чашковидни ножове. Схемата “спускане” (фиг. 2г) е предназначена за работа на канални ножове.

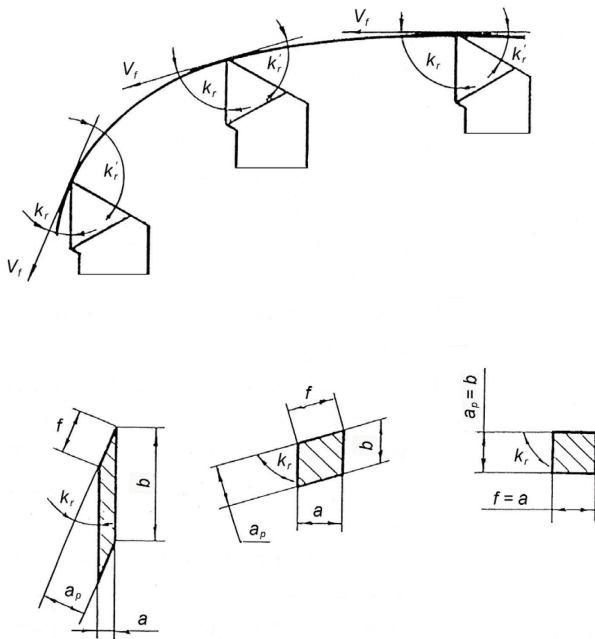


Фиг. 2. Типови схеми на движение на инструментите при обработване върху стругови машини с ЦПУ (а - “бримка”; б - “зиг-заг”; в - “витка”; г - “спускане”)

Обработването на детайли със сложна форма е нестационарен процес. Под стационарно се разбира такова рязане, при което средните значения (математическото очакване) и полето на разсейване (дисперсията) на външните въздействия (дълбочина на рязане, подаване, скорост на рязане и др.) не се изменят за периода на трайност на режещия инструмент. *Пример за нестационарно рязане е обстързването на стъпален вал, когато обработването на отделните стъпала се извършва с различни, но постоянни по стойност за съответното стъпало режими на рязане.*

С използването на машините с ЦПУ и системите за адаптивно управление става възможно такова изменение на режимите на обработване, когато един или няколко параметъра на режима на рязане се променят непрекъснато в течение на един работен ход на инструмента (частен случай на нестационарно рязане). Променливото рязане намира голямо приложение при струговане на детайли със сложна форма с променлива скорост на рязане, когато инструментът се премества по контура на детайла, а честотата на въртене на вретеното на машината остава постоянна. Благодарение на променливия режим на рязане може да се постигне повишаване на производителността и намаляване себестойността на обработването при осигуряване желано качество на обработваните повърхнини. *Например в много случаи е целесъобразно обработването на детайли със сложна форма да се извършва с променлива дълбочина на рязане, за да се снее цялата прибавка за минимален брой проходи.* Променливият режим на рязане се прилага за по-добро използване възможностите на машините с помощта на такива системи, които позволяват осигуряване постоянна площ на сечението на срязвания слой метал, за сметка на управление на подаването и дълбочината на рязане. Управлението на режима на обработване се прилага за осигуряване постоянството на технологическите параметри (сила и мощност на рязане, точност на обработването, деформации в системата МПД, грапавост на обработваната повърхнина и др.) с цел повишаване на производителността и намаляване себестойността на операциите.

При обработване на криволинейни участъци на детайли върху машини с ЦПУ, направлението на подаването f ($v_f = f \cdot n_c$) непрекъснато се изменя, главният установъчен ъгъл k_r намалява, а спомагателният k_r' нараства. При намаляване на ъгъла, широчината на срязвания слой метал b нараства, а дебелината a намалява, като номиналната площ на срязвания слой метал остава постоянна (фиг. 3): $K = a_p f = ab$.



Фиг. 3. Установъчни ъгли и сечение на срязвания слой метал при обработване на криволинейни участъци

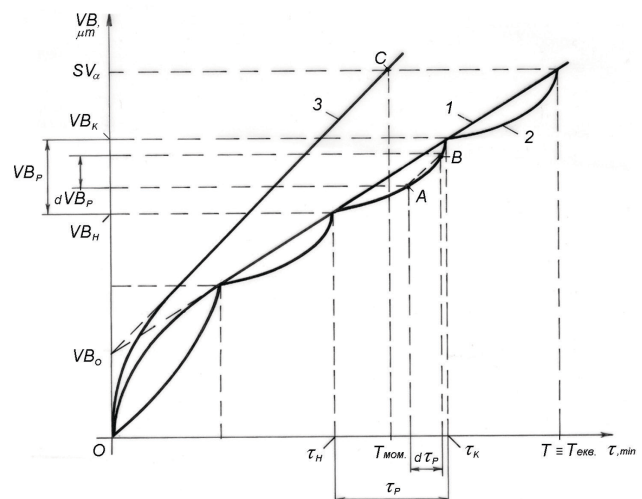
При движението на ножа по криволинейна траектория се наблюдава изменение на силите на рязане, в резултат на влиянието на a и b върху главна съставна на силата на рязане ($F_z = C_{Fz} a^{0.75} b$). Изменението на установъчните ъгли влияе върху грапавостта на обработваната повърхнина и на направлението на движение на стружката, което е перпендикулярно към диагонала на сечението на срязвания слой метал. От ъгъла на движение на стружката зависи действителният преден ъгъл на ножа и съотношението на съставните на силите на рязане F_x и F_y [1].

По този начин обработваните детайли със сложна форма на стругови машини с нестационарно рязане, частен случай на което се явява променливия режим на рязане е перспективно направление, което

изисква решаването на такива въпроси като времето за рязане, износване и трайност на ножовете, сили на рязане и др.

• ИЗНОСВАНЕ И ТРАЙНОСТ НА ИНСТРУМЕНТИТЕ

Кривата на износване на инструмента при обработване на елементарна криволинейна повърхнина с променлив режим на рязане има формата на последователни криволинейни участъци (фиг. 4, крива 2), началото и края на които съответства на началото и края на обработването на елементарната повърхнина. 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. 4, крива 1).



Фиг. 4. 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 еквивалентният режим се нарича *еквивалентна* - $T_{екв}$.

За зоната на нормално износване

$$\frac{VB_K - VB_H}{SV_\alpha - VB_0} = \frac{\tau_K - \tau_H}{T}, \quad (1)$$

където VB_H 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. 4, крива 3) и равни на разглежданите моментни стойности, съответстващи на момента от време $d\tau \equiv d\tau_p$.

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. $AB // VB_0 C$.

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

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

В (7), зависимостта на $T_{мом}$ 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

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

Замествайки в (7) и (10) с изразите за τ_n , τ_k , $T_{мом}$ 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 са-

мо 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 $T_{мом}$ и V_{VB} определя точността на изчисленията и ако изборът е правилен, то точността с която са определени T и V_{VB} 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

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

За скоростта на износване може да се използва зависимост

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

където $VB_{отн.}$ е относително износване

$$VB_{отн.} = C_h a_p^q f^u v_c^{m'} k_{\chi_r} k_m k_u, \quad (14)$$

където C_h , q , u , m' , k_{χ_r} , k_m , k_u са коефициент и степенни показатели зависещи от условията на обработване.

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 V_{VB} след заместване на (16) в (10) добива вида

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Класът детайли със сложна ротационна форма, съдържа в себе си групата на цилиндричните детайли (гладки и стъпални) и поради това всички положения, отнасящи се към методите за обработването на цилиндричните детайли, могат да бъдат отнесени към технологиите за обработване на ротационни профилни повърхнини.

- Съществуват различни технологически варианти (схеми) за снемането на прибавката за грубо обработване при струговане на детайли със сложна форма, което прави ефективно обработването им в условията на частична автоматизация.

- В повечето случаи обработването на детайли със сложна ротационна форма е многопроходно, с работни ходове, изпълнявани успоредно или перпендикулярно на оста на детайла, а също и еквилидистантно на контура му.

- Режимите на рязане при струговане на детайли със сложна ротационна форма са нестационарни и при използването на стругове с ЦПУ и системи за адаптивно управление, за един работен ход те са променливи (частен случай на нестационарно рязане).

- Изведени са зависимости в общ вид за определяне на трайността T (7) и износването V_{VB} (10) при стругова обработка на елементарни повърхнини (челни, конусни, сферични и др.) с променливи режими на рязане.

- При използване на зависимости (11) и (15) се получават зависимости (12) и (17) в областта на практически използваните режими на рязане.

REFERENCE

[1] Vachev A.A. Sintez i analiz na kinematichni shemi na ryazane pri vuryashti se instrumenti i zagotovka. P. TU-Plovdiv, 1998.

- [2] Drujinskii I.A. Slojnie poverhnosti: matematicheskoe opisanie i tehnologicheskoe obezpechenie. Spravochnik. L. Mashinostroenie, 1985.
- [3] Metev H., T. Kuzmanov, K. Krumov. Tehnologia na mashinostroeneto (chast II. Tehnologicheski metodi za obrabotvane). "EKS-PRES", G. 2016, 164 s.
- [4] Kuzmanov T., H. Metev. Tehnologicheski procesi za metalorejeshti mashini s CPU. "EKS-PRES", G., 2006, 215 s.
- [5] Maximov J.T. Forming of cross-profile holes by adding rotations round coplanar axes. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 42 (3) (2002) 313-320.
- [6] Maximov J.T. A new method of manufacture of hypocycloidal polygon shaft joints. Journal of Materials Processing Technology, 166 (1) (2005) 144-149.
- [7] Spravochnik na tehnologa po mehanichna obrabotka, t.2 (pod obsht. red. na S. Pashov i P. Petkov). S., Tehnika, 1990, 664 s.
- [8] Spravochnik tehnologa-mashinostroitelya. Tom 1 (Pod red. A.G. Kosilovoy i R.E. Meshteryakowa. 4 izdanie preraboteno i dopulneno. M., Mashinostroenie, 1985, 656 s.