



Поповић, М., Младеновић, Г.¹⁾

АНАЛИЗА ГЕОМЕТРИЈЕ РЕЗНИХ ЕЛЕМЕНАТА УРЕЗНИКА СА ПРАВИМ ЖЛЕБОВИМА²

Резиме

За потребе предикције сила и момента у процесима обраде урезивања навоја потребно је извршити идентификацију положаја и дужине главних и помоћних сечива урезника који представља један од најсложенијих резних алата који се користи у пракси. Урезник је вишесечан алат код кога у процесу настанка струготине учествују главна сечива која се налазе на конусној површини резног дела и која су прекинута жлебовима који формирају профил навоја и помоћна сечива која се налазе на профилу навоја. У раду је приказан поступак аналитичког одређивања геометрије сечива на резном делу урезника са правим жлебовима и њихова анализа у програмском пакету *Matlab*.

Кључне речи: урезник са правим жлебовима, геометрија алата

1. УВОД

У раду је приказан поступак аналитичког одређивања геометрије сечива машинског урезника за потребе успостављања модела за предикцију сила и момента урезивања навоја у свим фазама захвата алат-обрадак и дефинисања потребних алгоритама за развој софтверских модула, који се базира на геометрији и акцији сечива у процесу урезивања навоја [1, 2]. Све операције резања деле исте принципе механике резања, али њихова геометрија и кинематика се разликују. Успостављање аналитичких модела за рачунарску симулацију сила и момента урезивања навоја који се базира на геометрији и акцији сечива у процесу урезивања навоја, а на бази резултата ортогоналног резања истом комбинацијом материјала алата и обратка разматрано је у радовима [1, 2, 4 и 5]. У раду [3] је приказан поступак моделирања фамилије урезника са правим жлебовима у *CAD* пакету. Детаљна анализа геометрије резних елемената урезника омогућава даља истраживања и испитивања оптималне геометрије алата у процесу резања.

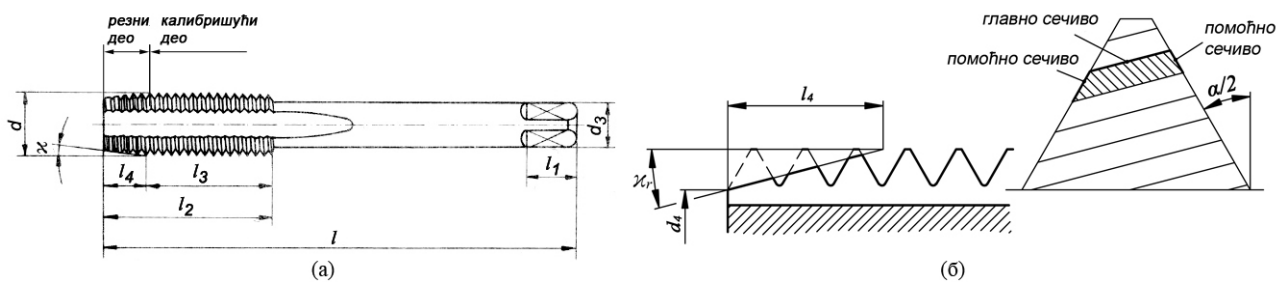
Урезници и операције урезивања се сматрају за најсложеније и најмање схваћене резне алате и процесе обраде који се користе у пракси. Израда унутрашњег навоја је један од најзахтевнијих машинских процеса и представља завршну обраду са сложенем и неприступачном површином у отвору малог пречника, а коју остварује алат са великим бројем зуба и сечива. Најчешћи проблеми са којима се сусрећемо у процесу урезивања навоја, а имајући у виду да се ради о вишесечном алату и инхерентно променљивим силама током процеса, су лом алата и лош квалитет израђеног навоја. По правилу урезивање навоја представља једну од последњих операција у току израде дела, па су и цена уложеног материјала и рада на врхунцу у тренутку примене операције урезивања. Последице лома алата током урезивања навоја често доводе до формирања непоправљивих неусаглашености на изратку и могу имати драстичне економске ефекте. Истраживања процеса урезивања су изузетно корисна како би се избегао лом алата и лош квалитет навоја који могу имати екстремно скупе последице, а посебно у односу на вредност која се производу додаје операцијом урезивања. Боље разумевање процеса урезивања и система сила у урезивању је корисно и за произвођаче алата, као и за дефинисање режима обраде са циљем повећања продуктивности.

¹⁾ Др Михајло Поповић, mpopovic@mas.bg.ac.rs, др Горан Младеновић, gmladenovic@mas.bg.ac.rs, Универзитет у Београду - Машински факултет, Катедра за Производно машинство, Краљице Марије бр.16. 11120 Београд 35

²⁾ Рад је настао у оквиру истраживања на пројекту TR 35022: Развој нове генерације домаћих обрадних система, који финансијски подржава Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије

2. АНАЛИЗА ГЕОМЕТРИЈЕ УРЕЗНИКА

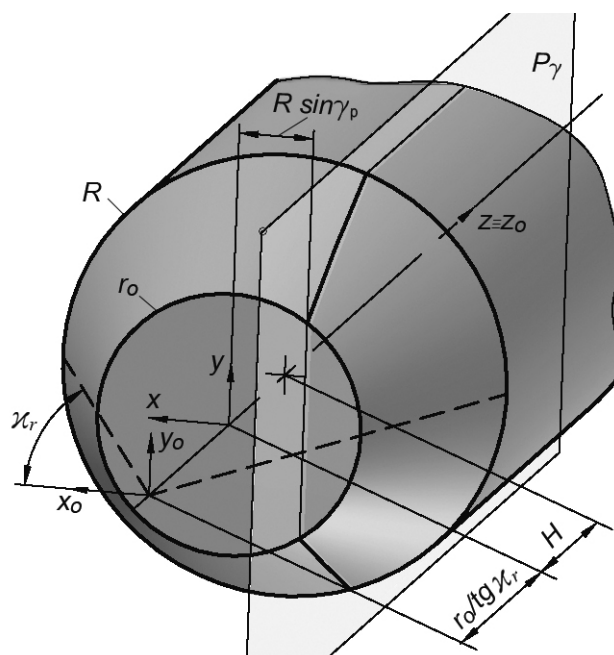
Урезници су вишесечни резни алати који се користе за урезивање, тј. обраду унутрашњег навоја у отворима или рупама. На себи имају навој који је прекинут са неколико правих или спиралних жлебова за одвођење струготине и формирање резног клина алата којима су дефинисана сечива. Почетни део урезника је конично сужен, што значи да су сечива на почетном делу са непотпуним профилем, чиме је обезбеђена равномернија расподела укупног попречног пресека струготине на поједина сечива урезника. Приликом обраде, урезник изводи два кретања, и то обртно и транслаторно у правцу осе обртања. На слици 1 су приказане основне димензије урезника са правим жлебовима [6]. Улазни, конусни део урезника врши резање навоја, а калибришући на цилиндричном делу резника почишћавање. Сваки зуб улазног дела (слика 1б) скида одређени слој материјала који зависи од броја жлебова, корака навоја и синуса угла улазног, конусног дела урезника. Главна и помоћна сечива имају различиту геометрију.



Слика 1. Машињски урезник са правим жлебовима, основне димензије урезника (а) и резни део урезника са пресецима струготине (б)

Сечива урезника формира више површина, које као и код осталих алата представљају грудну и леђну површину. Основни облик резног дела је конус, који у калибришућем делу прелази у цилиндар. Грудна површина може бити равна или криволинијска и формира се уздужним жлебовима који могу бити прави или завојни. Леђна површина се формира подбрусивањем на конусном и цилиндричном омотачу. Границе леђне површине, као и помоћне леђне површине формирају се завојном површином профила навоја (стандардни или специјални) чији је нагиб у функцији корака урезника.

Дефинисањем ових површина у њиховим пресецима добија се скуп тачака који чине сечива урезника. На слици 2 приказани су основни геометријски елементи који формирају главно сечиво. Главно сечиво се налази у пресеку зарубљене купе/конуса на улазном делу алата и грудне површине.



Слика 2. Формирање главног сечива урезника у пресеку конусне и равне површине [5]

За случај када је грудна површина равна и паралелна са једном од равни глобалног координатног система математичким апаратом се добијају изрази који описују криву сечива.

Конус, са углом врха $2\kappa_r$ у координатном систему који се налази у врху (x_0, y_0, z_0) , дефинисан је изразом:

$$x_0^2 + y_0^2 = \operatorname{tg}^2 \kappa_r \cdot z_0^2 \quad (1)$$

Ако се координатни систем постави у врх алата, неопходно је извршити translацију координатног почетка за $r_0/\operatorname{tg} \kappa_r$ у к.с. (xyz) , при чему се добија једначина која описује резни део урезника као:

$$x^2 + y^2 = \operatorname{tg}^2 \kappa_r \cdot \left(z + \frac{r_0}{\operatorname{tg} \kappa_r} \right)^2 \quad (2)$$

За грудну раван P_γ која је паралелна равни yz (најједноставнији случај), једначина која је у општем облику $a \cdot x + b \cdot y + c \cdot z + d = 0$, при чему је $b = c = 0$ постаје:

$$x = -R \sin \gamma_p \quad (3)$$

Зависност мањег пречника зарубљеног конуса r_0 , који се налази на самом врху алата, његовог угла κ_r и висине конусног дела H је:

$$H = (R - r_0) / \operatorname{tg} \kappa_r \quad (4)$$

где је R номинални пречник урезника.

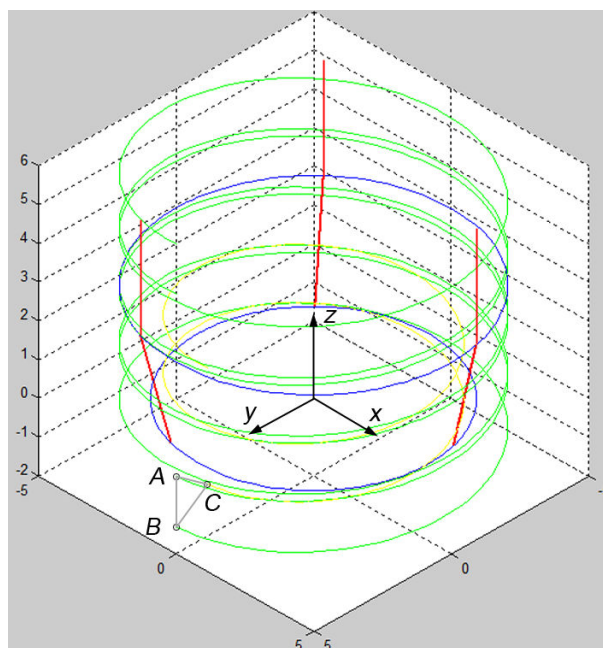
Пресек конуса и равни (изрази 2 и 3) представља једначину хиперболе, која за транслирани координатни почетак гласи:

$$y^2 = \operatorname{tg}^2 \kappa_r \cdot \left(z + \frac{r_0}{\operatorname{tg} \kappa_r} \right)^2 - R^2 \sin^2 \gamma_p \quad (5)$$

На овај начин су дефинисане тачке сечива једног жлеба. С обзиром да се број жлебова урезника z креће од 2, тачке сечива на тим жлебовима лако се могу добити помоћу матрица ротације око осе z за углове $(i-1) \cdot 360^\circ / z$, где i узима вредности од два до броја жлебова z .

3. МОДЕЛИРАЊЕ СЕЧИВА УРЕЗНИКА

На слици 3 црвеном бојом су приказане криве (хиперболе) на којима се налазе главна сечива на резном делу и праве на калибрационом делу урезника са три жлеба ($z = 3$), добијене у програмском пакету *Matlab* користећи изразе 4 и 5 са инкрементом по z осе од 0.01 mm.



Слика 3. Правци главних сечива [5]

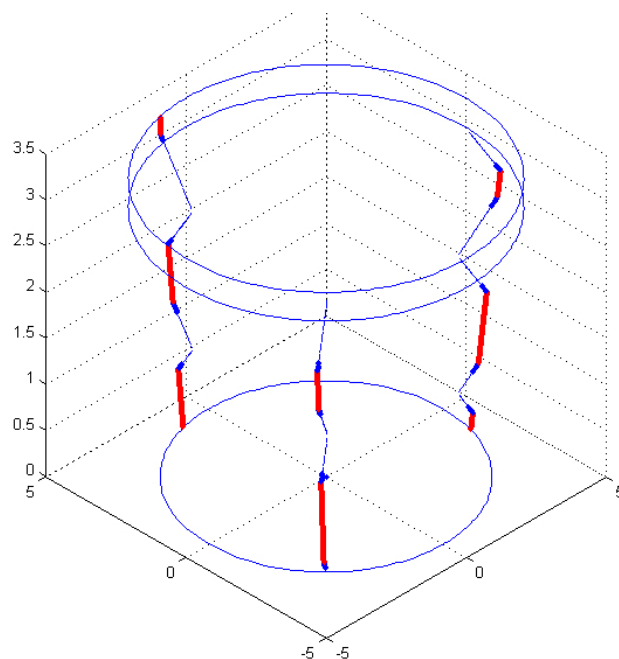
На слици су такође уцртане завојнице које формирају навојну површину и које полазе из тачака које су дефинисане профилем навоја и које представљају границе појединачних главних сечива. Завојнице су дефинисане изразима:

$$\begin{aligned} x &= R \cos t \\ y &= R \sin t \\ z &= \frac{P}{2\pi} t \end{aligned} \quad (6)$$

док су почетне тачке стандардног профила навоја усвојене у равни uz :

$$\begin{aligned} A(0, R, 0) \\ B(0, R, -7/8P) \\ C(0, R - 7/8P \cos \varphi / 2, z_B / 2) \end{aligned}$$

Значи, главно сечиво на једном жлебу није континуално, већ је прекинуто површима профила навоја, које чине бокове зуба, па постоји више главних сечива, што се види на слици 4.



Слика 4. Главна сечива и правци помоћних сечива на резном делу урезника [5]

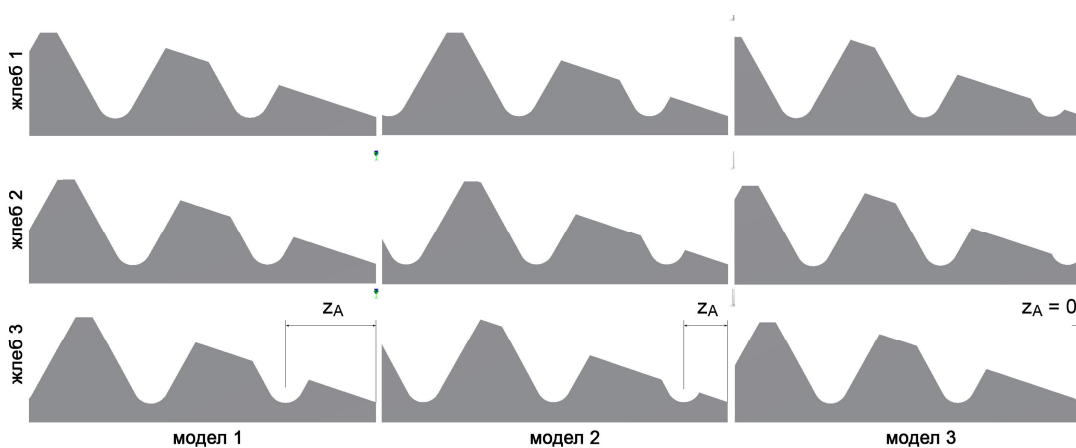
Помоћна сечива се налазе у наставку главних сечива и дефинишу се као пресек грудне и површина које формира профил навоја а које су нагнуте под угловима $\pm\alpha/2$ ($\pm 30^\circ$ за случај стандардног ISO профила) у односу на осу урезника (слика 4).

На грудној површини, у датом случају равни која је паралелна са равни uz , једначина правца помоћних сечива гласи:

$$y = y_D - \frac{|z - z_D|}{\operatorname{tg}(\frac{\alpha}{2})} \quad (7)$$

где су координате y_D и z_D координате крајњих тачака главног сечива. Дужина помоћних сечива је у функцији нападног угла и корака по зубу.

Распоред сечива зависи од почетног положаја профила навоја ABC у односу на чело урезника, тј. координате $z = 0$. У случају који је приказан на слици 4, усвојено је да је $z_A = 0$ (z координата тачке A је на челу урезника). Усвајањем другачије вредности z_A , које има смисла у границама $0 - P/z$, где је P корак а z број жлебова урезника добија се различит распоред сечива, самим тим и њихов положај и дужина. На слици 5 су у попречним пресецима приказани могући распореди сечива на свим жлебовима за три различите вредности z_A .



Слика 5. Резни део урезника са различитим вредностима Z_A

Да би се у производним условима добили урезници који у границама толеранција имају приближно иста сечива врши се механичко означавање једне стране четвртке, тј. призме на крају дршке алата, и она постаје технолошка база за сва каснија базирања у захватима обраде урезника [5].

На овај начин, почевши од математичког описа површина које дефинишу резни део урезника, у *Matlab* програмском окружењу дефинисан је компјутерски модел урезника са правим жлебовима. Овај модел са подацима о положају и дужини појединачних сечива на резном делу урезника је искоришћен приликом симулација процеса урезивања навоја [4, 5].

4. ЗАКЉУЧАК

У раду је извршена анализа геометријских елемената урезника са правим жлебовима. Сечива, која се налазе у пресеку грудне површине која је разматрана као равна и леђне површине која је на улазном делу конус, идентификована су аналитички и анализирана кроз програмски пакет *Matlab*. Изведени изрази омогућавају даља успостављања оптималних подручја геометрије овог алата и дефинисање оптималних режима обраде кроз компјутерске симулације процеса.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Altintas, Y., *Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2012.
- [2] Altintas, Y., Brecher, C., Weck, M., Witt, S., Virtual Machine Tool, *Cirp Annals-manufacturing Technology - CIRP Ann-Manuf Technol*, 54(2), 115-138, 2005.
- [3] Поповић, М., Параметарско моделирање урезника са правим жлебовима, 39. ЈУПИТЕР конференција, 26. симпозијум CAD/CAM, Зборник радова, стр. 2.37-2.40, Београд, 2014.
- [4] Popović, M., Tanović, Lj., Tapping process simulation based on orthogonal cutting tests, II International scientific conference COMETA 2014, Proceedings, pp. 25-32, University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, Jahorina, B&H, Republic of Srpska, 2014.
- [5] Поповић, М., Истраживање утицаја резног сечива у процесу урезивања навоја, докторска дисертација, Универзитет у Београду - Машински факултет, Београд, 2016.
- [6] SRPS EN 25967, Урезници и резачи навоја — Номенклатура главних типова и терминологија, 2011.

Popovic, M., Mladenovic, G.

THE CUTTING EDGE GEOMETRY ANALYSIS OF STRAIGHT FLUTES TAPS

Abstract: For the purpose of prediction the forces and torque in the tapping process it is necessary to identify the location and length of the tap major and minor cutting edges. Tap is one of the most complex cutting tools used in practice. The major edges are located on the tap conical chamfer surface and interrupted by grooves that form a thread profile while minor edges are located on the thread profile. The paper presents the procedure for analytical determination of the tool geometry on the cutting part of the taps with straight flutes and their analysis in the Matlab programming environment.

Key words: straight flutes tap, tool geometry