

Univerzální nástroj pro analýzu kvality NC programů

Jan Górecki, Petr Vavruška, Michal Stejskal

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav výrobních strojů a zařízení, Horská 3, 128 00 Praha 2, Česká republika

Abstrakt

Tento článek se zabývá popisem nástroje určenému k vizualizaci NC programů a analýze důležitých parametrů obráběcího procesu. Softwarový nástroj primárně analyzuje parametry jako například délky lineárních přírůstků, posuvovou rychlost, přírůstky souřadnic v dílčích strojních osách, reverzace rotačních os a další. Zmíněné parametry ovlivňují nejen výslednou jakost povrchu, ale také produktivitu obrábění. Jednotlivé parametry jsou barevně vizualizovány na úrovni bodů dráhy nástroje, kdy dle hodnoty parametru je přiřazena daná barva. Uživatel poté na základě výstupů analyzačního nástroje a také svých zkušeností může například vyhodnotit potenciale rizikové oblasti při obrábění vedoucí ke zhoršení jakosti povrchu obrobku. V návaznosti na určených potenciale rizikových oblastí je možné reagovat například změnou obráběcí strategie s cílem zlepšení jakosti povrchu nebo snížení času obrábění.

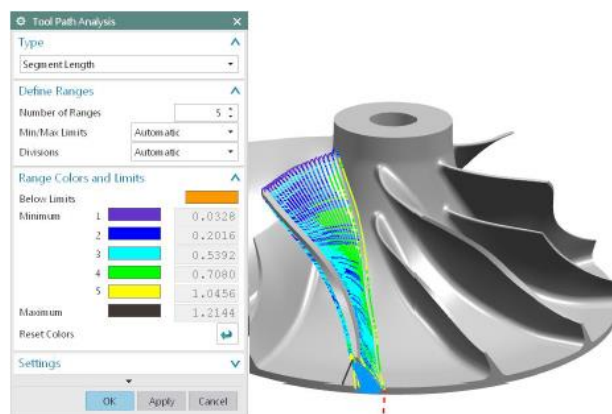
Klíčová slova: NC program; dráha nástroje; vizualizace NC programů; optimalizace drah nástroje, CNC

1. Úvod

Při bodovém obrábění tvarově složitých dílců, jakými jsou například formy a lopatková kola, je kladen důraz na dosahování vysokých přesností a jakosti povrchu. Do obráběcího procesu zasahuje několik faktorů majících vliv na výslednou podobu obrobku. Chyby na obrobku mohou vznikat nevhodným nastavením přesnosti generovaných drah, časovou interpolací dat, nastavením parametrů regulace strojních os či vlivem vibrací při nestabilním obrábění a dalších. Chyby způsobené přesností generovaných drah nástroje mohou vznikat v návaznosti na vytvoření dráhy prostřednictvím CAM (Computer Aided Manufacturing). Obráběcí strategie s drahami nástroje jsou tvořeny vzhledem k možnému použití různých kombinací obráběcích strojů a řídicích systémů v obecné podobě v CAM systémech. Informace o použitém stoju a řídicím systému do procesu vnáší postprocesor. Zvláště u případů víceosého obrábění mohou být do procesu tvorby NC programů zaneseny chyby. Ty mohou vzniknout například nevhodným nastavením úhlu vlečení nástroje, předepsáním příliš úzké tolerance pro generování bodů v CAM systémech, použitím nevhodně postaveného postprocesoru a dalšími. Pokročilou analýzou vzniklých NC programů lze predikovat potenciální chyby na dílcích před jejich obrobáním. Na základě zmíněné analýzy je možné následně optimalizovat proces například změnou strategie v CAM, změnou nastavení postprocesoru či jeho úpravou.

Vyhodnocováním, porovnáváním a optimalizací drah nástroje za účelem zvýšení přesnosti obrábění, zlepšení jakosti povrchu a celkové zvýšení produktivity se zabývají různé společnosti vyvíjející vlastní nástroje a softwary za tímto účelem. Jedním z představitelů je společnost Siemens, která do svého CAD/CAM/CAE softwaru Siemens NX CAM implementovala funkci Tool Path Display and

Analysis [1]. Ta je schopna predikovat problémové oblasti obrábění díky obarvení vytvořené dráhy nástroje podle parametrů získaných z generovaných CL dat viz Obr. 1. Dalším z produktů, pro kontrolu přesnosti a kvality generovaných drah, společnosti Siemens je software Siemens Analyze MyWorkpiece /Toolpath [2]. Tématikou analýzy NC programů a dodržování režných podmínek se zabývají také některé vědecké články [3,4]. Zmíněné nástroje jsou však pouze pro dané systémy a typy strojů, proto bylo potřeba vytvořit otevřený univerzální nástroj napříč typy řídicích systémů a strojů.



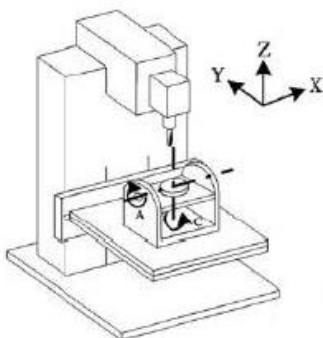
Obr. 1. Výstup funkce Tool Path Display and Analysis v softwaru Siemens NX [1]

Tento článek se bude zabývat popisem univerzálního nástroje sloužícímu k analýze kvality generovaných NC programů pro tvarově složitě dílce ještě před odbavením na CNC stroji. Posuzování kvality generovaných NC programů je realizováno pomocí barevného mapování dráhy nástroje, kdy jsou zobrazovány hodnoty parametrů významně podílejících se na kvalitě generování NC programů.

* Kontakt na autora: Jan.Gorecki@fs.cvut.cz

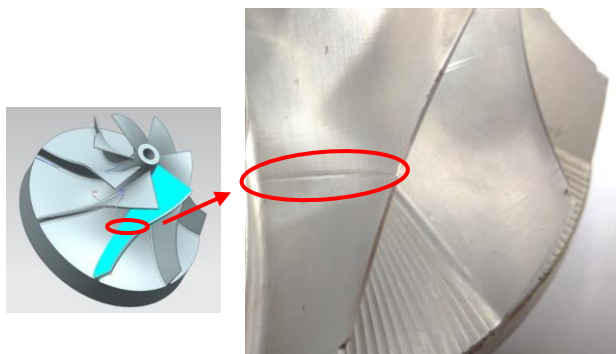
2. Analyzační nástroj

Při pomnutí faktu využití rozběhových a doběhových funkcí pohonů, jsou řídicí systémy zpravidla schopny dodržet velikost předepsané posuvové rychlosti při obráběcích operacích využívajících pouze lineárních os. Řídicí systém rozdělí velikosti posuvových rychlostí jednotlivých lineárních os způsobem vedoucím k dodržení předepsané posuvové rychlosti. V CAM systémech zvolené posuvové rychlosti však nejsou při víceosých obráběcích operacích, prováděných například na pětiosých frézovacích CNC strojích (Obr. 2), vždy dodrženy. Řídicí systémy při určení posuvových rychlostí jednotlivých strojních os obecně nepočítají s parametrem velikosti poloměru rotace referenčního bodu nástroje od pomyslného průsečíku rotačních os. K určení velikostí posuvových rychlostí jednotlivých strojních os tak řídicí systémy využívají podmínky dosažení následující polohy nástroje všemi osami stroje současně. Vlivem nedodržení předepsané posuvové rychlosti může během obrábění docházet k vyššímu opotřebení nástroje a tím snížení jeho životnosti a zvýšení nákladů.



Obr. 2. Pětiosý CNC frézovací stroj, převzato z [5]

Dále při souvislém víceosém obrábění může docházet k takzvaným reverzačním chybám, při kterých se mění smysl pohybu některé z pohybových os stroje dopřezem v daný moment nulovou či minimální posuvovou rychlostí. Při tomto jevu může docházet ke změně silového zatížení nástroje, tedy k ohybu nástroje či obrobku, a tím ke znehodnocení povrchu obráběné součásti podříznutím právě v těchto oblastech viz Obr. 3.



Obr. 3. Reverzační chyba na povrchu součásti.

Predikcí průběhu změn posuvových rychlostí konkrétních NC programů před jejich odbavením na stroji lze předcházet chybám na plochách obrobku, a tím zvyšovat efektivitu práce. Za tímto účelem vznikl univerzální analyzační nástroj pro predikci posuvových rychlostí.

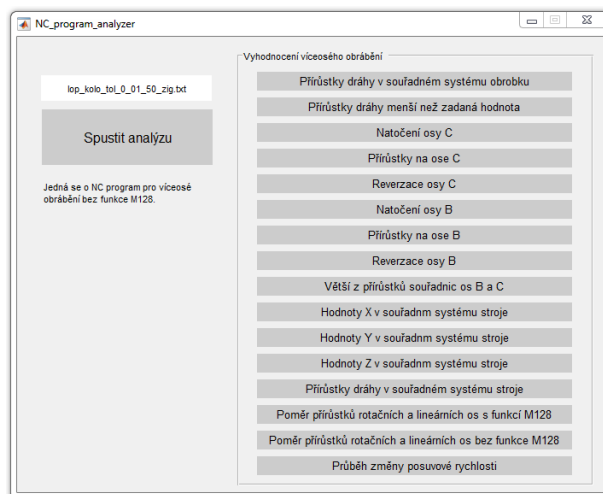
2.1. Tvorba univerzálního analyzačního nástroje

Pro účely výpočtů predikovaných posuvových rychlostí z NC programů a pro zobrazení výsledků v podobě barevné vizualizace drah nástroje v závislosti na vypočtených hodnotách bylo zvoleno vytvoření samostatného analyzačního nástroje pracujícího s konkrétními NC programy před jejich odbavením na stroji.

Vývojovým prostředím pro analyzační nástroj byl vybrán program Matlab od společnosti MathWorks. Ze tří uvažovaných variant byla zvolena varianta založená na používání aplikačního prostředí zajišťující intuitivnost při používání a možnost uživatele neodborně zasáhnout do výpočetních algoritmů analyzačního nástroje čímž znemožnit jeho nesprávný chod.

Na Obr. 4 je zobrazeno uživatelské prostředí analyzačního nástroje s možností grafického zobrazení parametrů získaných z NC programů.

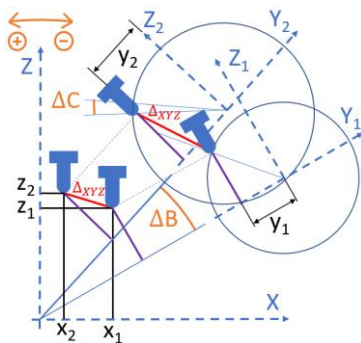
Krom zobrazení průběhu změny posuvové rychlosti při obrábění má uživatel možnost zobrazení i dalších parametrů hodnotících kvalitu generovaných NC programů. Například přírůstky dráhy nástroje, natočení a reverzace rotačních os a dalších.



Obr. 4. Uživatelské prostředí analyzačního nástroje

2.2. Výpočet rychlosti posuvu

K predikci posuvových rychlostí je zapotřebí stanovit, které ze strojních os trvá pohyb pro dosažení následující polohy nástroje nejdelší čas. K tomu je zapotřebí vypočítat čas pohybu konaný lineárními osami a časy pohybů konané rotačními osami. Na základním schématu zobrazeném na Obr. 5, si lze povšimnout způsobu získání potřebných proměnných pro výpočet predikované posuvové rychlosti.



Obr. 5. Základní schéma pro výpočet predikované posuvové rychlosti

Pro výpočet času pohybu lineárních os viz vzorec (1) je zapotřebí určit velikost přírůstku dráhy mezi dvěma po sobě jdoucími body dráhy nástroje v NC programu v souřadném systému stroje viz vzorec (2) a velikost posuvové rychlosti, kterou má být daný pohyb vykonán.

Čas posuvu lineárních os stroje:

$$t_{Lin} = \frac{\Delta_{XYZ}}{f} \text{ [min]} \quad (1)$$

Velikost lineárních přírůstků:

$$\Delta_{XYZ} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \text{ [mm]} \quad (2)$$

Pro výpočet času pohybu rotačních os viz vzorec (5) je zapotřebí určit úhlový přírůstek mezi dvěma následujícími body dráhy nástroje v NC programu viz vzorec (3) a úhlovou rychlost viz vzorec (4) pro rotační osy, kterou má být daný pohyb vykonán.

Velikosti rotačních přírůstků Δ_B , Δ_C :

$$\begin{aligned} \Delta_B &= B_2 - B_1 \text{ [}^\circ\text{]} \\ \Delta_C &= C_2 - C_1 \text{ [}^\circ\text{]} \end{aligned} \quad (3)$$

Posuvovou rychlost pro rotační osy je vzhledem k popisu jejich polohy ve stupních, potřeba přepočítat na úhlovou rychlost dle vztahu:

$$\omega = f \cdot k \text{ [}^\circ \cdot \text{min}^{-1}\text{]} \quad (4)$$

V přepočtu posuvové rychlosti pro lineární osy na úhlovou rychlost pro osy rotační figuruje koeficient sloužící k přepočtu posuvové rychlosti na úhlovou rychlost. Hodnota tohoto koeficientu je závislá na nastavení regulačních parametrů strojních os a počtu os, zapojených do pohybu. Hodnotu koeficientu se lze zjistit měřením času potřebného pro interpolaci strojních os. Pro konkrétní účely byla hodnota koeficientu převzata z literatury [6].

Čas posuvu rotačních os B, C:

$$t_{B,C} = \frac{\Delta_{B,C}}{\omega} \text{ [min]} \quad (5)$$

Porovnáním vypočtených časů viz vzorec (6) je nalezena osa s nejdelším časem pohybu. Pro splnění podmínky dosažení koncového bodu polohy nástroje všech os ve stejný čas musí být ostatní osy stroje zpomaleny dle nejpomalejší osy.

Vztah pro zjištění nejvyššího z časů:

$$t_{Max} = \max(t_{Lin}, t_C, t_B) \text{ [min]} \quad (6)$$

Podílem vykonané dráhy nástroje v prostoru mezi dvěma následujícími body programu s nejdelším časem pohybu strojních os viz vzorec (7), je dosaženo předpokládané reálné hodnoty posuvové rychlosti vykonané na stroji.

Predikovaná posuvová rychlost:

$$f_p = \frac{\Delta_{XYZ}}{t_{Max}} \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}\text{]} \quad (7)$$

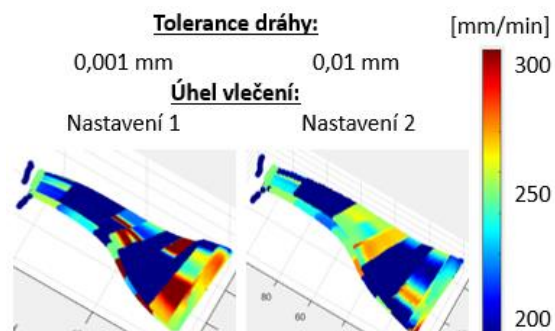
3. Testování nástroje pro analýzu NC programů

Analyzační nástroj byl využit při přípravě výroby tvarově složitého výrobku typu kompresorového kola na stroji MCVL1000. Jednalo se o bodové obrábění ploch lopatek kulovou dokončovací frézou.

Vstupy byly NC programy pro dokončovací operace s různými tolerancemi dráhy nástroje a různým nastavením polohy osy nástroje vůči ploše obrobku. Na základě analýzy byly identifikovány oblasti možného vzniku chyb na povrchu podepisujících se na výsledné kvalitě obrobků lopatek. Na základě provedené analýzy bylo přistoupeno k optimalizaci obráběcích strategií za účelem zkvalitnění dráhy nástroje.

3.1. Vizualizace rychlosti posuvů

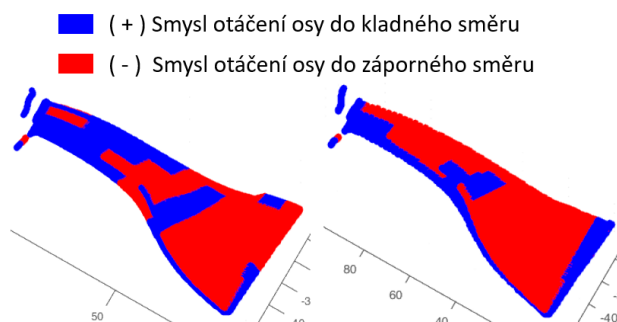
Vykreslená dráha nástroje na Obr. 6 je obarvena dle příslušné hodnoty posuvové rychlosti na daném úseku dráhy. Jako rozsah pro dané zobrazení byl zvolen interval pro obarvení hodnot spadajících mezi hodnoty 200 až 300 mm/min. Veškeré hodnoty spadající do toho intervalu jsou tak vykresleny jinými barvami než tmavě modrou nebo tmavě červenou barvou. Hodnoty menší či rovny zadanému minimu 200 mm/min jsou vyobrazeny tmavě modrou barvou, hodnoty větší či rovny zadanému maximu 300 mm/min jsou vyobrazeny tmavě červenou barvou. Hodnoty rovné či blízké předepsané posuvové rychlosti jsou zobrazeny zelenou barvou. Při zadané posuvové rychlosti 250 mm/min, si tak lze povšimnout značného nedodržení zadané posuvové rychlosti. Co se dodržení posuvových rychlostí týče, lze porovnáním drah v levé a pravé části konstatovat, že nastavení sklonu nástroje vůči ploše obrobku pro dráhu vpravo je výhodnější nežli pro dráhu vlevo.



Obr. 6. Vizualizace změny posuvové rychlosti

3.2. Vizualizace reverzací rotačních os

Jak bylo zmíněno, reverzace pohybových os, tedy místo kde dochází k výraznému snížení, až dosažení nulové posuvové rychlosti může indikovat odlehčení nástroje, které se může přímo podílet na znehodnocení povrchu obráběného dílce podříznutím. Jednou z dalších funkcí analyzačního nástroje je tak zobrazení těchto reverzací pomocí obarvení dráhy nástroje dvěma škálami barev. V místech, kde přechází červená barva v modrou, či obráceně modrá barva v červenou dochází ke změně smyslu pohybu analyzované pohybové osy. Na Obr. 7 jsou konkrétně zobrazeny reverzace, rotační osy C.



Obr. 7. Vizualizace reverzace rotační osy C

4. Závěr

Byl vytvořen analyzační nástroj umožňující zobrazení průběhu změn posuvových rychlostí a dalších zásadních parametrů hodnotících kvalitu víceosých NC programů před jejich odbavením na stroji. Zmíněnými parametry jsou například poloha a reverzace rotačních os, hustota generovaných bodů dráhy nástroje, poměry mezi délkami lineární a rotačních přírůstků mezi dvěma následujícími body dráhy nástroje a dalších.

Analyzační nástroj byl použit při přípravě výroby kompresorového kola. Na základě barevné vizualizace zmiňovaných parametrů NC programu bylo přistoupeno k optimalizaci zvolené obráběcí strategie za účelem zkvalitnění dráhy nástroje, tedy průběhu obrábění lopatek kompresorového kola a zvýšení produktivity obrábění.

Na případové studii byly prokázány hlavní benefity používáním tohoto analyzačního nástroje v přípravě výroby tvarově složitých dílců na víceosých CNC strojích.

Seznam veličin a symbolů

f	posuvová rychlost ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$)
t_{Lin}	čas posuvu lineárních os stroje (min)
Δ_{XYZ}	velikost lineárních přírůstků (mm)
k	koeficient k přepočtu posuvové rychlosti na úhlovou rychlost ($^{\circ}\cdot\text{min}^{-1}$)
ω	úhlová rychlost ($^{\circ}\cdot\text{min}^{-1}$)
Δ_B	velikost rotačního přírůstku v ose B ($^{\circ}$)
Δ_C	velikost rotačního přírůstku v ose C ($^{\circ}$)
$t_{B,C}$	čas posuvu rotačních os (min)
t_{Max}	nejdelší z časů t_{Lin} , t_B , t_C (min)
f_p	predikovaná posuvová rychlost ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$)

Literatura

- [1] NX CAM 10.0.3: Tool Path Display and Analysis. Graphically analyzing tool paths by color display [online]. [cit. 2017-17-11]. Dostupné z: <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/NX-Manufacturing/ct-p/part-manufacturing>
- [2] TOOL-PATH & FEED-RATE OPTIMIZATION. ICAM [online]. [cit. 2013-28-03]. Dostupné z: <http://icam.com/tool-path-optimization-software/>
- [3] SARASUA, J. A. a I. CASCON. Integration of machining mechanistic models into CAM software [online]. 2014, 5-17 [cit. 2019-28-03]. Dostupné z: <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-d933e081-489d-4efb-a398-40c459251353>
- [4] Stejskal, M.; Vavruška, P.; Zeman, P.; Rybín, J. Analysis of cutting parameters in point machining of parts with complex shape. [online]. [cit. 2019-28-03]. Dostupné z: https://stc.fs.cvut.cz/history/2018/sbornik/papers/pdf/8540.pdf?_=1523035316
- [5] JUNG, Y.H., D.W. LEE, J.S. KIM a H.S. MOK. NC post-processor for 5-axis milling machine of table-rotating/tilting type. Journal of Materials Processing Technology [online]. 2002, 130-131, 641-646 [cit. 2017-04-19]. DOI: 10.1016/S0924-0136(02)00725-2. ISSN 09240136. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924013602007252>
- [6] Vavruška, P. Tvorba NC postprocesorů. Diplomová práce, ČVUT Fakulta strojní, 2008.