Analogie flexibilní hydroabrazivní technologie s klasickými technologiemi třískového obrábění

J. Valíček, M. Harničárová, J. Petrů, H. Tozan, M. Kušnerová, L. Čepová, M. Sadílek

Obsah prezentace

1 Úvod – zmapovaní problematiky

2 Porovnání technologií, charakter povrchů

3 Analytické řešení řezné stopy

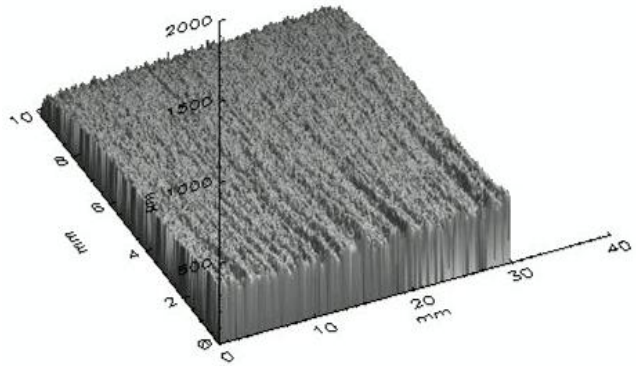
4 Koncepce řešení topografické funkce

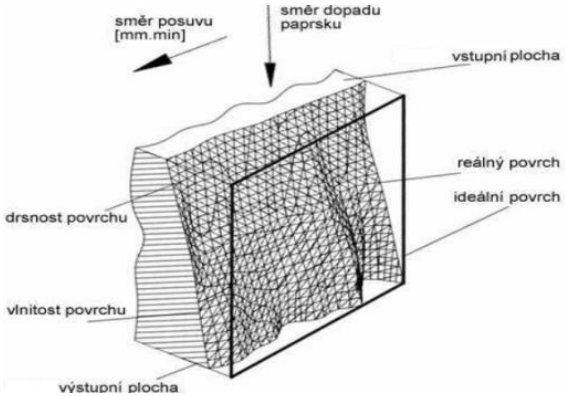
5 Dosažené výsledky

6 Závěr

Úvod – zmapovaní problematiky

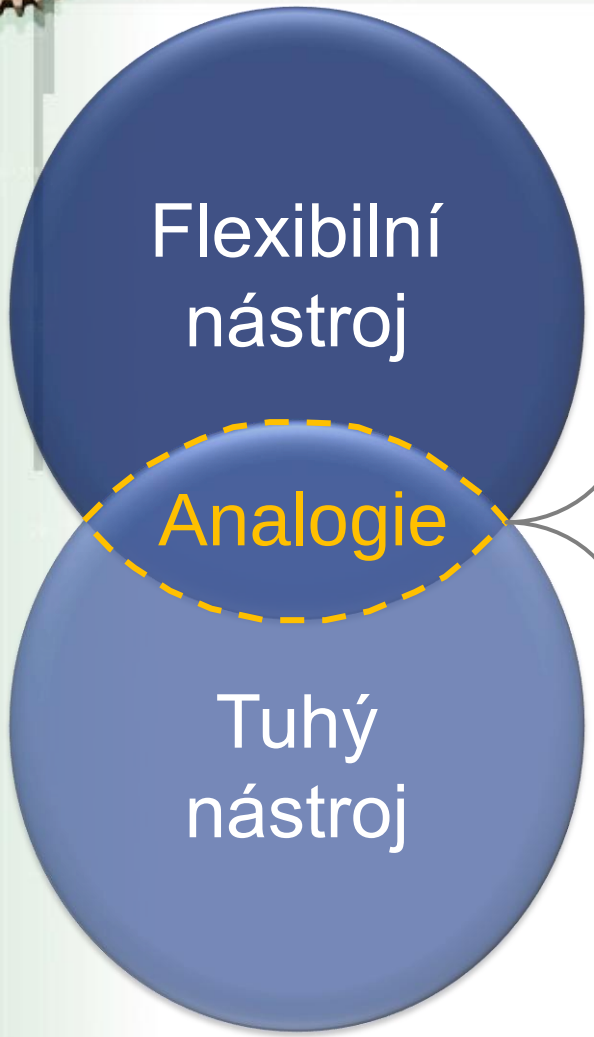
- Hlavním a výchozím aspektem pro volbu srovnávacích parametrů a metody zpracování analogie je principiální diference v mechanizmech dezintegrační práce flexibilního a tuhého nástroje.
- Drsnost povrchu a další dobře měřitelné geometrické prvky topografie vygenerovaných povrchů jsou využity k vydefinování podobnosti a mechanické analogie.





Úvod – zmapovaní problematiky

1
2
3
4
5
6



- **Myšlenka komparece technologií**
  - Využití a analytické zpracování drsnosti a dalších parametrů finální topografie povrchu obrobených stěn flexibilním a tuhým nástrojem je dosud nedoceněno, a proto nedostatečně v teorii a praxi využito.
  - Topografie finálního povrchu vytvořeného těmito rozdílnými technologiemi je zde nově považována za společný analytický jmenovatel.

Mechanická integrita

1

2

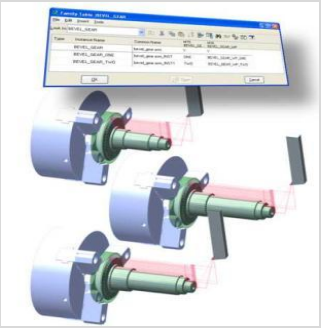
3

4

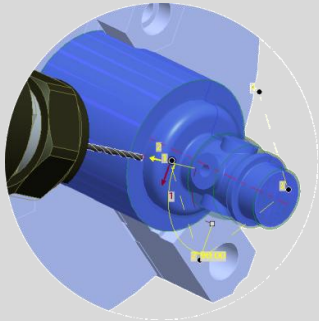
5

6

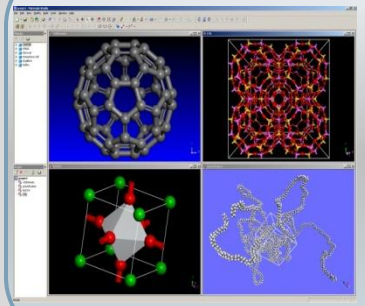
Technologické parametry



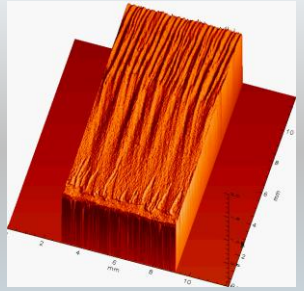
Nástroj



Materiál



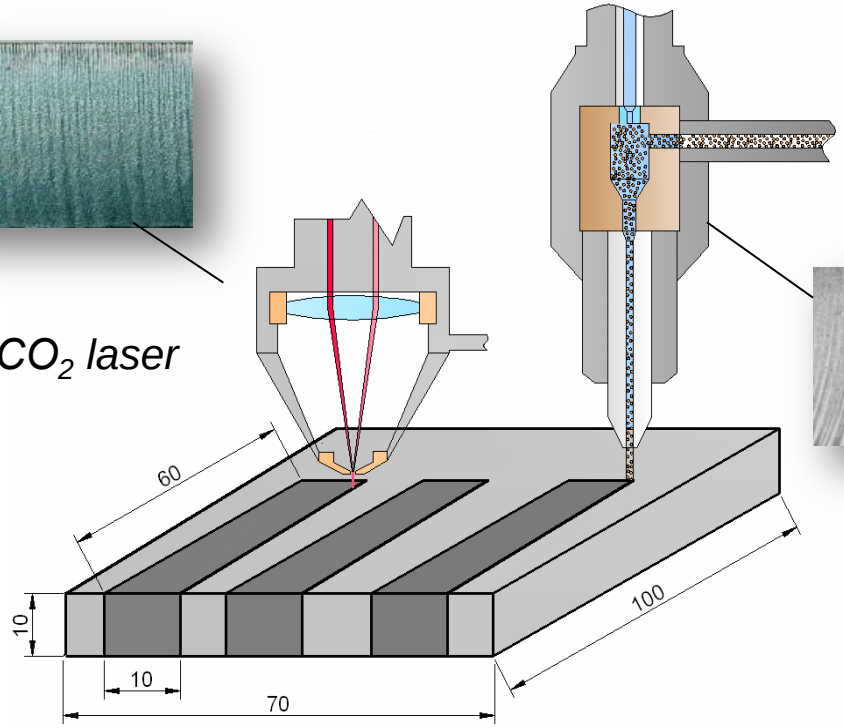
Topografie povrchu

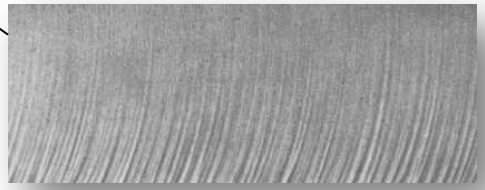


Flexibilní nástroj

- Nástroj, který se kvazi-pružně přizpůsobuje okamžitému odporu v řezu a podle tohoto odporu mění tvar stopy při průchodu materiálem (laser, AWJ).

Řezná stěna CO_2 laser

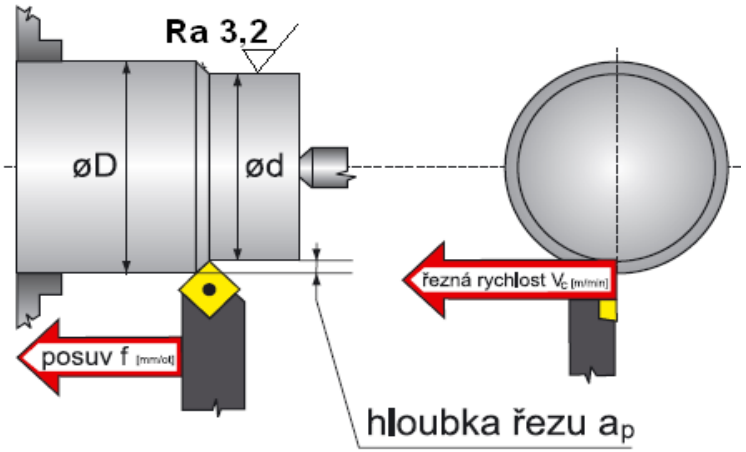


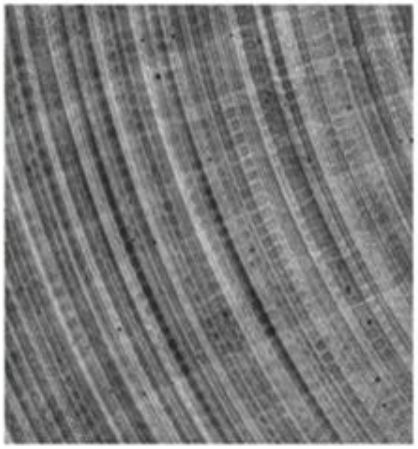


Řezná stěna AWJ

Tuhý nástroj

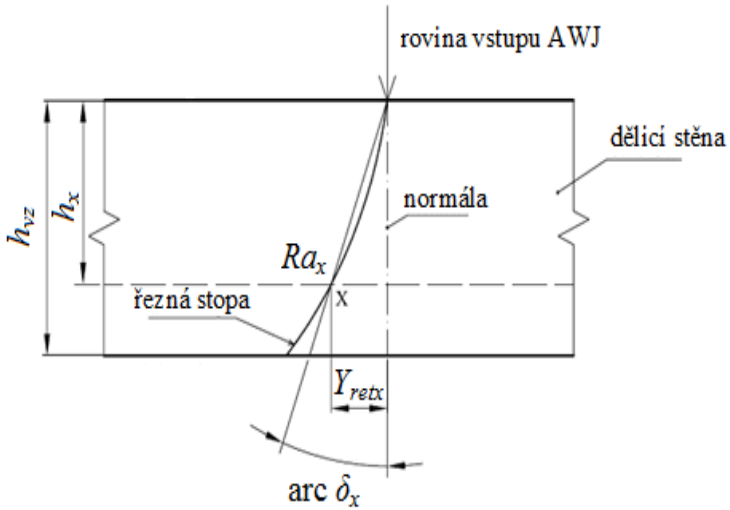
- Tuhé řezné nástroje nejsou schopny se přizpůsobit okamžitému odporu materiálu v řezu změnou tvaru geometrických prvků stopy, protože stopa řezu vždy zůstává kolmá a pevný řezný nástroj je interaktivně ovlivněn změnou odporu materiálu tak, že se mění intenzita otupení břitu, zmenšuje se hloubka úběru a pod.

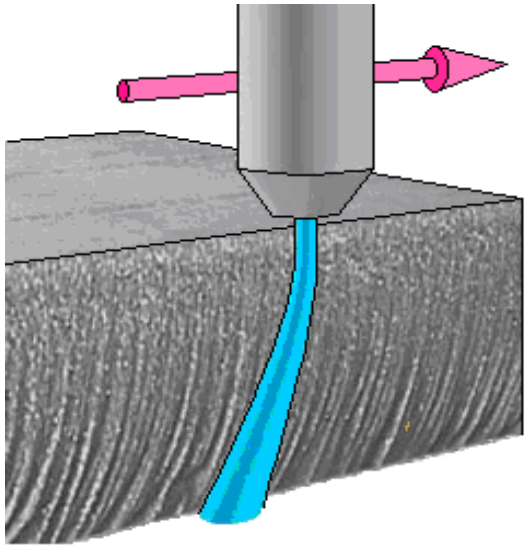




Flexibilita nástroje

- retardace stopy řezu Y_{retx}
- retardační uhel δ_x
- drsnost ve stopě Ra_x radiální drsnost Ra_d, resp. Rz_d měřená v rovině kolmé na povrch vzorku





Flexibilita nástroje

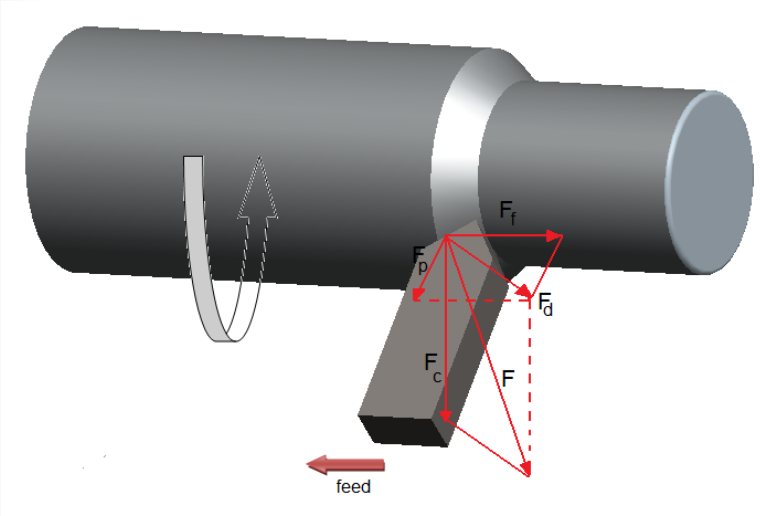
na jedné straně způsobuje velké problémy s udržením požadovaných geometrických i výkonových parametrů

Flexibilita

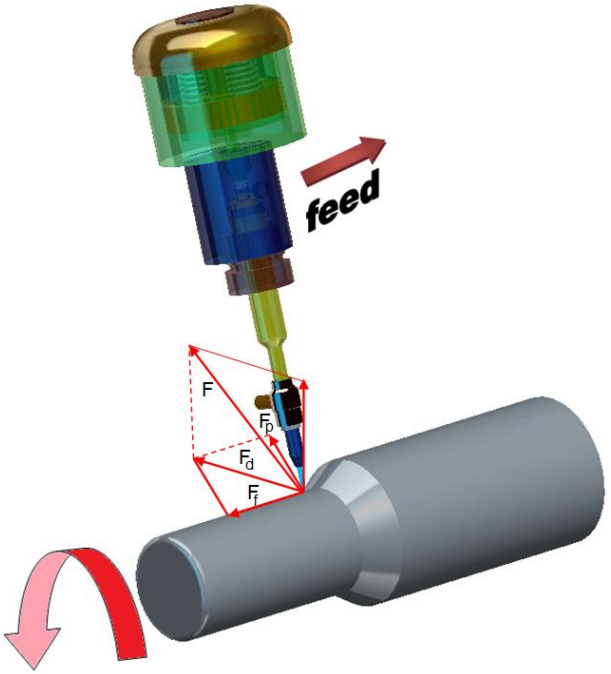
na straně druhé je však dobře využitelná pro studium a analýzu deformačních a silových poměrů na řezech, mechanizmu dezintegrace materiálu a procesu generování topografické struktury a textury dělicích stěn

Porovnání technologií, charakter povrchů

- Vývojový trend
  - technologie soustružení flexibilními nástroji



technologie soustružení tuhým nástrojem



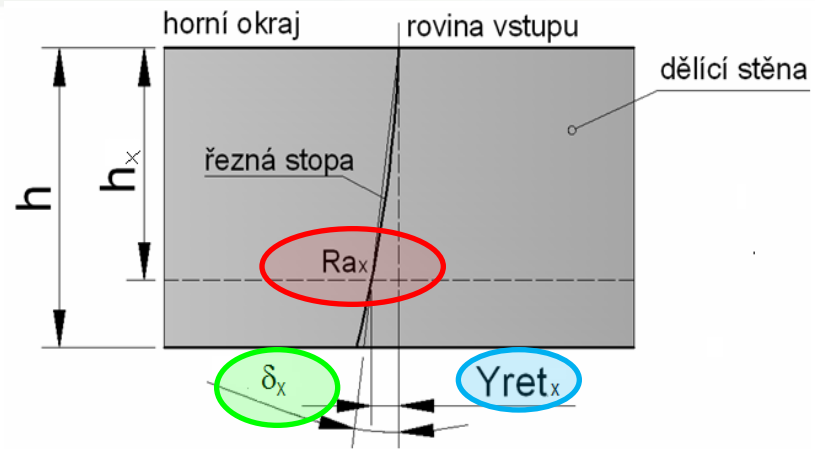
technologie soustružení flexibilním nástrojem

Analytické řešení řezné stopy

Křivení řezné stopy

Vazba geometrických parametrů

$$K_{cut} = \frac{Ra \cdot h}{Y_{ret}} = \frac{10^{12}}{E_{mat}^2} = konst.$$



$$\delta = arctg\left(\frac{Y_{ret}}{h}\right); \delta_0 = arctg\left(\frac{Y_{ret0}}{h_0}\right)$$

$$Ra = \frac{Y_{ret} \cdot K_{cut}}{h}; Ra_0 = \frac{Y_{ret0} \cdot K_{cut}}{h_0}$$

$$Ra = -10 \cdot \left(\frac{1 - K_{cut}}{K_{cut} - h}\right)$$

$$Y_{ret} = \frac{Ra \cdot h}{K_{cut}}; Y_{ret0} = \frac{Ra_0 \cdot h_0}{K_{cut}}$$

Principiální rozdíl

Flexibilní nástroj	Tuhý nástroj
- Ra, $Rz \neq konst.$	- Ra_t, $Rz_t = konst.$
- $Y_{ret} \neq 0$, arc $\delta \neq 0$	- $Y_{ret} = 0$, arc $\delta = 0$
- $\sigma_{def} \neq 0$, $F_{cut} \neq 0$	- σ_{def} , F_{cut} = konst.

Koncepce řešení topografie povrchu

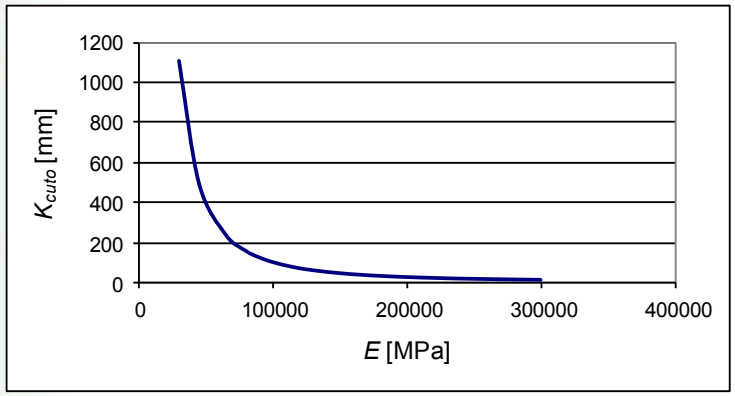
Dělitelnost materiálu – technologická konstanta K_{cut}

Technologicky optimální rychlost

$$v_{popt} = \left(10^{-3} \cdot Ra_0\right)^{0.5} \cdot \frac{10^6}{\sqrt{E_{mat}}}$$

Deformační napětí v povrchové vrstvě a stanovení drsnosti

$$\sigma_{ra} = 10^{-3} \cdot Ra \cdot \frac{E_{mat}}{Ra_0}; Ra = 10^3 \cdot \sigma_{ra} \cdot \frac{Ra_0}{E_{mat}}$$



Respektování geometrických tvarů závislostí (Ra, Y_{ret} ,arc δ) = f (h, E_{mat}, K_{cut}, σ_{ra}, v_p)

Rovný řez – tuhý nástroj

1
2
3
4
5
6

Technologické parametry

Vztahy podle Taylora

- Tloušťka třísky h_{tc} → $h_{tc} = \left(\frac{C_v}{(T_{sk} \cdot v_{ct} \cdot f)} \right)^{0.5}$
- Konstanta vlivu způsobu práce C_v
- Trvanlivost ostří T_{sk} → $Rz = 1000 \cdot \frac{f^2}{(8 \cdot R_{to})}$
- Řezná rychlost v_{ct}
- Posuv na otáčku f
- Průřez třísky S_t → $S_t = h_{tc}^{0.2} \cdot f^{0.2}$
- Řezná síla F_{ct} → $F_{ct} = p_t \cdot S_t$
- Řezná rychlost optimální v_{copt} → $v_{copt} = 10 \cdot \frac{C_v}{(T_{sk} \cdot h_{tc}^{0.2} \cdot f)}$
- Původní poloměr hrotu R_{t0}

Rovný řez – flexibilní nástroj

1
2
3
4
5
6

Teoretický rovný řez pro AWJ

drsnost povrchu získaná z povrchového napětí

$$\sigma_{ravp} = \left(10^{-3} \cdot Ra_0\right)^{0.5} \cdot \frac{10^6}{v_{popt}}$$

$$Ra_\sigma = 10^3 \cdot \sigma_{ravp} \cdot \frac{Ra_0}{E_{mat}}$$

$$v_{preg} = \left(10^{-3} \cdot Ra_0\right)^{0.5} \cdot \frac{10^6}{\sigma_{ra}}$$

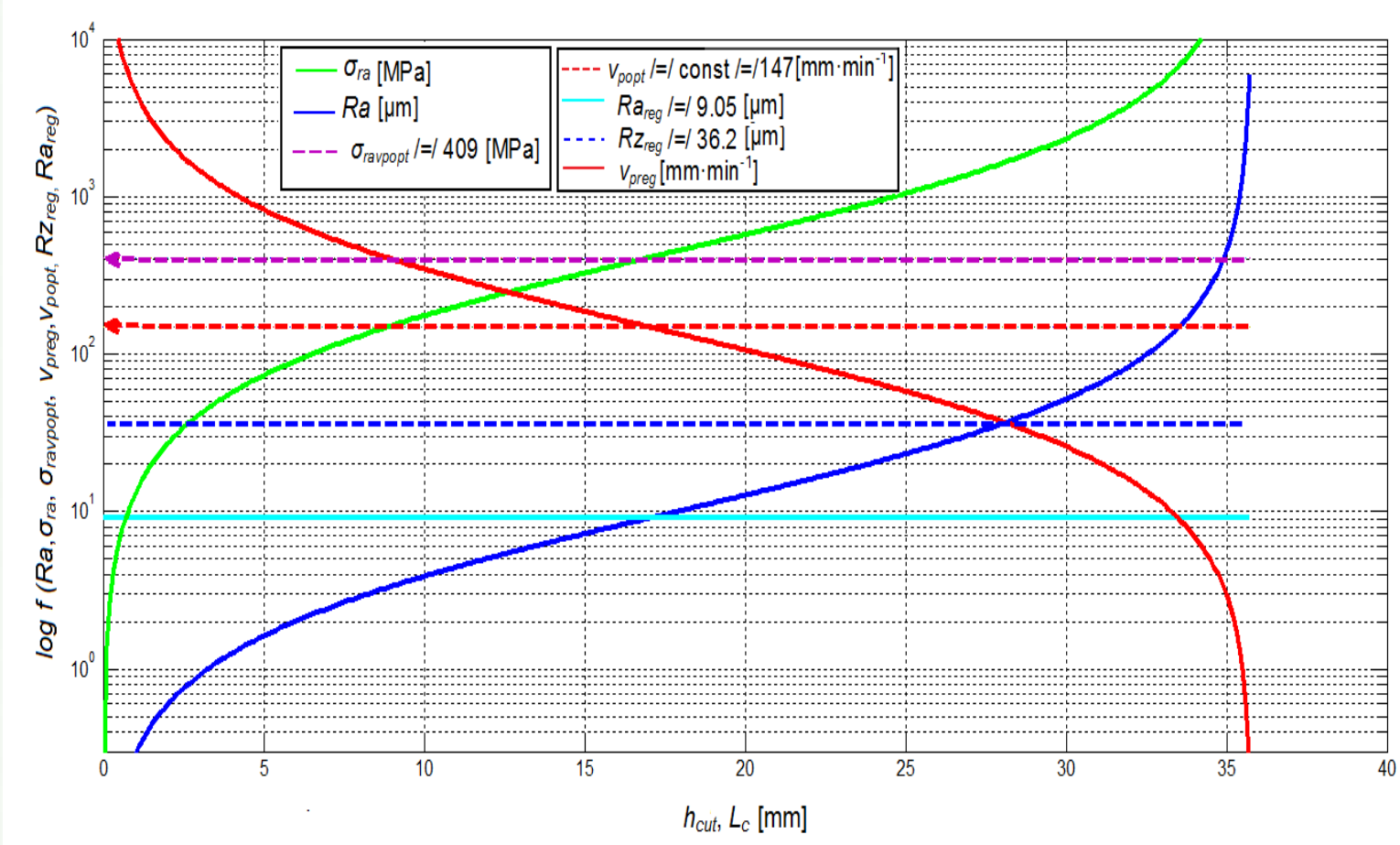
povrchové napětí získané při změně posuvové rychlosti řezné hlavy

$$Ra_{reg} = \frac{v_{preg}}{v_{popt}} \cdot Ra$$

regulovaná rychlost posuvu řezné hlavy

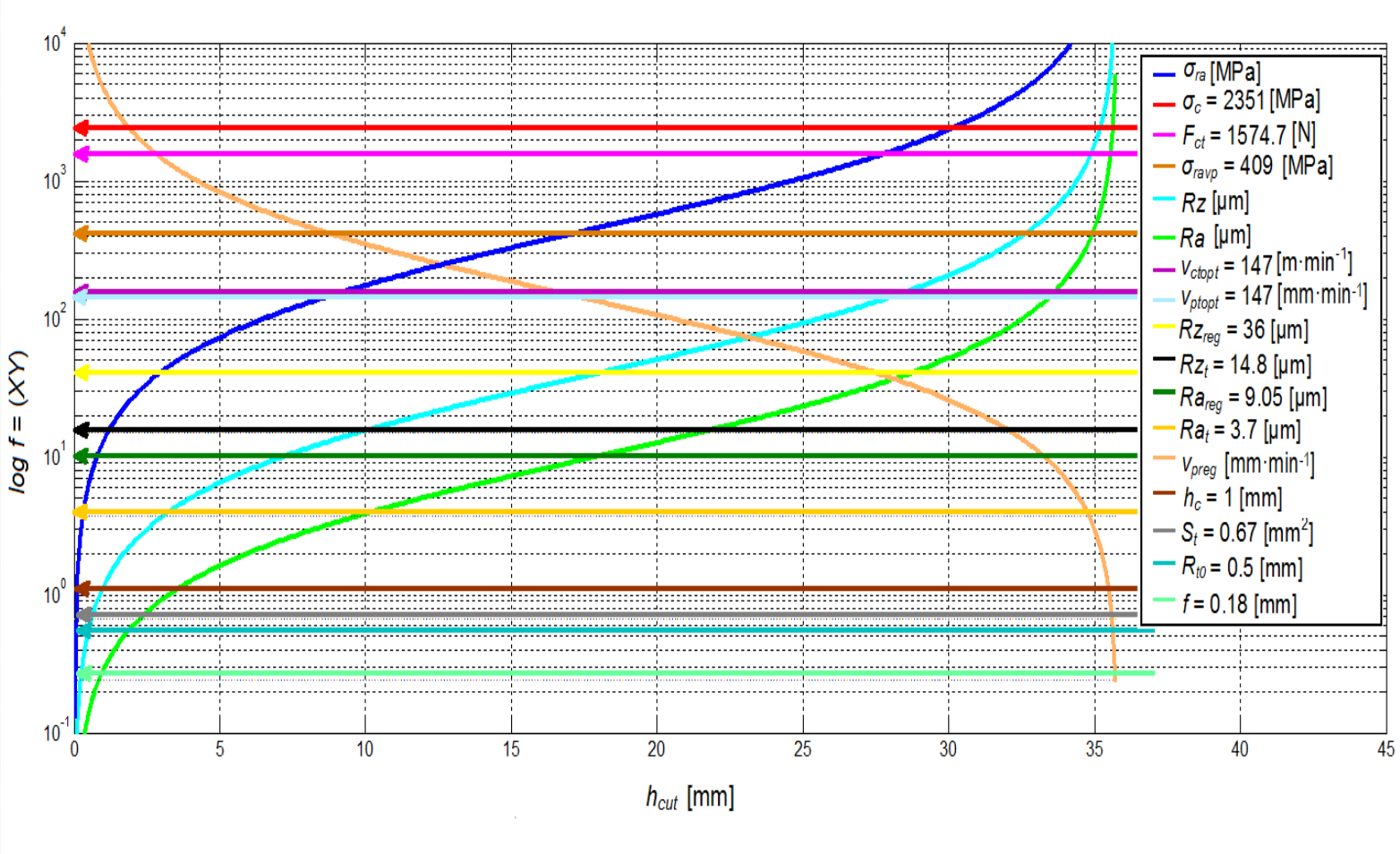
regulovaná drsnost povrchu

On-line řízení a automatizace AWJ



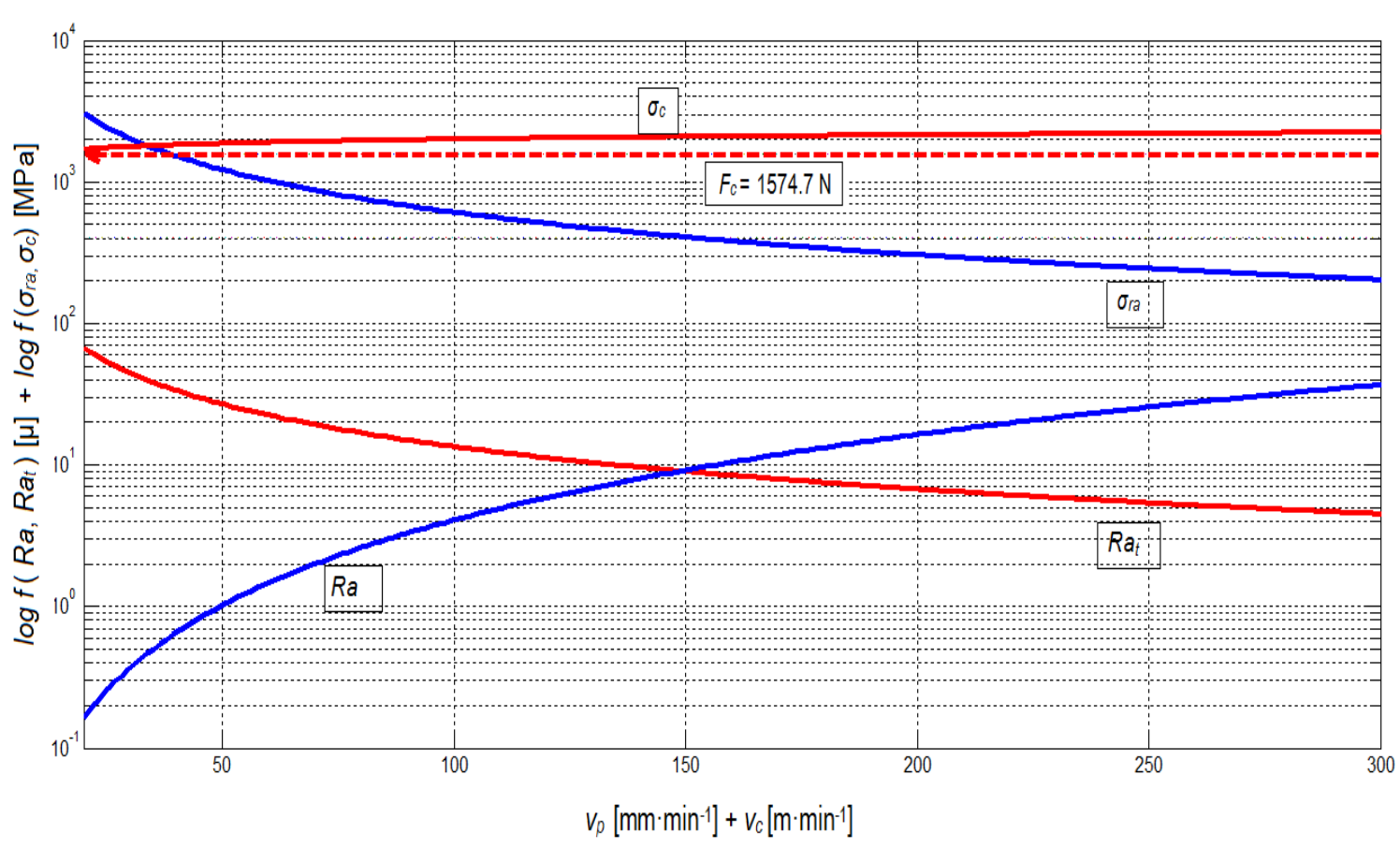
Průběhy analyzovaných funkcí technologie s flexibilním hydroabrazivním nástrojem v závislosti na hloubce řezu h_{cut} v semilogaritmických souřadnicích.

On-line řízení a automatizace AWJ



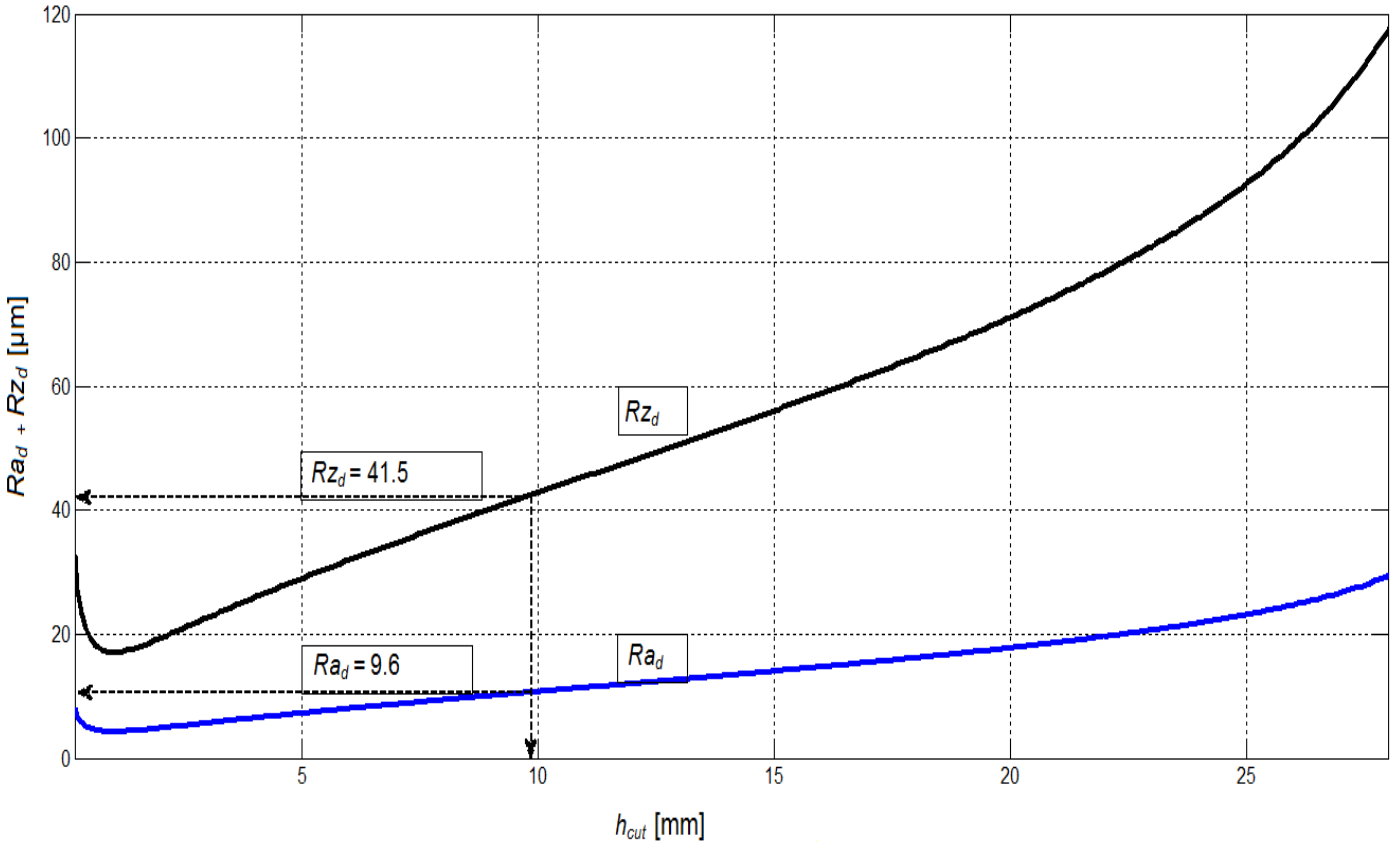
Průběhy analyzovaných funkcí obou technologií v závislosti na hloubce řezu h_{cut}, resp. po délce obrobku L_c v semilogaritmických souřadnicích.

On-line řízení a automatizace



Průběhy analyzovaných funkcí obou technologií v závislosti na posuvné rychlosti hydroabrazivní řezné hlavy v_p [mm·min^{-1}], resp. na obvodové řezné rychlosti v_c [m·min^{-1}] v semilogaritmických souřadnicích.

On-line řízení a automatizace AWJ



AWJ technologie; závislost radiální drsnosti na hloubce řezu (Ra_d, Rz_d)=f (h_{cut}).

Topografické funkce

1
2
3
4
5
6

Flexibilní nástroj

$$Ra_d = \left(Ra - \log \frac{Ra}{Ra_0} \right)$$

$$Rz_d = \left(Ra_0 + 5 \cdot \frac{h}{h_0} \right) \cdot \left(Ra - \log \frac{Ra}{Ra_0} \right)$$

Uváděné rovnice reprezentují topografické funkce Ra_d a Rz_d pro flexibilní nástroj hydroabrazivního dělení (AWJ).

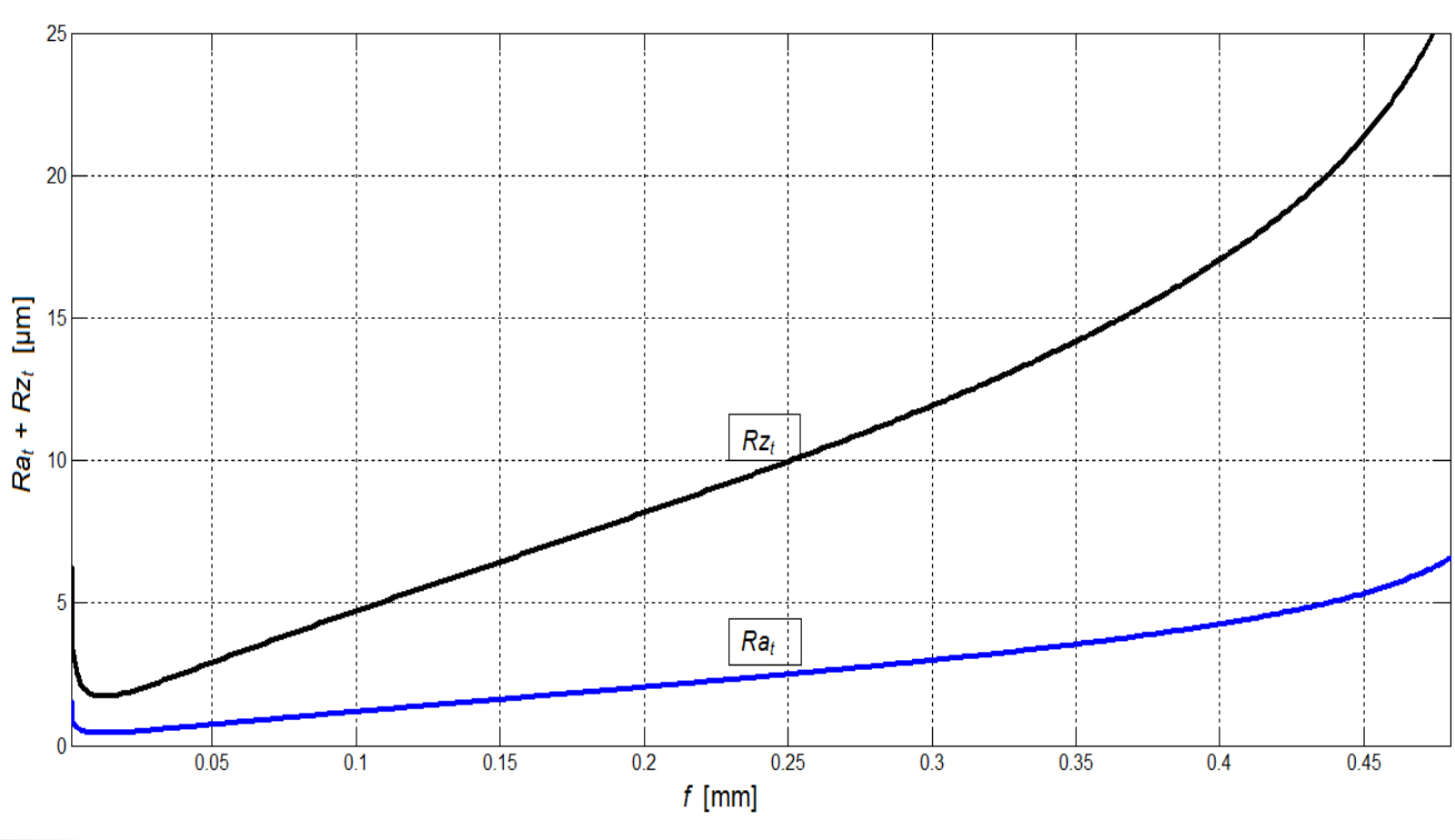
Tuhý nástroj

$$Ra_t = Ra_d \cdot \left(\frac{h_0}{(60 \cdot f)^{0.2}} \right)^{-1}$$

$$Rz_t = Rz_d \cdot \left(\frac{h_0}{(60 \cdot f)^{0.2}} \right)^{-1}$$

Rovnice prezentují souvislost mezi topografickými funkcemi pro tuhý nůž Ra_t, Rz_t a topografickými funkcemi pro flexibilní nástroj při analytické aproximaci rovnic pro posuv *f*.

Topografické funkce



Závislost drsnosti třískového obrábění Ra_t a Rz_t na posuvu (Ra_t, Rz_t) = f(f).

Topografické funkce

1

2

3

4

5

6

$$Ind_{rz} = \frac{Rz_t}{Rz_d} = \left(\frac{h_0}{(60 \cdot f)^{0.2}} \right)^{-1}$$

poměrový index Ind_{rz}

$$f_{rz} = \left(Rz_t \cdot \frac{(8 \cdot R_t)}{1000} \right)^{0.5}$$

posuv f_{rz}

$$v_{cfrz} = 10 \cdot \frac{C_v}{\left(T_{sk} \cdot h_{tc}^{0.2} \cdot f_{rz}^{0.2} \right)}$$

řezná rychlost v_{cfrz}

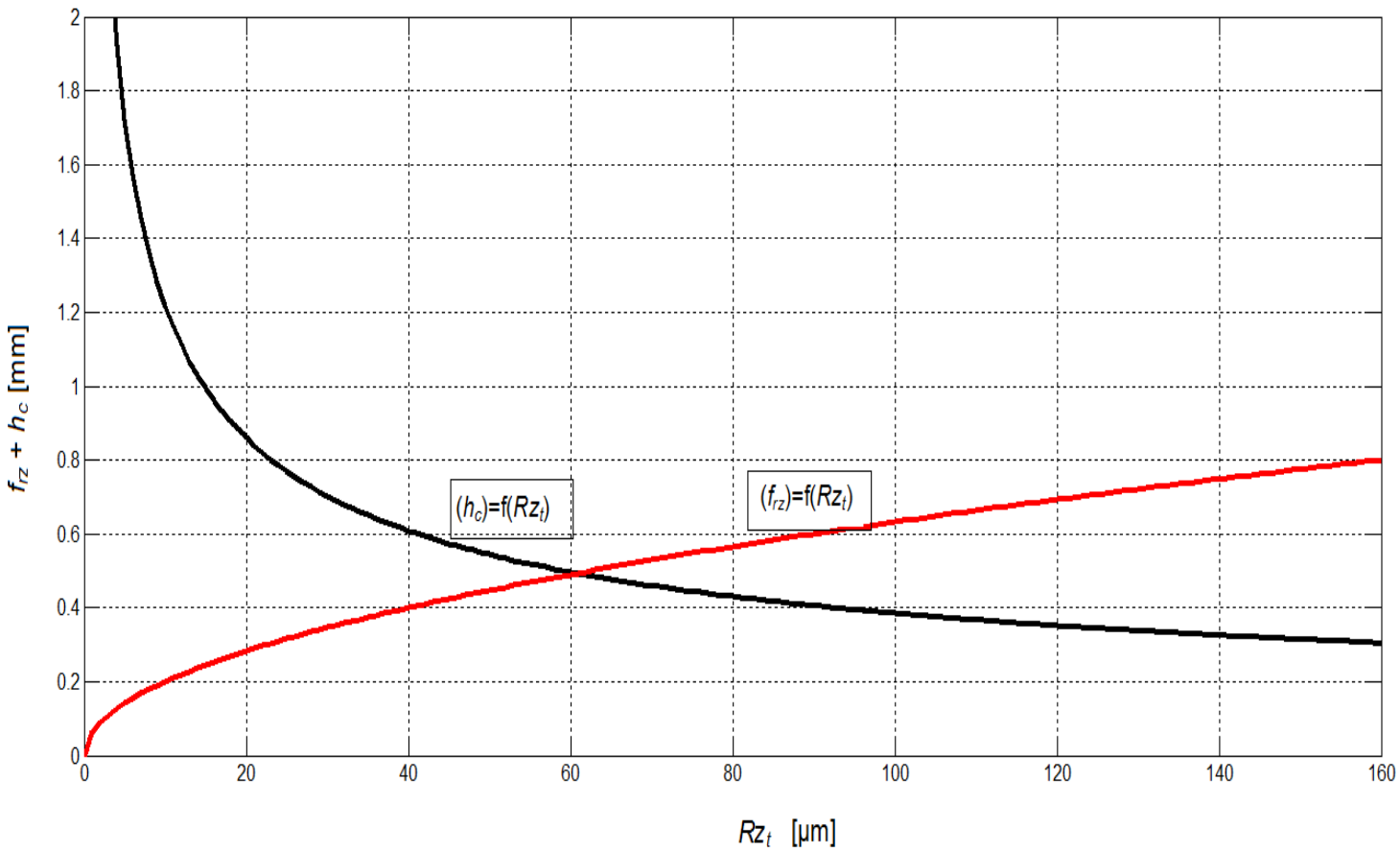
$$S_{cfrz} = h_{tc}^{0.2} \cdot f_{rz}^{0.2}$$

průřez třísky S_{cfrz}

$$F_{cfrz} = p_t \cdot S_{crz}$$

řezná síla F_{cfrz}

Topografické funkce



Závislost posuvu a hloubky zabírky na finální drsnosti (f_{crz}, h_c) = f(Rz_t).

Topografické funkce

1
2
3
4
5
6

obvodová rychlost třískového obrábění → řezná síla F_{crz} → plocha řezu S_c

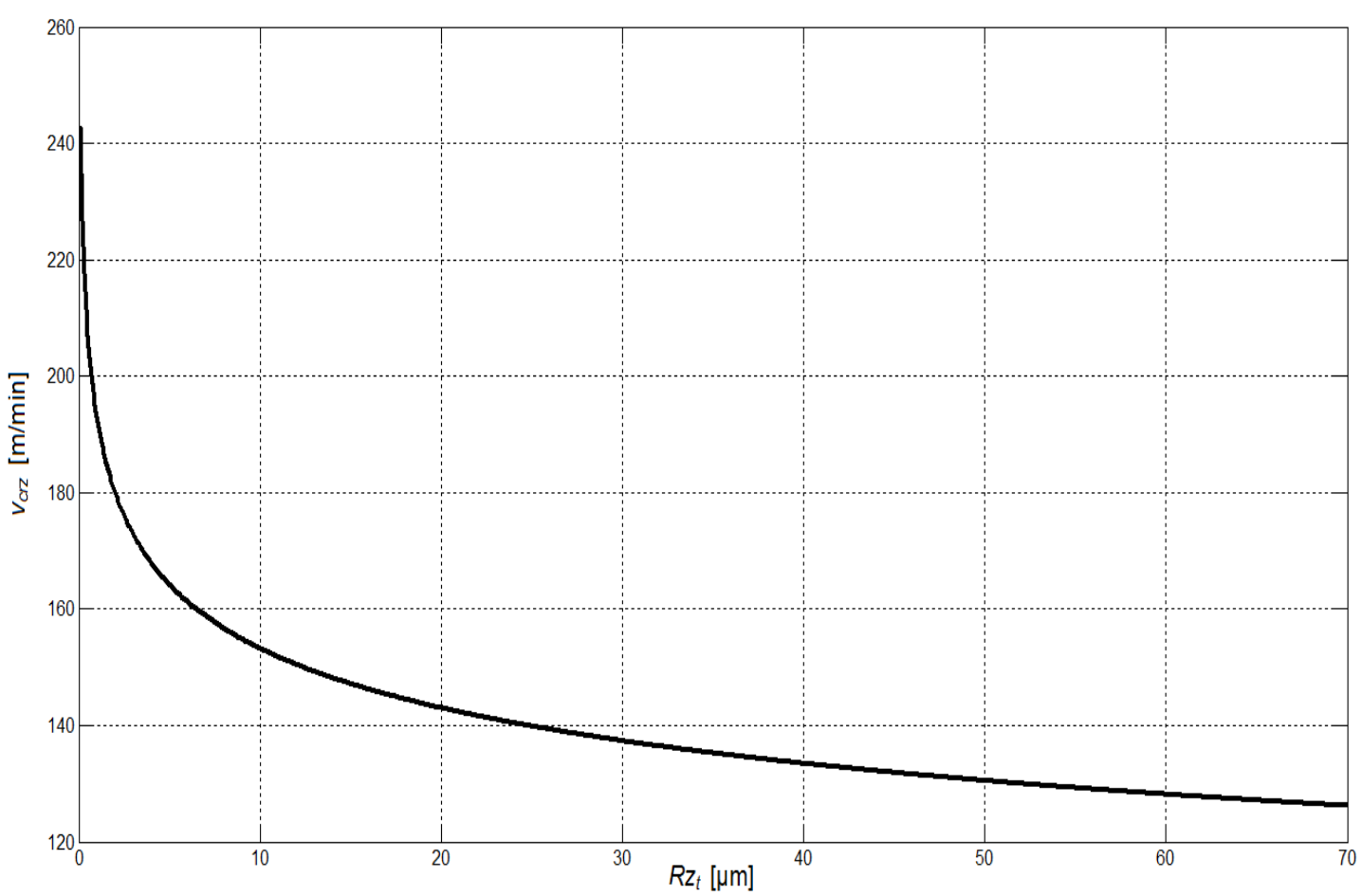
$$v_{crz} = 10 \cdot \frac{C_v}{\left(T_{sk} \cdot h_c^{0.2} \cdot \left(Rz_t \cdot \frac{8 \cdot R_t}{1000} \right)^{0.5} \right)^{0.2}}$$

$$F_{crz} = p_t \cdot S_{crz}$$

$$S_{crz} = h_c^{0.2} \cdot \left(\left(\frac{Rz_t \cdot (8 \cdot R_t)}{1000} \right)^{0.5} \right)^{0.2}$$

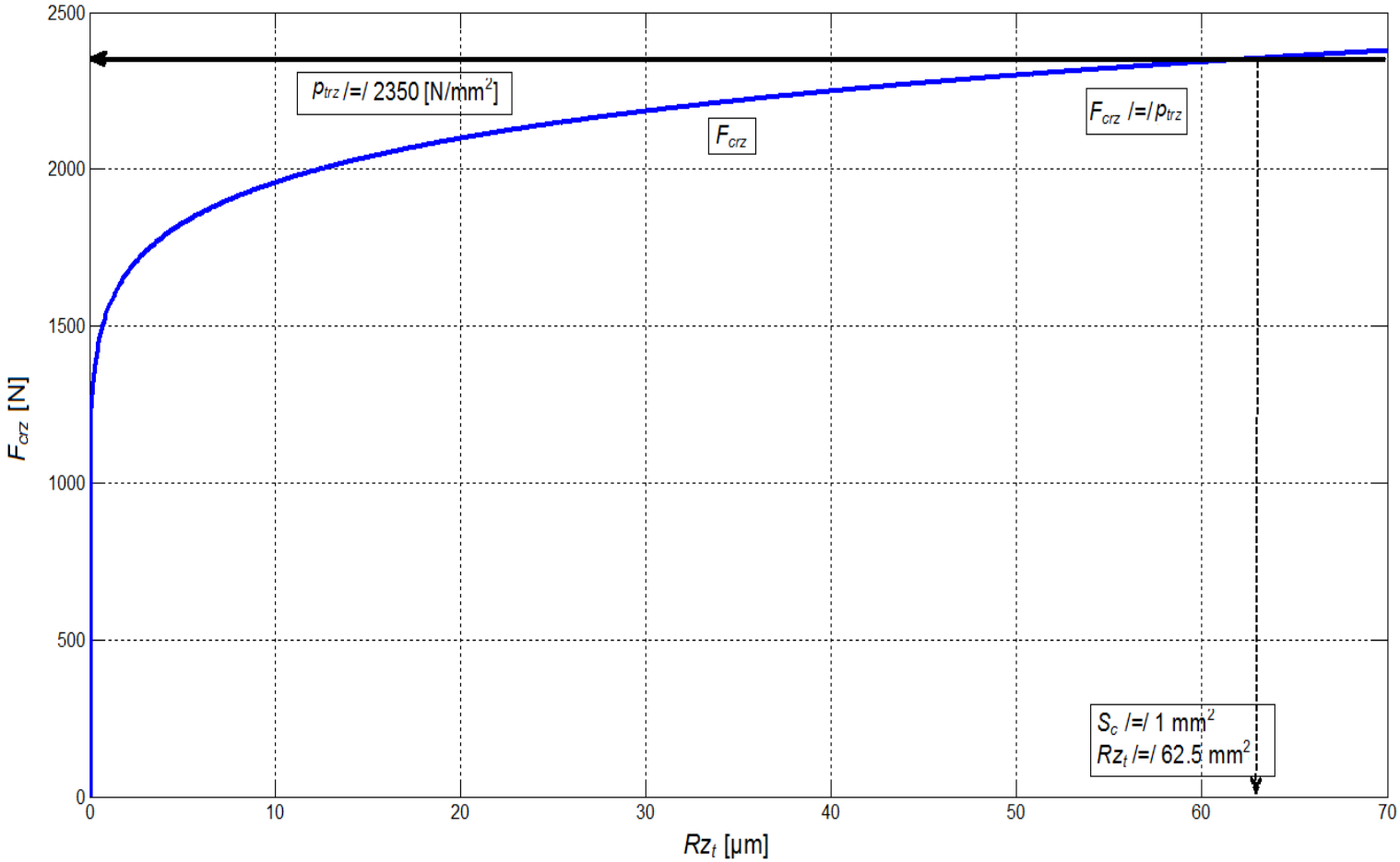
finální drsnost Rz_t

Topografické funkce



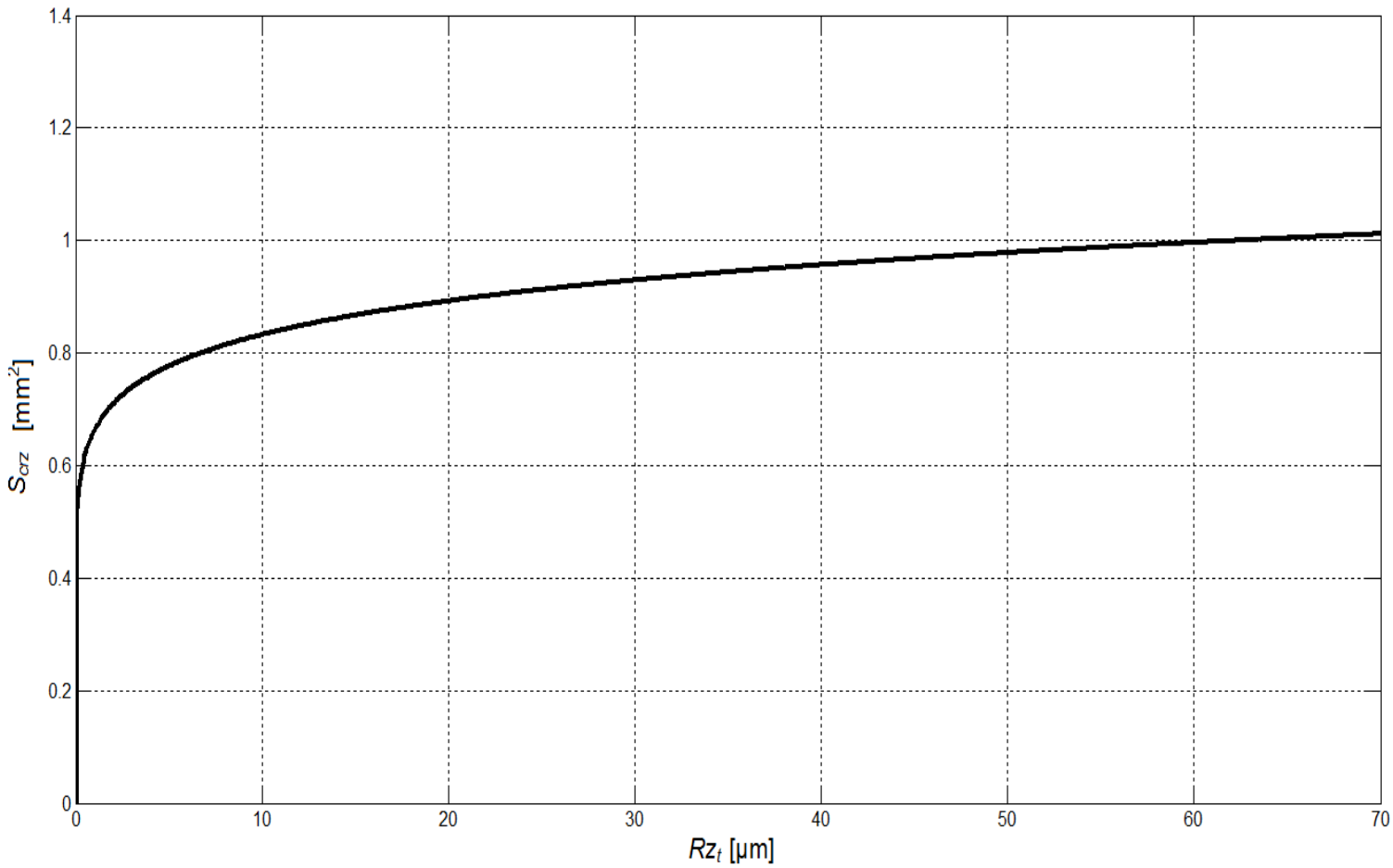
Závislost obvodové rychlosti třískového obrábění na finální drsnosti v_{crz} = f (Rz_t).

Topografické funkce



Závislost řezné síly a řezného napětí na finální drsnosti (F_{crz}, p_{trz}) = f (Rz_t).

Topografické funkce



Závislost plochy řezu na finální drsnosti S_{crz} = f (Rz_t).

Dosažené výsledky

1

2

3

4

5

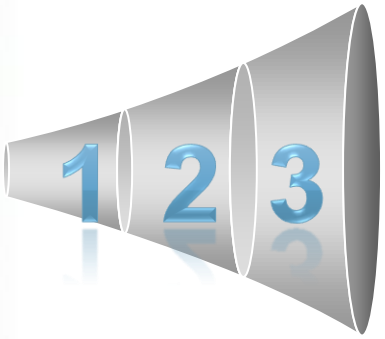
6

- Existence analyticky definovatelné podobnosti práce obou typů nástrojů v řezu.
- Nestabilita trajektorie směru průniku nástrojů flexibilního typu materiálem generuje relativně vysokou vlnitost a drsnost na obrobených plochách.
- Prezentovaná srovnávací analýza dokazuje, že v parametrech řezů lze dosáhnout typických výhod, které jsou vlastní tuhým nástrojům.
- Podle odvozených rovnic lze vyjmenované nevýhody dané flexibilitou nástroje eliminovat regulací posuvné rychlosti v reálném čase.
- Regulační rychlost je vysoká a dosahuje řádově mikrosekund a lze ji dosáhnout komplexní automatizací řízení obrábění.

Dosažené výsledky

- Řešení regulace rychlosti podle okamžitých hodnot vhodně zvoleného kontrolního nezávislého parametru.
- Nabízí se řízení podle okamžitých hodnot vibrací $v_{bi} = d(v_b)/dt$ nebo akustických emisí $a_{ei} = d(a_e)/dt$ na základě odvození příslušných řídicích funkcí $v_{preg} = f(v_{bi}, a_{ei})$.
- Pro rozvoj technologií s pevným pracovním nástrojem lze možné přínosy převzaté koncepce realizovat už v projektové fázi a to při:
- Při navrhování hlavních technologických parametrů podle konkrétních mechanických vlastností aktuálně obráběného materiálu.
- Také v řešení zákonitých příčin otupování břitů, způsobu automatizované kontroly a včasné výměny nožů, nebo v prodlužování životnosti nožů snižováním intenzity vibrací a tření z titulu generování nadměrné drsnosti pracovních ploch.

Závěr



1. Provedená srovnávací analýza vyjadřuje, jak důležitá může být funkce parametru drsnosti a dalších geometrických prvků topografie generovaných povrchů. Pro oba typy nástrojů zde drsnost povrchu zcela nově vystupuje jako společný jmenovatel mechanizmu práce.

2. Uplatnění podobnosti při řešení způsobu regulace pro automatizované řízení technologie s flexibilním pracovním nástrojem. Možné přínosy pro současně řešenou problematiku v technologiích s tuhým nástrojem. A to jak na kvalitativní, tak i na kvantitavní úrovni a v grafických závislostech.

3. Výhodou je kvantifikace a algoritmizace výpočtových kroků pro programy Excel a Matlab a jejich obecná platnost pro konkrétní materiál. Dále také možnost interaktivního matematického modelování procesu obrábění v obou technologiích.