

Mladá veda

Young Science

Špeciálne vydanie

Mladá veda

Young Science

MEDZINÁRODNÝ VEDECKÝ ČASOPIS MLADÁ VEDA / YOUNG SCIENCE

Číslo 9, ročník 5., vydané v decembri 2017

ISSN 1339-3189

Kontakt: info@mladaveda.sk, tel.: +421 908 546 716, www.mladaveda.sk

Fotografia na obálke: Château de Chambord. © Branislav A. Švorc, foto.branisko.at

REDAKČNÁ RADA

doc. Ing. Peter Adamišín, PhD. (Katedra environmentálneho manažmentu, Prešovská univerzita, Prešov)

doc. Dr. Pavel Chromý, PhD. (Katedra sociálnej geografie a regionálneho rozvoje, Univerzita Karlova, Praha)

prof. Dr. Paul Robert Magocsi (Chair of Ukrainian Studies, University of Toronto; Royal Society of Canada)

Ing. Lucia Mikušová, PhD. (Ústav biochémie, výživy a ochrany zdravia, Slovenská technická univerzita, Bratislava)

doc. Ing. Peter Skok, CSc. (Ekomos s. r. o., Prešov)

prof. Ing. Róbert Štefko, Ph.D. (Katedra marketingu a medzinárodného obchodu, Prešovská univerzita, Prešov)

prof. PhDr. Peter Švorc, CSc., predseda (Inštitút histórie, Prešovská univerzita, Prešov)

doc. Ing. Petr Tománek, CSc. (Katedra verejnej ekonomiky, Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava)

REDAKCIA

PhDr. Magdaléna Keresztesová, PhD. (Fakulta stredoeurópskych štúdií UKF, Nitra)

Mgr. Martin Hajduk (Inštitút histórie, Prešovská univerzita, Prešov)

RNDr. Richard Nikischer, Ph.D. (Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, Praha)

Mgr. Branislav A. Švorc, PhD., šéfredaktor (Vydavateľstvo UNIVERSUM, Prešov)

PhDr. Veronika Trstianska, PhD. (Ústav stredoeurópskych jazykov a kultúr FSŠ UKF, Nitra)

Mgr. Veronika Zuskáčová (Geografický ústav, Masarykova univerzita, Brno)

VYDAVATEĽ

Vydavateľstvo UNIVERSUM, spol. s r. o.

www.universum-eu.sk

Javorinská 26, 080 01 Prešov

Slovenská republika

© Mladá veda / Young Science. Akékoľvek šírenie a rozmnožovanie textu, fotografií, údajov a iných informácií je možné len s písomným povolením redakcie.

MODELOVANIE TECHNOLOGICKÝCH PARAMETROV V PROCESOCH AWJ

MODELOVANIE TECHNOLOGICKÝCH PARAMETROV V PROCESOCH AWJ

Ján Kmec, Monika Karková¹

Autori pôsobia na katedre strojírenství, Vysokej školy technickej a ekonomickej v Českých Budějovicích. Vo svojom výskume sa venujú problematike vodného lúča z oblasti technológie a taktiež v oblasti environmentálnej.

The authors work at the Department of Mechanical Engineering, the The Institute of Technology and Business in České Budějovice. In their research they deal with the issue of the water jet technology in the field of technology as well as in the environmental field.

Abstract

Waterjet cutting technology represents a new approach of shape cutting of various materials, under conditions of cold cut without influencing the material on the cutting edge.

Key words: waterjet cutting technology, cold cut, all materials.

Abstrakt

Technológia rezania vodným lúčom predstavuje nové prístupy tvarového rezania a delenia rôznych materiálov pri studenom reze bez tepelného ovplyvnenia materiálu na reznej hrane.

Kľúčové slová: technológia rezania vodným lúčom, studený rez, všetky materiály

Rozvoj technológie vodného lúča

Technológia rezania vodným lúčom predstavuje jedinečnú, pre budúcnosť orientovanú, možnosť zavádzania vysokej automatizácie pri vysokovýkonnom rezaní skutočne všetkých druhov materiálov.

V posledných desaťročiach sa vo výskume vynaložilo veľké experimentálne a analytické úsilie na vypracovanie predbežných modelov maximálnej hĺbky rezu (aby bolo možné uvažovať o indexe účinnosti procesu) a modelov povrchovej úpravy (index kvality procesu) v oblasti rezania pomocou abrazívneho vodného lúča (AVL). Všeobecný postup, ktorý ukazuje možnosť využitia prognostických modelov kvality a efektívnosti vo väzbe na funkciu priamych nákladov (náklady relevantné pre úroveň parametrov AVL, t.j. tok abrazívneho vodného lúča, miera skríženia, miera opotrebovania abrazívnej trysky a vodnej dýzy atď.).

¹ Adresa pracoviska: Ing. Monika Karková, PhD., doc. Ing. Ján Kmec, CSc., Vysoká škola technická a ekonomická v českých Budějovicích, Okružní 517/10, 37001 České Budějovice
E-mail: karkova@mail.vstecb.cz, kmec@mail.vstecb.cz

Cieľom v konečnom dôsledku je voľba optimálneho súboru technologických parametrov z hľadiska obmedzení týkajúcich sa kvality a produktivity operácie rezania.

Situácia

V najnovšej histórii obrábania abrazívnym vodným lúčom mnoho vedcov opisuje účinok odstraňovania materiálu na základe teoretického modelovania. Tieto modely siahajú od jednoduchého po zložité opisovanie vplyvu rôznych technologických parametrov. Ťažkosť opísania procesu sa zvyšuje prekrývaním vplyvných technologických parametrov.

Všetky rovnice sa snažia znížiť náklady na rezanie AVL. Keďže však väčšina systémov pracuje na princípe abrazívneho vodného vstrekovacieho lúča (AVVL), uvedené rovnice sa usilujú hlavne o opis procesov rezania na báze AVVL a nie na báze lúča abrazívnej vodnej suspenzie (LAVS).

Najdôležitejšie prognostické modely, ktoré sa objavili v literatúre za posledných niekoľko rokov, sú opísané v ďalšej časti. Možno ich rozdeliť podľa tabuľky 1.

Klasické	Čiastočne empirické	Empirické
Tichomirov Hašiš Zeng a Kim	Oweinah Blickwedel Matsui Momber	Chung Kovačević Babu Brandt C. Kobayashi

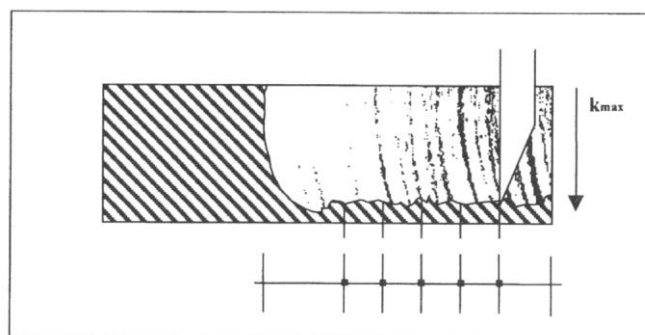
Tabuľka 1: Klasifikácia modelov

Experimentálne riešenie

Na základe výskumných prác realizovaných rôznymi vplyvnými autormi, o ktorých sme hovorili v predchádzajúcej časti, uskutočnil sa kompletný faktoriálny experimentálny program na hrubých vzorkách s cieľom zostaviť prognostický model pre maximálnu hĺbku rezu AVL (k_{max}). Experiment prebehol v laboratóriu Katedry strojárstva na Polytechnickej univerzite v Miláne. Pracovalo sa s tromi rôznymi materiálmi: obchodne čistý titan (Ti c.p.), hliníková zliatina (Al 2024) a nehrdzavejúca oceľ (AISI 304).

Typ zosilňovača	Dvojitý účinok	Tlak vody (max.)	390 MPa
Výkon zosilňovača	37 kW	Zosilňovací pomer	20:1
Tlak oleja (max.)	19 Mpa	Objem akumulátora	2,05 l
Priemer dýzy	0,3 mm	S.O.D.	2 mm
Priemer zaostrovacej rúrky	1 mm	Dĺžka zaostrovacej rúrky	76 mm

Tabuľka 2: Charakteristiky systému



Obr. 1 - Meranie pozície (k_{max})

Všetky merania sa vykonali mikrometrickým meradlom v piatich rovnako vzdialených bodoch pozdĺž rezu, vyhýbajúc sa vstupnej zóne a zóne zastavenia, kde dochádza k prechodovému stavu (obr. 1).

Výsledky a analýza experimentu

Reakcia materiálu na parametre rezania sa dá lepšie vysvetliť pomocou relatívnej hĺbky merania než pomocou absolútnej hĺbky. Relatívna hĺbka rezania k_r sa definuje ako pomer medzi hĺbkou rezania a maximálnou teoretickou hĺbkou penetrácie lúča (k_{meas}/k_{max}). Z toho vyplývajú významné výhody: napríklad, ak k_r je menšie než 10%, priemer R_a zostáva takmer konštantný a nezávisí od uvažovaných riadiacich premenných. Skutočná priemerná hodnota R_a vnútri tohto rozsahu výrazne závisí od veľkosti zrna a od podmienok upevnenia. Pri vyšších k_r hodnotách drsnosť rastie exponenciálne (obr. 3).

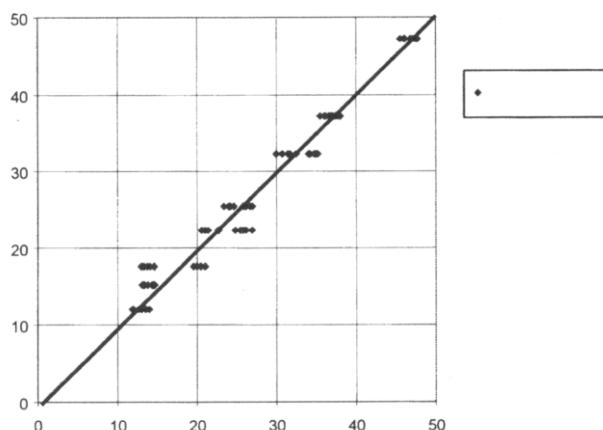
Vychádzajúc z predchádzajúcich experimentálnych výsledkov (15) sa v rámci nášho výskumu vykonal celý rad experimentov s cieľom definovať jednoduché modely z hľadiska maximálnej hĺbky rezu a drsnosti povrchu. Keďže ide o technologické modely, platia iba v rámci uvažovaných parametrických úrovní, ktoré predstavujú typické priemyselné podmienky. Navrhlo sa jednoduché vyjadrenie maximálnej hĺbky rezania k_{max} :

Model je založený na modifikácii prístupov predstavených v (5) a (15). Jeho hlavné témy sú závislosť k_{max} na p , v a m_p . A nie – v rozsahu skúmaných parametrov – na veľkosti abrazívneho materiálu.

(14)		$k_{max} = A \frac{p^B \cdot \dot{m}_p^C}{v^D}$		200 < p < 350 [MPa] 50 < v < 200 [mm/min] 100 < m_p < 400 [g/min] B.G. #80 - #120
k_{max} = maximálna rezná hĺbka [mm]				
MATERIAL	A	B	C	D R-sq
Titan	0,272	0,885	0,555	0,774 95,9%
Nehrdzavejúca oceľ	0,802	0,705	0,550	0,856 95,0%
Hliník	18,91	0,626	0,017	0,630 95,5%

Tabuľka 3: Model maximálnej hĺbky (k_{max})

Experimentálne skúšky založené na vyše 550 rezaniach (vrátane troch opakovaní) ukázali veľmi dobrú zhodu medzi vypočítanými a nameranými hodnotami (obr. 2). Vlastne parameter regresie $R-sq$ predstavuje asi 95% pri uvedených troch materiáloch.



Obr. 2 - k_{max} predpokladané a nameraná [mm] pre rezací test AISI 304

(15)	Podmienky experimentu: Titán Tab. 5 Nehrdz. oceľ Tab. 6 Hliník Tab. 7			
$R_a = \text{drsnosť povrchu } [\mu\text{m}]$				
MATERIAL	α	β	δ	γ R-sq
Titan	15,99	8,85	0,31	-0,05 86,6%
Nehrdzavejúca oceľ	74,44	11,02	0,72	0,72 92,4%
Hliník	96,54	16,78	0,78	0,84 85,9%

Tabuľka 4: Model drsnosti povrchu R_a

Navrhovaný model pre k_{max} môže pomôcť určiť, či rez prejde alebo nie. Vlastne sa môže použiť ešte zaujímavejším spôsobom, pretože vypočítané hodnoty k_{max} sa môžu zaviesť do nasledujúceho modelu na prognózovanie drsnosti povrchu, kde sa vyžaduje parameter k_r . Model drsnosti povrchu vyžaduje empirické vyhodnotenie štyroch koeficientov (α , β , δ , γ) a použitie modelu na odhadnutie k_{max} a teda aj k_r .

Titan c.p. (hrúbka vzorky: 12 mm) [vložené konštrukčné riešenie] $k_{meas} = 1; 4; 6; 7; 11$ [mm] Počet opakovaní: 3			
Tlak vody P [Mpa]	Rýchlosť prívodu v [mm/min]	Prietok abrazívneho materiálu m_p [g/min]	Veľkosť zrn abrazívneho materiálu #
250	50	200	B.G. #80
285	100	270	B.G. #120
320	150	340	
350	200	400	

Tabuľka 6: Podmienky experimentu (nehrdzavejúca oceľ)

Nehrdz. oceľ (hrúbka vzorky: 12 mm) [vložené konštrukčné riešenie] $k_{meas} = 1; 4; 6; 7; 11$ [mm] Počet opakovaní: 3			
Tlak vody P [Mpa]	Rýchlosť prívodu v [mm/min]	Prietok abrazívneho materiálu m_p [g/min]	Veľkosť zŕn abrazívneho materiálu #
250	50	200	B.G. #80
285	70	270	B.G. #120
320	100	340	
350	120	400	

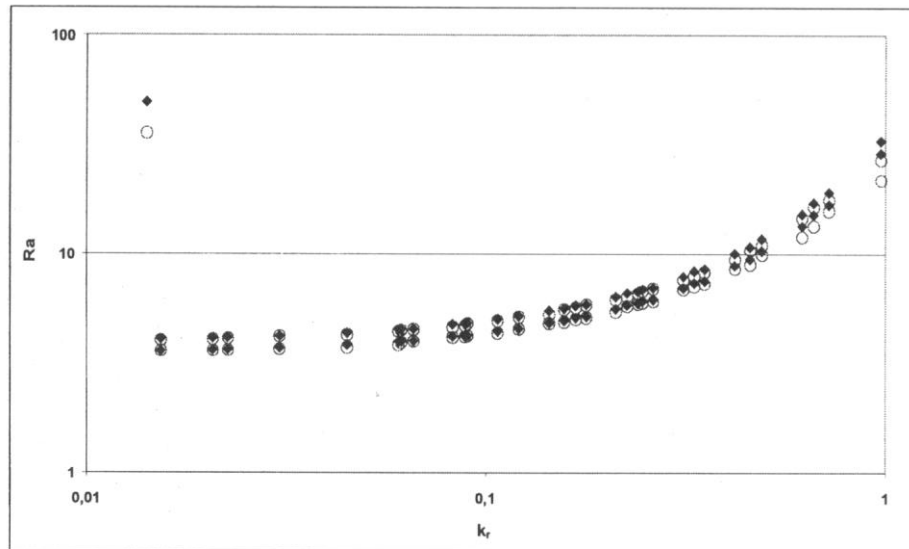
Hliník (hrúbka vzorky: 30 mm) [vložené konštrukčné riešenie] $k_{meas} = 1; 8; 15; 22; 29$ [mm] Počet opakovaní: 3			
Tlak vody P [Mpa]	Rýchlosť prívodu v [mm/min]	Prietok abrazívneho materiálu m_p [g/min]	Veľkosť zŕn abrazívneho materiálu #
250	50	200	B.G. #80
350	150	400	B.G. #120

Tabuľka 7: Podmienky experimentu (hliník)

Celkové množstvo experimentálne práce predstavuje asi 100 rezov (vrátane troch opakovaní pre každú kombináciu parametrov). Hodnoty R-sq pre uvedené tri kovy sú: 86,6% pri titane, 92,4% pri nehrdzavejúcej oceli a 85,9% pri hliníkovej zliatine.

Na obr. 3 sú graficky znázornené experimentálne a vypočítané hodnoty R_a , ktoré vyplynuli zo skúšok s titanom, vo vzťahu k relatívnej hĺbke rezu k_r ; graf ukazuje dobrú zhodu medzi modelom a nameranými hodnotami. Aj keď stredné experimentálne R_a , graficky zachytené na obr. 3, sa skutočne blížia prognózovaným hodnotám, rozptyl drsnosti okolo priemerných hodnôt môže byť niekedy relevantný a preto sa vo všeobecnosti navrhuje vykonať niekoľko opakovaní.

Ako je uvedené v kapitole o súčasnej situácii, k dispozícii sú aj ďalšie modely, ktoré berú do úvahy vplyv ostatných parametrov a/alebo aplikujú sa na iné cieľové materiály, takže aj ony by sa mohli vhodne využiť pri ekonomickej analýze operácií obrábania s AVL.



Obr. 3 Predpokladané a namerané hodnoty Ra [μm] vs. hĺbka kr

Ekonomické aspekty

V každej priemyselnej aplikácii by sa mal uskutočniť výber parametrov rezania s AVL s ohľadom na prevádzkové náklady (t.j. tie parametre, pomocou ktorých by sa mohol materiál rezať s predpísanou presnosťou a kvalitou povrchu pri minimálnych možných prevádzkových nákladoch). Nákladová funkcia by mala brať do úvahy iba hlavné variabilné náklady takýmto spôsobom:

Kde to platí, je možné získať riešenie numericky pomocou softwaru pre obmedzenú optimalizáciu. Ak napríklad predpokladáme, že drsnosť $R^*_a = 6\mu\text{m}$ je potrebná pri $k^*_{\text{max}} = 8$ mm pri 10 mm hrubej nehrdzavejúcej oceli AISI 304, potom pri použití softwaru LINGO ako optimalizačného nástroja je súbor parametrov, ktoré minimalizujú náklady na obrábanie, nasledujúci:

$$P=350 \text{ Mpa}; \quad v = 120 \text{ mm/min} \quad \text{mp} = 232 \text{ g/min} \quad \text{B.G. \#120}$$

Pochopiteľne, riešenie závisí od hodnôt priradených nákladových koeficientov (c_a , c_w , c_e atď.). Vzhľadom na relatívnu jednoduchosť problému dobré výsledky je možné dosiahnuť aj pomocou bežnejších nástrojov, ako napríklad riešiteľská funkcia počítačového programu spreadsheet.

Záver

Táto práca sa venuje problému voľby ekonomických technologických parametrov pre obrábanie s AVL.

Bola navrhnutá a použila sa funkcia približných nákladov s minimalizáciou obmedzení s cieľom stanoviť optimálne prevádzkové podmienky. Na základe analýzy rozsiahlej literatúry a rozsiahlych experimentov s tromi referenčnými materiálmi bol vypracovaný empirický model maximálnej hĺbky rezu a drsnosti povrchu.

Tento prístup, vhodne aplikovaný aj na iné materiály, by sa mohol zakomponovať do softwarového modulu na prognózovanie prevádzkových nákladov rezania a špecifikáciu

optimálneho súboru technologických parametrov (p , v , mp , $\#$) pre potreby koncových užívateľov a zvýšenie konkurencieschopnosti technológie na báze abrazívneho vodného lúča. Je potrebné ešte pracovať na lepšom vyjadrení nákladovej funkcie, aby sa realistickejšie zohľadnila korelácia medzi technologickými parametrami a mierou opotrebovania dýz, zaostrovacích rúrok a komponentov rezacieho systému. Zároveň je potrebné overiť navrhované empirické modely na rôznych materiáloch.

*Tento článok odporúča na publikovanie vo vedeckom časopise Mladá veda:
Ing. Ján Majerník, PhD.*

Použitá literatúra

1. Vasilko K., Kmec J. : Delenie materiálu. DATAPRESS Prešov, Prešov 2003, 232 st.
2. Ragan E., Kmec J. : Hydraulické procesy a zariadenia. Vysokoškolské skriptá. FVT TU Prešov, Prešov 2003, 303 st.
3. Fabian S., Hloch S. : Abrasive waterjet process factors influence on stainless steel AISI 304 Macrogeometrical cutting duality. SCIENTIFIC BULLETIN, Volume XIX, NORTH UNIVERSITY OF BAIA MARE 2005, pp. 261-266. Romania. ISSN 1224-3264.
4. Hloch S., Fabian S. : Modeling of abrasive waterjet cutting process by means of full Factorial design. In.: The 47 th Conference on Simulation and Modeling. Helsinki. September 2006, Suomi.
5. Kmec J. : Skúsenosti s automatizáciou procesu delenia materiálov novými technológiami. 1. medzinárodný seminár IDEE 94 . Trenčín 1994. 6 st.
6. Kollárová, M., Kmec, J. : Analysis of enviromental system for recycling abrasive Material used in waterjet cutting. 11th Conference on Environment and Minereal Processing – Part III. Ostrava 2007. ISBN 978-80-248-1431-5. str. 227-230.
7. Blaščík F., Kmec J. : Automatizácia technologických pracovísk v plošnom tvárnení. ALFA, Bratislava, 1989, 394 st.