

Strategije in orodja za uspešno obdelavo grafita

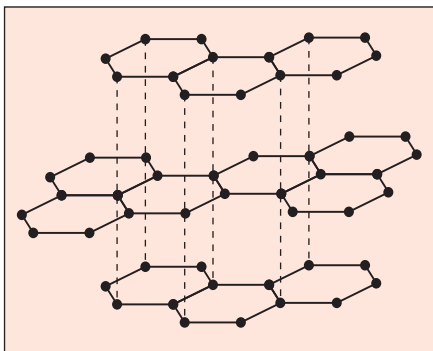
Orodjarska podjetja so pod stalnim pritiskom, da morajo zmanjševati stroške. Istočasno se povečuje kompleksnost izdelkov, tolerance pa se ožijo. Poleg tega se mora skrajšati čas od pridobitve naročila do dobave. Pogosto je velik potencial za izboljšave na prej omenjenih področjih skrit v spremembi materiala elektrod iz bakra na grafit. Članek obravnava izdelavo grafitnih elektrod z rezkanjem z visokimi hitrostmi – HSC-rezkanjem.

Prof. dr. Rüdiger Haas
mag. Florian Kirchmann
mag. Marjan Dobovšek

Najbolj razširjeni materiali elektrod so baker, volfram-baker in grafit. Da bi pokazali temeljne razlike med materiali elektrod, bomo primerjali fizikalne lastnosti grafita in bakra.

Temeljne razlike med elektrodnimi materiali

Glavna razlika med grafitom in bakrom je v tem, da je grafit krhek material, izdelan s sintranjem, baker pa kovina, duktilen material, ki dobro prevaja toploto. Krhkost grafita lahko pojasnimo z njegovo strukturo. Slika 1 prikazuje atomsko strukturo grafita. Atomi ogljika tvorijo pravilne šeststerokotnike, ki so razporejeni v plasteh. Cena finoizdelanega grafita je visoka zaradi časovno in energijsko zelo potratnega postopka izdelave.



Slika 1: Atomska struktura grafita [3]

Na Sliki 2 so predstavljene nekatere fizikalne lastnosti grafita in bakra. Prednost grafita pri obdelavi z rezkanjem je predvsem majhen razteznostni koeficient. Tako se lahko izognemo deformacijam filigranskih elementov, ki bi nastale zaradi termičnih napetosti.

Pri obdelavi duktilnih materialov z rezkanjem se odrezek tvori na cepilni ploskvi. Mehanizmi odrezavanja pri krhkih materialih so drugačni. Pri obdelavi grafita z

Parameter	Enota	Baker	Grafit
Specifična električna upornost	$\mu\Omega\text{m}$	0,018	12 - 15
Toplotna prevodnost	W/(mK)	268 - 389	80 - 126
Tališče/točka sublimacije	$^{\circ}\text{C}$	1083	3470
Temperaturni razteznostni koeficient	$10^{-6}/\text{K}$	16,5	4 - 6,5
Gostota	g/cm^3	8,9	1,7 - 1,9
Dovoljena gostota el. toka	A/cm ²	ca. 3	ca. 10

Slika 2: Primerjava fizikalnih lastnosti bakra in grafita [3]

rezkanjem rezilo orodja ustvarja razpoke v materialu. Na teh razpokah se lomijo majhni delci materiala in nastaja fin prah. Stroj za obdelavo grafita mora zato biti zaprt v okrov in opremljen z odsesavanjem. Če ima zaprt stroj dovolj zmogljivo odsesavanje, grafitni prah ne predstavlja nobenih težav.

Med procesom obdelave grafita z rezkanjem ne prihaja do segrevanja, zato hlajenje orodja ni potrebno. Poleg tega ni nobenih negativnih vplivov zaradi uporabe hladilnih medijev, kot so voda, olje in emulzije. Grafitni prah, ki nastaja pri obdelavi, lahko odstranujemo z normalnimi odpadki. Uporaba hlajenja pa pomeni nastajanje grafitnega mulja, ki ga je treba odstranjevati kot poseben odpadke. V vsakem primeru so merodajni lokalni predpisi glede odstranjevanja odpadkov.

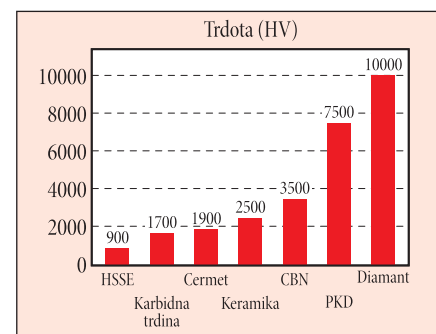
Posebna lastnost grafita je, da njegova trdnost narašča z naraščajočo temperaturo. Tako je pri temperaturi 1000 $^{\circ}\text{C}$ trdnost grafita približno za 25 % višja kot pri sobni temperaturi.

Rezalna orodja in materiali za obdelavo grafita

V primerjavi z obdelavo duktilnih materialov je pri obdelavi grafita bistveno drugačen sklop obremenitev. Pri tem namreč nastaja zelo fin prah, zato mora imeti orodje

le majhne kanale za zanesljiv odvod odrezanih delcev, orodja pa so posledično zelo toga. Tudi sile pri HSC-rezkanju grafita so majhne. Kombinacija majhnih kanalov za odvod odrezkov na orodju in majhnih obdelovalnih sil omogoča uporabo orodij z zelo velikim razmerjem med premerom in višino – običajno uporabljamo orodja z razmerjem 20 : 1 in več.

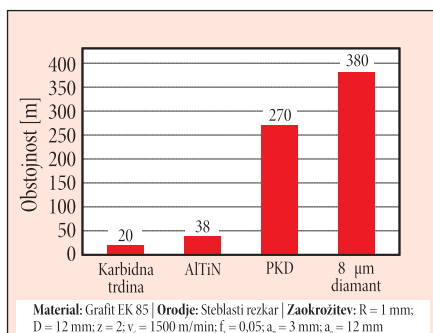
Posebne zahteve veljajo predvsem glede obrabne odpornosti orodij, ki so izpostavljena abrazivni obrabi. Za kar največjo odpornost orodja proti abrazivni obrabi je potrebna visoka trdota rezalnega materiala oziroma prevleke. Na Sliki 3 je prikazana trdota standardnih rezalnih materialov. Z visoko trdoto se odlikujeta PKD (polikristalinični diamant) in diamant.



Slika 3: Trdota standardnih rezalnih materialov

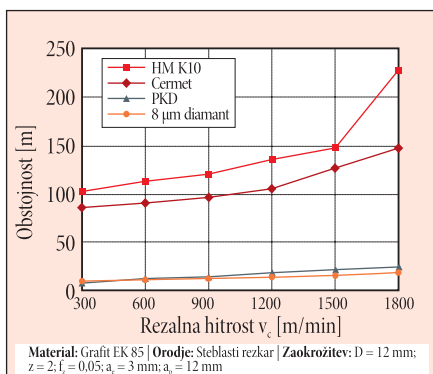
Običajna debelina diamantnih prevlek je od 6 μm do 30 μm . Stroški diamantnih prevlek predstavljajo približno 50 % stroškov orodja. Stroški prevleke so sorazmerni z debelino prevleke, zato se za obdelavo grafita največkrat uporabljajo orodja z 8 μm debelo prevleko. PKD je sintran material, diamantna zrna so vezana v kobaltno matriko. Trdota materiala PKD je zaradi kovinske nosilne matrike nekoliko nižja kot pri čistem diamantu.

Za obdelavo grafita so primerna izključno PKD-orodja in orodja z diamantnimi prevlekami. Ostale prevleke, ki dajejo odlične rezultate npr. pri obdelavi trdih jekel, ne ustrezajo zahtevam pri obdelavi grafita. Slika 4 prikazuje obstojnost različnih orodij in prevlek. Obstojnost orodij z in brez prevlek, tudi s TiAlN-prevlekami je zelo kratka, 20 m oziroma 38 m. Obstojnost PKD-orodij in orodij z diamantno prevleko pa je približno desetkrat daljša, 270 m in 380 m.



Slika 4: Obstojnost orodja pri obdelavi grafita

Slika 5 prikazuje primerjavo rezalnih materialov in dosegljivih obstojnosti orodij pri različnih rezalnih hitrostih. Pri rezkanju grafita se pojavlja poseben fenomen: s povečevanjem rezalne hitrosti se zmanjšuje obraba orodja. Pri obdelavi jekla moramo nasprotno računati s povečanjem obrabe orodja, ko se poveča rezalna hitrost. Zaradi te posebne lastnosti je grafit idealen material za obdelavo s HSC-rezkanjem. Za doseganje maksimalnega volumna odrezkov je treba pri naraščajoči rezalni hitrosti poskrbeti za konstantno podajanje zob.

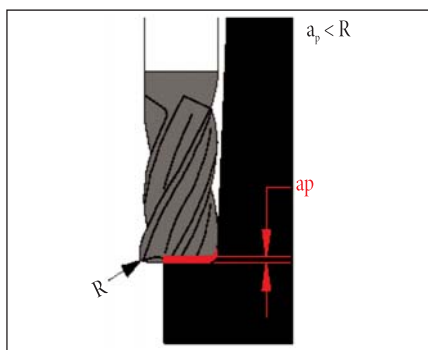


Slika 5: Obstojnost orodja v odvisnosti od rezalne hitrosti

Strategije za obdelavo grafita

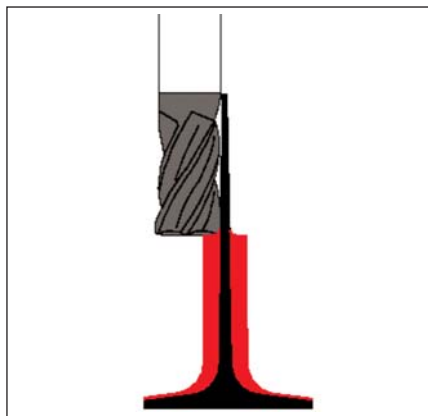
Pri obdelavi grafita zaradi krhkosti materiala ne nastaja srh. To predstavlja veliko prednost, saj odpade ročna dodelava. V nasprotju z bakrom pri grafitu ne prihaja do deformacij zaradi termičnih napetosti, zato je mogoča natančna izdelava tudi pri zelo filigranskih geometrijah.

Pri grobi obdelavi si želimo čim višjo hitrost odnašanja materiala, poleg tega pa mora po grobi obdelavi ostati enakomeren dodatek. Ena od možnih strategij za doseganje teh zahtev je prikazana na Sliki 6. Pri njej uporabimo orodje z veliko kotno zaokrožitvijo. Če izberemo še globino reza, ki je manjša od kotne zaokrožitve orodja, lahko nastavimo zelo veliko podajanje na zob. Tako dosežemo visoko zmogljivost odrezavanja in istočasno zelo enakomeren površinski dodatek. Dodatni prednosti tega postopka sta zelo visoka zanesljivost procesa in enostavno programiranje CAM-sistema.



Slika 6: Rezkanje z majhno globino reza

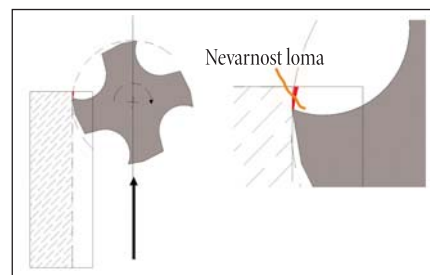
Pri izdelovanju elektrod se pogosto pojavlja obdelovanje ozkih reber. Za to moramo uporabiti drugačne strategije kot pri obdelavi bakrenih elektrod. Po grobi obdelavi mora na rebrih ostati večji dodatek, npr. 1 do 3 mm, ki je na Sliki 7 označen kot rdeča površina. Fina obdelava odnese cel dodatek v eni operaciji z majhno globino reza. Fine predhodne obdelave niso potrebne.



Slika 7: Strategija za obdelavo reber

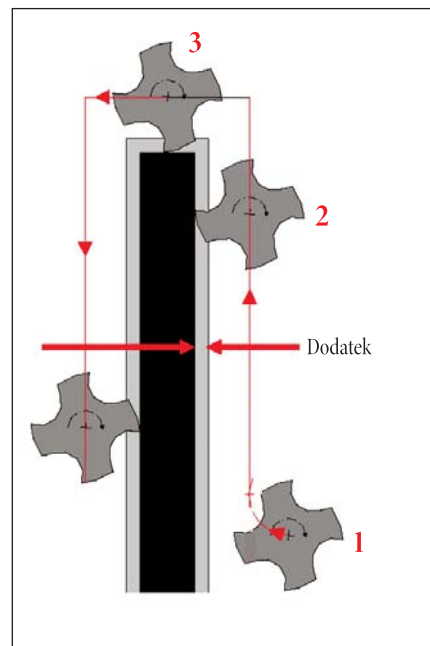
Kot vsi krhki materiali je tudi grafit občutljiv na natezne napetosti. Zaradi krhkosti materiala je treba upoštevati nekaj posebnosti pri obdelavi ostrih vogalov, ki se po-

gosto pojavljajo pri rebrih. Tako se lahko izognemo lomu robov, saj pri protismerni obdelavi obstaja nevarnost loma, ko se rezkalno orodje loči od rebra. Lom je predstavljen na Sliki 8. Ko rezkalno orodje v protiteku vstopi v rebro, ni nevarnosti loma roba, saj na vogal delujejo tlačne napetosti.



Slika 8: Nevarnost loma pri protismerni obdelavi

Lomu robov se lahko v celoti izognemo z izbiro prave strategije rezkanja. Strategija rezkanja, ki preprečuje lom robov, je prikazana na Sliki 9. Rezkar se rebro približa tangencialno v srednjem območju, sledi protismerna obdelava. Razpoke robov se zgodijo med točkama 2 in 3 in ležijo v sivem območju dodatka. Ko orodje vstopi v

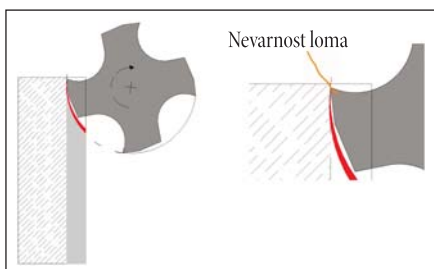


Slika 9: Strategija za protismerno obdelavo reber



rebro, odstrani razpokani rob in nastane absolutno oster vogal. Tako lahko izdelujemo rebra z absolutno ostrimi vogali.

Pri istosmerni obdelavi je nevarnost loma pri vstopu v rebro. *Slika 10* prikazuje natezne napetosti, ki delujejo na odprti rob in lahko povzročijo razpoke. Razpoke pri



Slika 10: Nevarnost loma pri istosmerni obdelavi

istosmerni obdelavi so minimalne. Razlog za to je v majhni debelini odrezka pri odmiku od obdelovanca, zaradi česar so sile na odprti rob zelo majhne.

Sklep

Za obdelavo grafitu so primerna izključno PKD-orodja in orodja z diamantnimi prevlekami, saj le taka orodja dosegajo visoko obstojnost. Bistveno daljša obstojnost orodja v primerjavi z drugimi orodji odtehta tudi višjo nabavno ceno. Po grobi obdelavi tankih reber ostane velik dodatek, ki se nato fino obdelava na končno mero. Fine predhodne obdelave niso potrebne. Izbor prave strategije protismernega rezkanja omogoča izdelavo absolutno ostrih robov. Pri istosmerni obdelavi so razpoke robov majhne ali pa do njih sploh ne pride. Z upoštevanjem vseh vidi-

kov obdelave z rezkanjem so pri uporabi grafitu v primerjavi z drugimi elektroodnimi materiali prihranki dosegljivi v višini od 30 do 70 %. ■

Literatura

- [1] R. Haas, F. Kirchmann: Graphit Elektrodenwerkstoff der Zukunft.
- [2] IPT Aachen
- [3] A. Kindler: Feinkorngraphite: moderne Werkstoffe und ihre technische Anwendung. Verlag moderne Industrie, 1995.

Prof. dr. Rüdiger Haas je vodja inštituta, *mag. Florian Kirchmann* pa namestnik vodje inštituta *University of Applied Sciences Karlsruhe, Institute of Manufacturing Technology and Production*. *mag. Marjan Dobovšek* je direktor podjetja *Vpenjalni sistemi, d. o. o.*, iz Ljubljane.