

SMERNICE ZA IZBIRO ELEKTRODNEGA MATERIALA ZA ELEKTROEROZIJSKO OBDELAVO

Davorin KRAMAR¹, Jože JEREB², Joško VALENTINČIČ¹ in Mihael JUNKAR¹
¹Laboratorij za alternativne tehnologije, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani,
²ISCAR Slovenija

POVZETEK

Elektroerozijska obdelava je pogosto uporabljen tehnološki postopek v orodjarstvu, kjer se izdeluje orodja z globokimi elementi in zapletenih oblik, največkrat v že toplotno obdelana orodna jekla. Na učinkovitost in ekonomsko upravičenost EDM postopka vpliva tudi izbira elektrodnega materiala; najpogosteje se uporablja elektrolitski baker in grafit. Pri izbiri elektrodnega materiala je potrebno upoštevati zahtevano hrapavost na orodju, izdelovalno obliko, razpoložljiv strojni park in tudi ekonomičnost. Učinkovitost visokohitrostnega frezanja (VHF), ki je najpogosteje uporabljen postopek izdelave elektrod, je odvisna od pravnega rezilnega orodja, stroja in izbranih obdelovalnih parametrov. Pričujoč članek skuša zajeti vse kriterije za izbiro elektrodnega materiala, ki nudi najučinkovitejšo pot do končnega izdelka.

Ključne besede: Elektrodni material, elektroerozijska obdelava (EDM), visokohitrostno frezanje (VHF), orodjarstvo, izdelava elektrod, baker, grafit

1 UVOD

Vse več gospodarskih sektorjev je sestavljenih iz malih podjetij, med katerimi ima orodjarstvo specifično vlogo. Orodjarstvo je izrazito projektna in unikatna dejavnost in zahteva veliko znanja in izkušenj. Zahteve po orodjih, ki podpirajo večino gospodarskih dejavnosti, so iz leta v leto večje. Večje potrebe so posledica dejstva, da se življenjska doba izdelkov skrajšuje, število variant izdelkov pa se povečuje.

Za preživetje podjetja je zelo pomembno, da poleg zagotavljanja kakovosti in funkcionalnosti izdelka, zagotovi tudi njegovo uporabnost, estetsko ter ekološko neoporečnost, poleg tega pa uvaja nove tehnologije, oziroma izboljšuje že obstoječe tehnologije. Uspešno uvajanje boljših tehnologij v veliki meri omogoča obstoj na vse bolj zahtevnem evropskem in svetovnem trgu, kjer vlada vedno večja konkurenca. Eno pomembnejših načel konkurenčnosti je proizvajati boljše, kvalitetnejše in cenejše izdelke. Zato je velikega pomena, da podjetje vlaga v izboljšave in razvoj novih tehnologij ter na ta način znižuje stroške proizvodnje.

Ko pripravljamo tehnologijo obdelave detajlov orodij, moramo preučiti kateri izdelovalni postopki so najprimernejši. V večini primerov imamo na voljo več primernih postopkov, vendar se pravilno odločimo šele ko temeljito preučimo konstrukcijske zahteve izdelka, učinkovitost in ekonomično upravičenost postopkov.

Za elektroerozijsko obdelavo (pogosto se uporablja angleška kratica EDM¹) se bomo odločili v primeru, ko bo določeno geometrijo težko ali nemogoče izdelati z drugimi postopki. Čeprav s postopki kot je VHF obdelujemo oblike, ki so tipične za elektroerozijo, ima le-ta še vedno svoje prednosti. Npr. pri obdelavi ozkih in globokih utorov je elektroerozija skoraj brez konkurence med obdelovalnimi postopki.

Četudi je izbira obdelovalnega postopka, za izdelavo ozkega utora očitna, je potrebno poskrbeti za čim bolj učinkovito obdelavo. Za produktivnost in ekonomičnost izdelave elektrode je pomembna izbira pravega elektrodnega materiala. Glede na dobre električne in toplotne lastnosti ter obdelovalnost se grafit vedno bolj uporablja kot elektrodni material. V določenih

¹ angl. Electrical discharge machining

primerih je baker je kot elektrodni material še vedno nenadomestljiv in predvsem v Evropi se še vedno veliko uporablja, v ZDA pa je 85 % elektrod narejenih iz grafita [1].

Namen članka je razširiti poznavanje prednosti grafita kot elektrodnega materiala za elektroerozijski postopek. Poleg teh dveh materialov naj informativno navedemo še sintran volfram in baker, ki se včasih uporablja predvsem tam, kjer je zahtevana majhna obraba. S takšnimi elektrodami je težko doseči majhno hrapavost površin. Ker se baker hitreje obrablja kot volfram se na površini elektrode pojavljajo kroglice volframa in površina elektrode je bolj hrapava. Uporaba samega volframa kot elektrodnega materiala je cenovno nesprejemljiva za običajno uporabo v orodjarstvu.

V članku primerjamo lastnosti grafita in bakra s stališča obdelovalnosti z VHF postopkom pri izdelavi elektrode in vpliv na elektroerozijski proces pri izdelavi orodja. Smernice za izbiro elektrodnega materiala za določeno aplikacijo podajamo z upoštevanjem ekonomskega vidika uporabe omenjenih elektrodnih materialov.

2 Elektroerozijski postopek obdelave

Pri vseh elektroerozijskih postopkih sta obdelovanec in orodje spojena z virom električne energije: predstavljata elektrodi med katerima teče proces razelektritev skozi dielektrik v katerega sta potopljena. Dielektrik je električno neprevoden in razelektritve v reži so posledica električnih impulzov, ki nastajajo v generatorju impulzov. Impulzi povzročajo porast električnega potenciala na elektrodi, kar vodi do preboja izolacijske plasti dielektrika v reži med elektrodo in obdelovancem. Preboj se zgodi na mestu, kjer je prevodnost reže največja. V tekočini, ki ionizira, se ustvari kanal plazme premera nekaj mikrometrov. Dovedena energija v času obstoja kanala plazme se pretvarja v toploto, ki prehaja iz kanala plazme v obe elektrodi in vpliva na količino raztaljenega in uparjenega materiala na elektrodah. Po prenehanju impulza, dovajanja energije, nastopi implozija plazemskega kanala in nataljen material zapusti obdelovanec ter zaplava v dielektriku v obliki drobnih delcev. Na površini nastane krater dimenzij nekaj 10 μm . Frekvence razelektritev od 500 Hz pri grobi do 100.000 Hz pri fini obdelavi zagotavljajo zadostno stopnjo odvzema, da je postopek praktično uporaben.

Med obdelavo se mora elektroda krmiljeno približevati, potapljati v obdelovanec. Velikost reže med obdelavo je določena z referenčno napetostjo, ki jo nastavljamo na stroju. Nastavljena vrednost se primerja z izmerjeno povprečno napetostjo v reži. Podajalni (servo) sistem za pomikanje elektrode zmanjša režo, če je izmerjena napetost večja od nastavljene, in obratno. Tako se velikost reže med obdelavo stalno prilagaja razmeram v reži s pomočjo hitrega premikanja elektrode. Zato je pomembna tudi masa elektrode, ki ne sme biti prevelika.

V reži ločimo štiri tipčne razelektritve: prosta, ki dejansko sploh ni razelektritev, ker napetost ne prebije izolacijske plasti dielektrika; delovna je najbolj zaželena, saj se pri njej ustvari plazemski oblok in te razelektritve se pojavljajo lokacijsko naključno v reži; pri obločnih se tudi pojavi plazemski kanal, vendar niso zaželeni, saj se pojavljajo na istem mestu v reži in povzročajo t.i. obžiganje; ter kratkostične, ki so posledica kratkega stika med elektrodo in obdelovancem in niso zaželeni, ker povzročajo veliko obrabo elektrode. Obločne in kratkostične razelektritve imenujemo kvarne razelektritve, ker kvarno vplivajo na elektroerozijski proces.

Razvila sta se predvsem dva elektroerozijska obdelovalna postopka: potopna elektroerozija in žična elektroerozija. S pomočjo potopne elektroerozije preslikamo obliko elektrode v obdelovanec. Če upoštevamo še karakteristike elektroerozijskega procesa, je ta postopek primeren za izdelavo zapletenih 3D oblik v trde in električno prevodne materiale [2,3]. Zato se

potopna elektroerozija uporablja predvsem v orodjarnah za izdelavo orodij za preoblikovanje, tlačno litje, brizganje itd. Postopek je uporaben tudi za izdelavo lukenj majhnih premerov in relativno velikih globin. Premer luknje je navzdol omejen s premerom elektrode, ki jo lahko izdelamo. Standardne elektrode okroglega preseka imajo premer $d \leq 0,2$ mm. Globina je omejena le s togostjo elektrode. Žična elektroerozija se uporablja za konturno rezanje. Relativni pomik žice (elektrode) napram obdelovancu je numerično krmiljen po trajektoriji, kot zahteva predpisana kontura izdelka. Na stroju, ki omogoča ločeno krmiljenje zgornjega in spodnjega vodila žice, je mogoče izdelati tudi t.i. 2,5D oblike, kot je npr. konična luknja. Tudi ta postopek se predvsem uporablja v orodjarstvu. Skupaj s potopno elektroerozijo pokrivata široko področje izdelave orodij. V tem članku bomo obravnavali le potopno elektroerozijo. Izbira in izdelava elektrode sta pomembna faktorja pri obdelavi s potopno elektroerozijo, kjer se s oblika elektrode preslika v obdelovanec. Pri proizvodnji orodij z elektroerozijo stroški elektrode v nekaterih primerih predstavljajo tudi več kot 50 % skupnih stroškov obdelave. Zato je potrebno pazljivo izbirati material elektrode, potrebno število elektrod in način izdelave. Teoretično bi lahko za elektrodo uporabili vsak električno prevoden material. Ob upoštevanju cene materiala sta se v praksi najbolj izkazala elektrolitski baker in grafit.

3 PRIMERJAVA ELEKTROLITSKEGA BAKRA IN GRAFITA

Elektrode morajo biti narejene iz materialov, ki dopuščajo natančno izdelavo. Običajno se za elektroerozijsko obdelavo zahteva izdelavo na stotinko milimetra natančno, zato morajo biti tudi elektrode narejene vsaj toliko natančno. Elektroadni material mora zagotavljati tudi visoko obrabno odpornost, pri čemer igra pomembno vlogo visoka temperatura tališča in dobro prevajanje toplote.

V glavnem se uporabljata dva elektrodna materiala: elektrolitski baker in grafit. Prvi je pridobljen po elektrolitskem postopku, zato je njegova čistoča večja od 99 %, slednji pa se loči predvsem po zrnatosti.

3.1 Fizikalne lastnosti

V praksi velja pravilo, da se za večje elektrode uporablja grafit, ker ima manjšo specifično gostoto in s tem tudi manjšo maso pri istem volumnu. Zavedati se moramo, da podajalni sistem med obdelavo stalno skrbi za primerno razdaljo med elektrodo in obdelovancem. Pri pomikanju elektrode so prisotni veliki pospeški, zato masa elektrode bistveno vpliva na obremenitev sistema vodenja in s tem na natančnost obdelave.

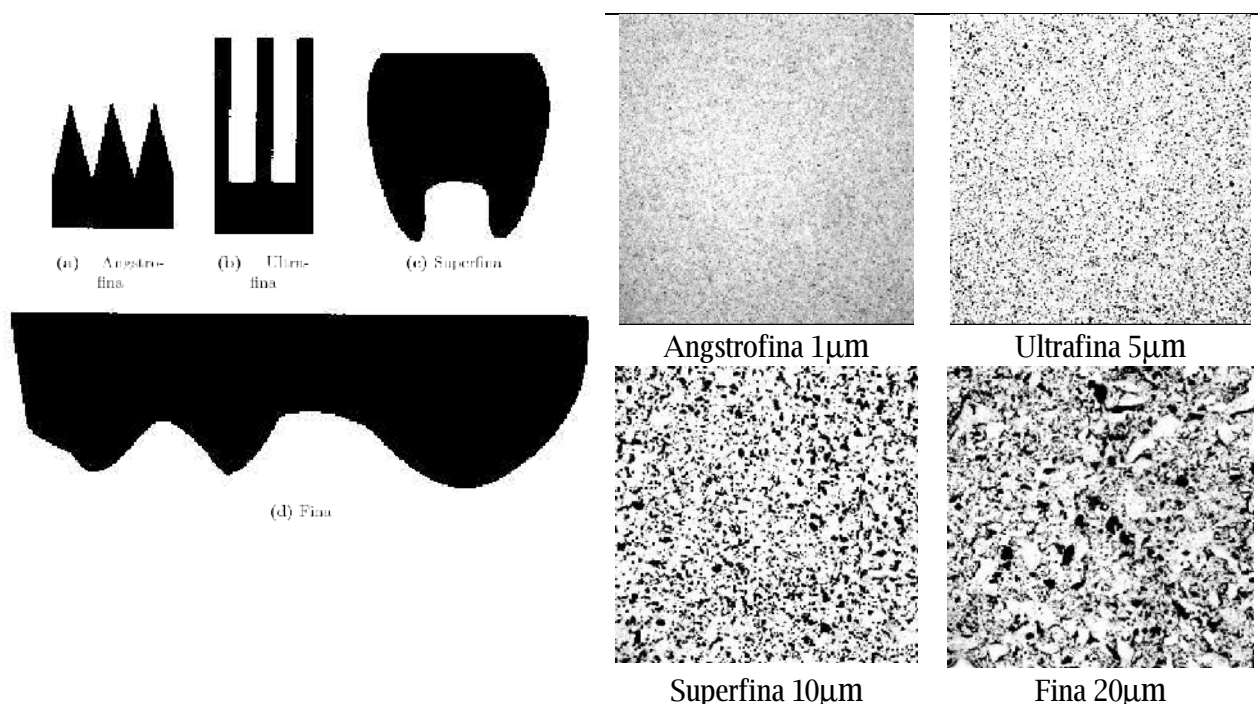
Če primerjamo fizikalne lastnosti bakra in grafita s tališča EDM ugotovimo, da ima grafit višje tališče kot baker, vendar ima baker boljšo toplotno prevodnost (*Tabela 1*). Grafit ima torej slabši odvod toplote z mesta razelektritve, zato je toplotno lokalno bolj obremenjen. Vendar prenese večje temperaturne obremenitve zaradi višjega tališča. Pri bakru je ravno obratno: lokalno je manj toplotno obremenjen zaradi boljše toplotne prevodnosti, vendar je bolj občutljiv na temperaturne obremenitve. Električna upornost je pomembna pri tankih in vitkih elektrodah, kot so tanka rebra. V teh primerih lahko pri uporabi velike električne moči za elektroerozijsko obdelavo pride do pregrevanja elektrod. To je še posebej problem pri mikro elektroeroziji [4].

Tabela 1: Primerjava fizikalnih lastnosti grafita in bakra

	Grafit	Baker
Gostota (g/cm ³)	1,6-1,9 g/cm ³	8,9 g/cm ³

Električna upornost ($\mu \Omega \cdot m$)	12-15 $\mu \Omega \cdot m$	0,02 $\mu \Omega \cdot m$
Tališče ($^{\circ} C$)	3470 $^{\circ} C$	1080 $^{\circ} C$
Toplotna prevodnost (W/mK)	<140 W/mK	400 W/mK
Toplotni raztezek ($mm \cdot 10^{-6}/K$)	3-4 $\cdot 10^{-6} mm/K$	16,5 $\cdot 10^{-6} mm/K$

Večja čistoča bakra pomeni boljše lastnosti bakrenih elektrod. Pri grafitnih elektrodah je situacija bolj zapletena. Grafiti se medsebojno ločijo po zrnatosti in seveda po proizvajalcu. Za grafit je pomembno, da je čimbolj homogen, t.j. da so zrnca grafita in pore med zrnca enakih velikosti ter enakomerno porazdeljeni po celotnem volumnu grafita. Zahtevana oblika in točnost elektrode določa izbiro zrnatosti grafita, kar je razvidno iz slike 1.



Slika 1: Različne zrnatosti grafita se uporabljajo za različne oblike oz. zapletenosti elektrod

Fizikalne lastnosti, ki so povezane z uporabo grafita za elektrodni material, so sledeče:

- **Izotropija:** vpliva na mehanske lastnosti grafita. Pri idealni izotropiji bi bile mehanske in električne lastnosti grafita v vseh smereh enake.
- **Upogibna in tlačna trdnost** (kg/cm^2) se spreminja z velikostjo zrn. Manjša kot so zrna, trdnjše so vezi med njimi in večja je trdnost.
- **Trdota** je pomembna zaradi obdelave elektrode. Zelo trd grafit je tudi zelo krhek, kar pa predstavlja težavo pri frezanju grafita. Težko ga je obdelati, ne da bi se odkrušil. Trdota vpliva tudi na obrabo rezalnega orodja. Pri tršem grafitu so manjši pomiki in to poveča obrabo orodja. Na sam proces erodiranja trdota ne vpliva.

3.2 Kvaliteta obdelave površine

Fino končno obdelavo dosežemo s kombinacijo pravega materiala elektrode, dobrim izpiranjem in pravilnimi parametri erodiranja. Z visoko frekvenco, nizkim tokom in kroženjem dielektrika

dosežemo neizrazite kraterje in s tem fino površino. Končna obdelana površina bo zrcalna slika površine elektrode. Za fino obdelavo uporabljamo zelo žilave grafit. To so vrste grafitov z najfinejšo zrnatostjo, ki omogočajo izdelavo dobre kvalitete površine. Za doseganje dobre kvalitete erodirane površine vedno uporabimo vsaj dve elektrodi neodvisno od elektrodnega materiala. Elektroerozijski stroj z računalniško optimizacijo procesa upošteva karakteristike obeh elektrod in z regulacijo parametrov doseže podano hrapavost površine.

Baker omogoča najfinejše površine, saj je baker mogoče uspešno polirati in doseči hrapavost $Ra < 0,4\mu$.

3.3 Obdelovalnost

Večina elektrod (bakrenih ali grafitnih) je izdelano s CNC frezanjem. S tem postopkom se namreč natančno izdeluje zapletene 3D oblike.

Zaradi polikristalne strukture **grafita** se pri frezanju ne pojavi klasičen odrezek, ampak se grafit drobi v prah. Pri frezanju tankih presekov obstaja velika nevarnost zloma grafita, saj je le-ta krhek. Pri frezanju krhkega grafita so kritični predvsem vstopi in izstopi frezala iz in v material. Da se izognemo krušenju grafita moramo pri programiranju upoštevati pravila protismernega oz. istosmernega frezanja. Za obdelavo grafita se uporabljajo namenska frezala, ki so prevlečena z diamantno prevleko. Pri postopku nanašanja diamantnega prahu na frezalo je pomembno, da osnovni material (trda kovina) vsebuje manj kot 7 % kobalta (Co). Geometrija rezkarjev za obdelavo grafita je temu prilagojena. Uporablja se enaka geometrija orodij kot za obdelavo aluminija. To pomeni velik cepilni kot in oster rezilni rob. Življenjska doba orodja glede na količino odvzetega materiala je daljša pri velikih rezalnih hitrostih in velikih pomikih. Zaradi velikih rezalnih hitrosti (pri fini obdelavi frezamo z rezalno hitrostjo $V_c = 600$ m/min) mora imeti stroj visoko-hitrostno vreteno in omogočati velike pomike. Za obdelovalni stroj je frezanje grafita zelo obremenjujoča aplikacija. Pri visokih vrtiljajih vretena, hitrih pomikih in velikih pospeških je potrebno dosegati visoko natančnost oblik in kvalitete površin. Stroj mora biti tudi dobro zaščiten pred abrazivnim grafitnim prahom in mora imeti učinkovit sistem za odstranjevanje prahu. Namenski visokohitrostni obdelovalni centri za obdelavo grafita niso primerni za obdelavo bakra. Ti stroji so opremljeni z aerostatičnimi vreteni, ki imajo majhno moč (3HP), premajhen moment in so občutljivi na sunkovite obremenitve.

Baker je material, ki se obdeluje veliko težje kot grafit. Uporablja se relativno nizke rezalne hitrosti, majhne pomike in hladilno - mazalno sredstvo. Pri odrezavanju se lepi na rezilno orodje in ustvarja tako imenovani nalepek. Posledice so različne. Zaradi slabega odvoda materiala se lahko odrezki nagnetejo v spiralah rezkarja kar privede do loma orodja. Obdelana površina je hrapava in kosmata, poleg tega trganje in nastajanje nalepka poškoduje cepilno ploskev orodja. Na robovih obdelanih ploskev se pojavljajo zavihki, ki jih je potrebno ročno odstraniti. Da te probleme ublažimo, se za obdelavo bakra uporablja neprevlečena, polirana in ostra rezilna orodja iz trdih kovin mikro-zrnatosti. S polirano cepilno ploskvijo in ostrim rezalnim robom zmanjšamo pojav zavihkov in zagotovimo odvod materiala ter s tem nastajanje nalepka. Z dodatkom telurja (2%) bakru močno izboljšamo obdelovalnost, njegove lastnosti pri EDM obdelavi pa se bistveno ne spremenijo.

4 SMERNICE ZA IZBIRO ELEKTRODNEGA MATERIALA

Grafit se obdeluje približno trikrat hitreje kot baker [5]. Na voljo je v različnih zrnatostih. Zrnatosti pogojuje žilavost, obdelovalnost in kvaliteto površine elektrode ter stopnjo odvzema materiala pri elektroerozijski obdelavi. Glede na zahteve izbiramo med različnimi zrnatostmi. Grafit je mogoče kupiti v velikih blokih ali v predhodno dogovorjenih velikostih. Grafit se zelo

enostavno obdeluje s frezanjem, struženjem, brušenjem, omogoča tudi izdelavo navojev. Pri grafitu se ne pojavljajo zavihki in zato elektrode ni potrebno ročno kakorkoli obdelovati. Možno ga je (za razliko od bakra) zelo natančno obdelovati tudi z laserjem.

4.1 Prednosti bakra

Baker je mogoče rezati z žično elektroerozijo medtem ko je le nekaj vrst grafita, ki ima to sposobnost [6]. Zrnatost grafita za obdelavo na žični eroziji mora biti manjša od 5 mikronov. Baker je manj zahteven za elektroerozijo, saj pri slabšem izpiranju ne povzroča kvarnih razelektritev. Kvarne razelektritve, ki so posledica slabšega izpiranja se pojavijo predvsem v konkavnih oblikah. Tu se nabirajo plinski mehurčki in zrna odvezetega materiala; v takih razmerah se grafit slabše obnese.

4.2 Omejitve pri bakru

Baker se težko obdeluje, ker se lepi na rezilno orodje. Pri brušenju se hitro segreje in se oprijema brusnega kolesa. Ne glede na to kako ga obdelujemo se pojavijo zavihki. Pomembna lastnost je tudi teža. Baker je približno petkrat težji kot grafit. Pri odločanju o elektrodnem materialu moramo upoštevati tudi opremo, ki jo imamo na voljo.

Frezanje tankih in dolgih oblik iz bakra je problematično. Baker je relativno mehak, še posebno pri povišani temperaturi, ki je posledica rezalne sile. Pri izdelavi vitkih oblik je prisoten problem sproščanja notranjih napetosti. Bolj kot je oblika vitka večja je možnost deformacije materiala kot posledica sproščanja notranjih napetosti. Iz izkustev je mejno razmerje višine elektrode (H) in površine elektrode (A) pri katerem se pojavijo deformacije ocenjeno na 15.

Za izdelavo reber se kot elektrodni material večinoma uporablja grafit. Pri izdelavi takšnih oblik z EDM je obraba grafitne elektrode manjša kot je v primeru bakrene elektrode.

4.3 Kriteriji izbire

V Tabeli 2 so povzete smernice za izbiro elektrodnega materiala. Tabela je namenjena vsem, ki morajo izbrati elektrodni material.

Tabela 2: Smernice za izbiro elektrodnega materiala

	KARAKTERISTIKA	KOMENTAR	BAKER	GRAFIT
Izdelovalna oblika	Velikost elektrode	-gostota: -obremenitve EDM stroja	$A < 10000 \text{ mm}^2$ [7]	$A > 10000 \text{ mm}^2$ [7]
	Oblika elektrode: višina(H)/površina(A)	- izdelava elektrode	$H/A > 15$	$H/A < 15$
	Točnost oblike	- fina obdelava - obraba elektrode	- ujemi H7-h6 - $Ra < 0,8 \mu\text{m}$ - toleranca oblike površine $< 7 \mu\text{m}$	izpadanje zrn, večja obraba
	Zahtevnost izpiranja reže	- odvajanje odvezetega materiala iz reže	- konveksne in konkavne oblike	- konveksne oblike
	Kvaliteta obdelane površine	- EDM delovni parametri	$Ra < 1,1 \mu\text{m}$ [8] VDI < 20	$Ra > 1,1 \mu\text{m}$ [8] VDI > 20

		- Ra elektrode		
Stroški obdelave	Obdelovalnost	VH frezanje: -čas obdelave	$t_{Cu} = 2 \div 3 \times t_{grafit} [8]$	
		žična erozija	da	zrnatost < 5 μ m
	Čas erodiranja	-stopnja odvzema materiala -čas obdelave	$t_{Cu} = (1,4 \div 2) \times t_{grafit} [8]$	
		Strošek materiala	- zrnatost grafita	zrnatost < 5 μ m
Strojni park	Razpoložljivost strojev	elektroerozijski stroji	konvencionalni EDM stroji	stroji z računalniško podprto optimizacijo procesa
		frezalni stroji: - namenski frezalni stroj (sesanje)	$n < 10000 \text{ min}^{-1}$ $V_f < 5000 \text{ mm/min}$ [8]	$n > 20000 \text{ min}^{-1}$ $V_f > 5000 \text{ mm/min}$ [8]

4 ZAKLJUČEK

Vse vrste elektroerozijskih obdelav je mogoče izvesti z obema elektrodnama materialoma, bakrom in grafitom. Razlike so predvsem pri izdelavi elektrod in pri sami elektroerozijski obdelavi. Končni rezultat je sicer enak, vendar je cena končnega izdelka različna, zato jo je potrebno upoštevati.

Glede na dobre električne in toplotne lastnosti ter obdelovalnost je grafit vedno bolj uporabljen elektrodni material. V Evropi je uporaba grafita in bakra približno enaka, medtem ko je v ZDA 85% elektrod narejenih iz grafita.

Zaradi dobre obdelovalnosti je izdelava grafitne elektrode na ustreznih rezkalnih strojih približno 3 krat hitrejša od obdelave bakra in ne potrebuje nikakršne dodatne obdelave. Enostavno se obdelajo tudi zelo majhni detajli. Zaradi manjše gostote je grafit primeren za večje elektrode, ker s tem razbremenimo servo sistem, ki skrbi za pomikanje elektrode na EDM strojih. Glede na različne zahteve obdelovanca lahko izbiramo med široko paleto grafitov, ki nam glede na zrnatost nudijo različne končne rezultate obdelave.

Grafit nam nudi obilo prednosti, ki pa jih lahko izkoristimo le s primernim strojnim parkom. Za učinkovito obdelavo grafitnih elektrod potrebujemo moderen namenski stroj, ki je ustrezno zaščiten proti prahu, opremljen s sesalnim sistemom, ter ob visokih vrtljajih in pomikih zagotavlja natančnost in stabilnost. Enako velja za EDM stroje, ki morajo biti ustrezno opremljeni, če želimo izkoristiti hitre odvzeme pri grobi obdelavi in majhno obrabo finih elektrod. Novejši stroji spremljajo proces in ga s prilagoditvijo parametrov optimizirajo. Tako nam zagotavljajo optimalne rezultate glede na izbrane pogoje brez stalnega nadzora operaterja.

Cenovni razpon grafitov glede na zrnatost je zelo velik. Glede na to, da je uporaba grafita na EDM področju še vedno v razvoju in kjer se pojavljajo nove kvalitete, se tudi tržne cene grafita spreminjajo. Z nižanjem cen so tudi boljši grafiti vedno bolj dostopni in ekonomsko upravičeni. Grafiti, ki se največ uporabljajo so v nižjem cenovnem razredu. Po klasifikaciji so to grafiti pri katerih je povprečna velikost zrn nad 5 μ m . Za obdelovance kjer se zahteva visoka natančnost in dobra kvaliteta površine se uporablja baker. Za doseg enakih rezultatov z grafitno elektrodo bi morali uporabiti zelo fino zrnati grafit, cenovno pa takšne kvalitete grafitov še vedno niso sprejemljive.

Zelo težko je oceniti kateri elektrodni material je najboljši. To je odvisno od določenega primera obdelovanca in predvsem od razpoložljivega strojnega parka in ostale opreme v proizvodni enoti. Potrebno se je zavedati, da se tehnologija obdelave materialov, oprema in uporaba le te spreminja in napreduje iz dneva v dan. Podjetja, ki hočejo biti uspešna oziroma želijo preživeti na trgu, morajo iti v korak z razvojem in včasih opustiti starejše metode, ki so jim vrsto let uspešno služile, ter vpeljati nove tehnologije. Investicije v novo opremo so velike, vendar iz vsakodnevnih primerov vidimo, da je to edina možnost do uspeha.

Literatura:

- [1] E.B. Guitrau, The EDM handbook, Hanser Gardner Publications,1997.
- [2] Fukuzawa,Y. and Katougi,H. and Mohri,N. and Furutani,K. and Tani,T., Machining Properties of Insulating Ceramics with an Electric Discharge Machine -- Machining of the Oxide Ceramics, Proceedings of the 12th International Symposium for Electromachining (ISEM 12), Aachen, Germany, 1998, str. 445--453.
- [3] Masuzawa, T. and Takawashi, T., Recend trends in EDM/ECM technologies in Japan, Proceedings of the 12th International Symposium for Electromachining (ISEM 12), Aachen, Germany, 1998, str. 1-15.
- [4] S. Bigot, J. Valentinčič, O. Blatnik, M. Junkar: Micro EDM parameters optimisation, 4M2006 Conference on Multi-Material Micro Manufacture,, Grenoble, Francija, 20-22 september 2006.
- [5] Sherry L. Baranek: Feature article - Using Copper and Graphite Electrodes: Look at the Big Picture, <http://www.moldmakingtechnology.com/articles/010203.html>, Julij 2006.
- [6] Mal Sudhakar: Feature article - High-Speed Machining In Mold Manufacturing by Mal Sudhakar,
- [7] M. Dobovšek: Načrtovanje tehnologije za elektroerozijsko obdelavo z računalnikom, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1987
- [8] Poco Graphite: graphite guidance booklet, poco graphite inc., 2002