



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTI DO SESTAVY VSTŘIKOVACÍ FORMY

PRODUCTION OF PARTS INTO THE INJECTION MOLD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Edmund PILARČÍK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Milan KALIVODA

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Edmund Pilarčík

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba součásti do sestavy vstřikovací formy

v anglickém jazyce:

Production of Parts into the Injection Mold

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod.
2. Konstrukčně-technologický rozbor součásti.
3. Návrh technologického postupu v podmínkách firmy.
4. Řídicí NC program pro CNC stroj.
5. Technicko-ekonomické posouzení.
6. Diskuze.
7. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Řešení problematiky v daných podmínkách firmy. Využití CNC techniky pro výrobu.

Seznam odborné literatury:

1. PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.
3. FREIBAUER, M., H. VLÁČILOVÁ a M. VILÍMKOVÁ. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 2. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2010. 326 s. ISBN 978-80-251-2504-5.
4. PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
5. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
6. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 28.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tento projekt spracováva technológiu výroby súčasti do zostavy vstrekovacej formy v daných podmienkach spoločnosti ROTEK s.r.o. so zameraním na využitie elektroerozívneho obrábania. Projekt pozostáva z konštrukčne-technologického rozboru súčasti, návrhu technologického postupu vhodného pre podmienky firmy, simulácie časti výrobného procesu a technologicko-ekonomického posúdenia jednotlivých možností riešenia výroby vo firme.

Kľúčové slová

Elektroerozívne obrábanie, elektroerozívne hĺbenie, elektróda, iskrová medzera, korekcia elektródy, vstrekovacia forma.

ABSTRACT

This project processes technology of production of parts into the injection mold in given conditions of ROTEK s.r.o. company, focusing on exploitation of electric discharge machining. The project consists of constructive – technological analysis of part, proposal of technological procedure suitable for possibilities of the company, simulation of certain manufacturing processes and technological-economic assessment of satisfactory solutions of manufacturing process in company.

Key words

Electric discharge machining, electric discharge excavating, electrode, gap, correction of electrode, injection mold

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PILARČÍK, Edmund. *Výroba součástí do sestavy vstřikovací formy*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 38 s. 6 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

Vyhlásenie

Vyhlasujem, že som bakalársku prácu na tému **Výroba součástí do sestavy vstřikovací formy** vypracoval(a) samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených na zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

27.05.2014

Dátum

Edmund Pilarčík

POĎAKOVANIE

Ďakujem Ing. Milanovi Kalivodovi za cenné pripomienky a odborné rady pri tvorbe tejto práce. Taktiež chcem poďakovať firme ROTEK s.r.o. za umožnenie spolupráce a poskytnutie materiálov a podkladov. Ďakujem konštruktérovi – projektantovi pánovi Jurajovi Tomkuliakovi za konzultácie pri tvorbe tejto práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
VYHLÁSENIE	6
POĎAKOVANIE	7
OBSAH.....	8
ÚVOD.....	9
1 KONŠTRUKČNE-TECHNOLOGICKÝ ROZBOR SÚČASTI	10
1.1 Voľba polotovaru.....	10
1.2 Výrobné podmienky.....	10
1.3 Materiál	10
1.4 Technologickosť konštrukcie súčasti.....	11
2 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU V PODMIENKACH FIRMY.....	13
2.1 Voľba polotovaru.....	13
2.1.1 Výpočet spotreby materiálu.....	13
2.2 Voľba strojov	13
2.3 Výrobný postup.....	14
2.4 Technológia elektroerozívneho obrábania.....	15
2.4.1 Fyzikálny princíp EDM.....	16
2.5 Popis elektroerozívnych hĺbičiek rady ROBOFORM.....	19
2.6 Voľba dielektrika.....	21
2.7 Voľba materiálu elektródy.....	21
2.8 Konštrukcia elektród.....	21
3 RIADIACI NC PROGRAM PRE CNC STROJ.....	23
3.1 Popis riadiacej skrine	23
3.2 Riadiaci panel a klávesnica.....	24
3.3 Syntax programovacieho jazyka PROFORM.....	25
3.4 Demonštrácia NC programu pre hĺbičku a popis základných príkazov	27
3.5 Nastavenie výkonu generátora.....	29
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ POSÚDENIE.....	30
4.1 Celkový čas výroby pre operáciu hĺbenie	30
4.2 Príkon strojov.....	31
4.3 Spotreba elektrickej energie.....	31
5 DISKUSIA.....	33
ZÁVER	34
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	35
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	36
ZOZNAM PRÍLOH.....	38

ÚVOD [8]

Spoločnosť ROTEK s.r.o. sa zameriava na výrobu lisovacích foriem, strihacích a ohýbacích nástrojov, montážnych a zváracích prípravkov, taktiež sa venuje malosériovej výrobe strojárskych dielov podľa požiadaviek zákazníka.

Pracovný proces od prijatia objednávky až po expedíciu výrobku sa uskutočňuje spracovaním v CAD/CAM programoch. Konkrétne sa využívajú programy Siemens NX 8, Unigraphics, SolidWorks, SolidEdge, Surfcam Velocity a AutoCad.

Výroba využíva moderné CNC obrábacie centrá, rovnako ako aj konvenčné stroje ako frézky, sústruhy, brúsky, nožnice na plech, ohýbačky. Povrchové a tepelné úpravy zabezpečujú zmluvní partneri firmy.

Po zhotovení výrobku nasleduje výstupná kontrola, ktorá je vykonávaná na 3D meradle Micro XCEL Brown and Sharpe, 2D meradle Mitutoyo LH600 a profilprojektore Mitutoyo PJ300.

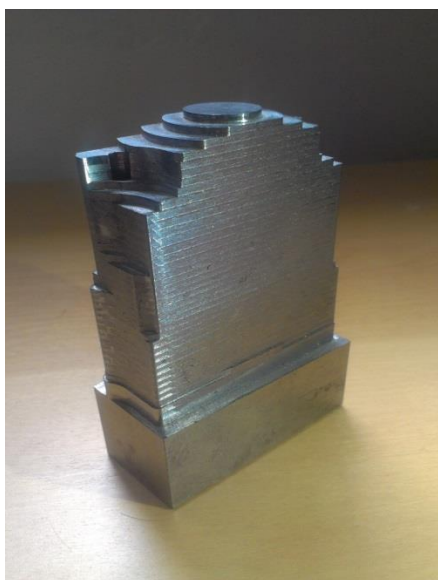


Obr. 1 Ukážka výrobkov firmy ROTEK s.r.o. [8]

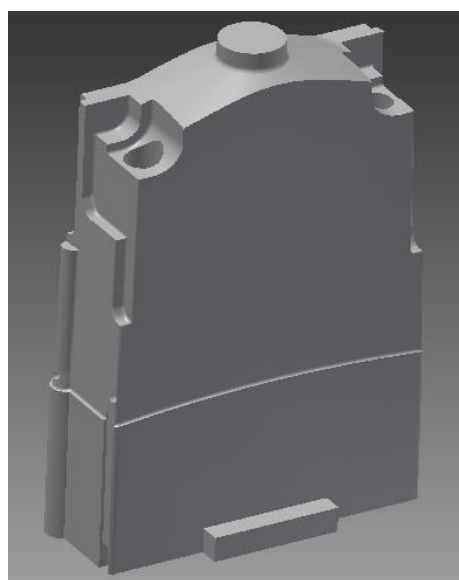
1. KONŠTRUKČNE-TECHNOLOGICKÝ ROZBOR SÚČASTI

1.1 Popis vyrábanej súčasti

Vyrábanou súčasťou je pomerne tvarovo zložitá súčasť do zostavy vstrekovacej formy o rozmeroch 26x56x97 mm. Na súčasti sa nachádzajú 2 otvory cez celú súčasť na prevlečenie drôtu pre následné rezanie na požadovaný rozmer. Na spodnej strane súčasti sa nachádza vyfrézovaná drážka pre chladenie. Vonkajšie tvary sú frézované s prídavkom na kalenie, po zakalení je obvodový tvar rezaný a následne opäť frézovaný do finálnej podoby. Nakoniec sa dohlbia ostré hrany. Súčasť bude vyrobená z ocele triedy 19 520. Jedná sa o zákazkovú kusovú výrobu.



Obr. 1.1 Súčasť po ukončení hrubovania



Obr. 1.2. Model hotovej súčasti

1.2 Výrobné podmienky

Pri výrobe súčasti bude využitý súčasný strojový park firmy a to konkrétne píla AUTOMAT 370A, frézka FNGJ 32, rezačka AGIE HSS-150 FAN, hĺbička Roboform 4000 alebo ROBOFORM 20 a NC frézka MASS 500 QUICK.

1.3 Materiál [7]

Oceľ triedy 19520 je chróm-mangán-molybdénová nástrojová oceľ pre výrobu foriem. Oceľ je vhodná na kalenie na vzduchu s dobrou prekaliteľnosťou a pevnosťou za tepla. Je dobre tvárna za tepla a dobre obrábateľná v stave žíhanom na mätko.

Táto trieda ocele sa uplatňuje najmä pre výrobu nástrojov pre tvárenie za tepla, ako sú medzivložky a tepelne namáhané pomocné nástroje.

Chemické zloženie ocele triedy 19520 je uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Chemické zloženie ocele 19520 [7]

Zn. oceli	Chemické zloženie v %							Tvrdosť pri žíhaní na mätko	Tvrdosť v stave zušľachtenom
	C	Mn	Si	Cr	Mo	P max.	S max	HB max.	HRC max.
ČSN 19 520	0,35-0,45	1,20-1,60	0,50-0,90	1,70-2,20	0,20-0,40	0,03	0,03	240	49

V priebehu výrobného procesu bude materiál kalený a popúšťaný. Kalenie oceli triedy 19 520 prebieha pri teplotách 840 až 870 °C s následným ochladením v oleji alebo na vzduchu pri 180 až 220°C. Popúšťanie prebieha pri teplotách 500 až 650°C a ochladzuje sa na vzduchu. Popúšťacie hodnoty v závislosti na tvrdosti sú znázornené v tabuľke č. 2.

Tabuľka 2 popúšťacie hodnoty ocele 19 520 [7]

°C	100	200	300	400	500	600	700
HRC	51	50	48	46	42	36	28
N/mm ²	1730	1670	1570	1480	1330	1140	920

1.4 Technologickosť konštrukcie súčasti

Súčasť je pomerne zložitej konštrukcie. Pre zaistenie funkcie sú na funkčných plochách predpísané požadované uloženie, rozmerové a geometrické tolerancie a štruktúra povrchu.

- Najnižšia požadovaná drsnosť je Ra 0,4, preto bude súčasť na týchto plochách leštená. Pre zvyšné plochy je požadovaná drsnosť Ra 1,6, preto je potrebné tieto plochy brúsiť.
- Predpísané rozmerové tolerancie základných rozmerov, dĺžkové a uhlové rozmery budú tolerované podľa DIN ISO 2768-m (Príloha 4).
- Tolerancia uloženia pre funkčnú časť súčasti je h6 - šmykové uloženie pre ľahko sa po sebe posúvajúce súčasti.
- Tolerancia dier rezaných drôtom je H7. Pre frézovanú drážku nie je nevyhnutné predpisovať ďalšie tolerancie, keďže jej jediným cieľom je chladenie.

Ukazovatele technologickosti:

Ukazovateľ priemernej presnosti:

$$Up = \frac{\sum_{i=1}^n Pi \cdot ni}{n} \quad (1.1)$$

Kde:

P_i... IT číslo danej operácie (H5=5)

n_i... početnosť výskytu danej tolerancie

n... početnosť výskytu všetkých uvažovaných tolerancií

$$Up = \frac{(7.2)+(6.1)}{3} = 6,6$$

Ukazovateľ využitia materiálu

$$Um = \frac{G1}{G2}$$

Kde:

(1.2)

$G_1 \dots$ hmotnost výrobku $[kg]$

$G_2 \dots$ hmotnost polotovaru $[kg]$

$$Um = \frac{0,487}{1,413} = 0,344$$

2. NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU V PODMIENKACH FIRMY

2.1 Voľba polotovaru

Ako polotovar bol zvolený obdĺžnikový hranol z ocele triedy 19520. Polotovar bude odpílený z tyče 30x60 mm na píle AUTOMAT 370 A. Dĺžka polotovaru bude 100 mm vrátane prídavku 0,6mm na kalenie a brúsenie. Hmotnosť súčasti je 0,485 kg a hmotnosť polotovaru 1,413 kg.

2.1.1 Výpočet spotreby materiálu

Celkové straty materiálu

$$Zm = Qp - Qs[kg] \quad (2.1)$$

Kde:

Q_p ... hmotnosť polotovaru [kg]

Q_s ... hmotnosť súčasti [kg]

$$Zm = 1,413 - 0,485 = 0,928[kg]$$

Norma spotreby materiálu [kg]

$$Nm = Qs + Zm[kg] = Qp = 1,413[kg] \quad (2.2)$$

Stupeň využitia materiálu

$$km = \frac{Qs}{Nm} = \frac{0,485}{1,413} = 0,343 \quad (2.3)$$

Stupeň využitia materiálu je príliš vzdialený od $k_m=1$, takže odobraté množstvo materiálu bude vysoké a obrábanie tejto súčasti si vyžiada veľkú spotrebu pracovného času. Straty vzniknuté pri delení polotovaru sa neuvažujú, keďže sa jedná o kusovú výrobu.

2.2 Voľba strojov

Pre výrobu súčasti sa využije existujúci strojový park firmy:

- Píla AUTOMAT 370A
- Frézka FNGJ 32
- NC frézka MASS 500 QUICK.
- Rezačka Fanuc ROBOCUT
- Hĺbička ROBOFORM 20

V strojovom parku firmy sa nachádza taktiež hĺbička ROBOFORM 4000. V kapitole Technicko-ekonomické posúdenie bude rozobrané, ktoré z uvedených strojov sú najvhodnejšie pre výrobu danej súčasti.

2.3 Výrobný postup

Táto kapitola obsahuje informatívny technologický postup, v ktorom sú popísané operácie výroby súčasti.

Výrobný postup je uvedený v tabuľke 3

Tabuľka 3 Informatívny technologický postup

VUT FSI ÚST BRNO		VÝROBNÝ POSTUP		Názov súčasti: PRÍRUBA
Dňa: 5.3.2014		Vyhotovil: E.Pilarčík		Kontroloval: Polotovár: □ 30x60x100
Číslo op.	Názov, označenie stroja:	Dielňa:	Popis práce v operácii:	
Orientačné				
1.1	Píla AUTOMAT 370A	Obrobňa	Odpíliť materiál na □ 30x60x100	
02/02		Obrobňa	Zuhlovať polotovár s prídavkom 0,6 mm na kalenie a brúsenie	
03/03	Frézka FNGJ 32	Obrobňa	Vrtať otvor Ø6H7 na Ø3 pre prevlečenie drôtu 2X	
04/04	Frézka FNGJ 33	Obrobňa	Frézovať drážku pre chladenie do hĺbky 84,89	
05/05	NC frézka MASS 500 QUICK	Obrobňa	Frézovať tvary s prídavkom 0,4 mm na kalenie	
06/06		Obrobňa	Kaliť na 56HRC	
07/07	Rezačka Fanuc ROBOCUT	Obrobňa	Rezať tvar obvodu a 2X Ø6H	
07/08	NC frézka MASS 500 QUICK	Obrobňa	Frézovať tvar na hotovo	

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List 15
---------	------------------	---------

VUT FSI ÚST BRNO		VÝROBNÝ POSTUP		Názov súčasti: PRÍRUBA
Dňa: 5.3.2014	Vyhotovil: E.Pilarčík	Kontroloval:	Polotovár: □ 30x60x100	
Číslo op.	Názov, označenie stroja:	Dielňa:	Popis práce v operácii:	
Orientačné				
09/09	Hĺbička ROBOFORM 20	Obrobňa	Hĺbiť $\varnothing 1,51$ mm a $\varnothing 2,20$ mm do hĺbky 3 mm dohĺbiť ostré hrany	
09/10		Obrobňa	Odihliť tvarové časti a drážky	

2.4 Technológia elektroerozívneho obrábania [1,9,11]

Erozívne účinky elektrických výbojov boli po prvýkrát objavené v roku 1770 anglickým vedcom Priestleym, ale princíp elektroerozívneho obrábania bol popísaný až v roku 1943 ruským inžinierom N. I. Lazarenkom.

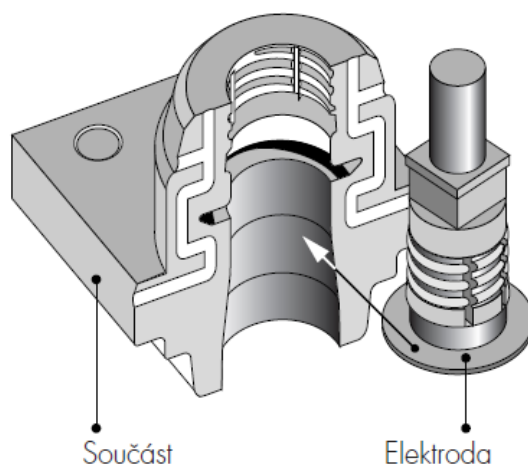
Princípom tejto metódy je odoberanie materiálu prostredníctvom elektrických výbojov, ku ktorým dochádza medzi dvoma prúdovými vodičmi ponorenými v kvapaline (dielektriku). Označenie pre elektroeróziu, EDM, pochádza z anglického Electrical Discharge Machining (voľne preložené ako obrábanie elektrickým výbojom).

Technológia elektroerozívneho obrábania je vhodná pre obrábanie tvrdých kovov a legovaných ocelí, ktoré kladú konvenčnému trieskovému obrábaniu vysoký odpor. Táto skutočnosť umožňuje vyrábať rôzne nástroje a matrice zo zakalenej oceli alebo tvrdokovu a tiež z húževnatých materiálov, ktoré sa používajú v letectve (hastalloy, nitralloy, udiment). Táto technológia tiež umožňuje verné vytvorenie tvaru do formy, keďže elektroerozívne obrábanie si nevyžaduje žiadny iný relatívny pohyb ako zájdenie nástroja (elektrody) do obrobku, čiže týmto spôsobom je možné vyrobiť ľubovoľný tvar, pokiaľ teda nie je kónicky uzavretý na hornej strane a dovoľuje pohyb elektródy späť od obrábanej plochy. Elektroerozívne obrábanie sa tiež využíva pri výrobe veľmi jemných tvarových prvkov na výrobku, pretože nijako mechanicky nezaťažuje obrobok.

Elektroerozívne obrábanie sa delí na dve hlavné skupiny:

- Hĺbenie

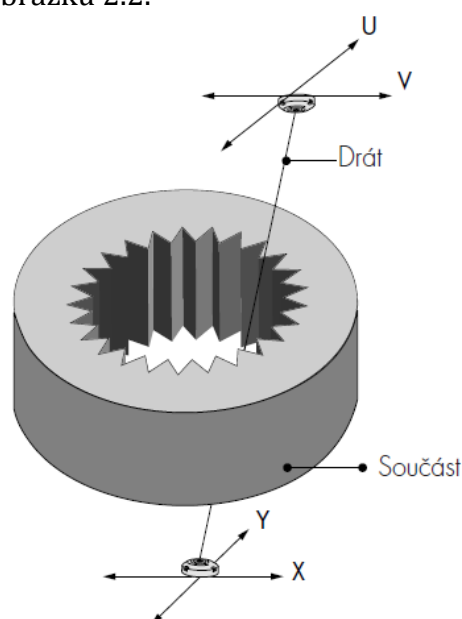
Vhodné na výrobu foriem špeciálnych tvarov a dutín. Hĺbenie je zobrazené na obrázku 2.1.



Obr. 2.1 Hĺbenie [11]

- Rezanie drôtom

Vhodné pre výrobu foriem, lisovníkov, prietlačníc a iných zložitých vnútorných profilov. Tieto sa získavajú pomocou drôtu alebo elektódy malého priemeru. Rezanie drôtom je znázornené na obrázku 2.2.



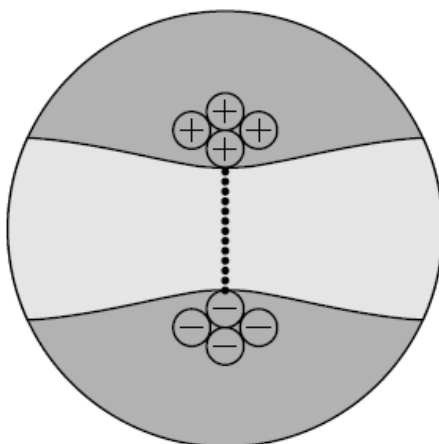
Obr. 2.2 Rezanie drôtom [11]

2.4.1 Fyzikálny princíp elektroerozívneho obrábania [9,11]

Medzi dvoma elektródami (nástroj a obrobok) v dielektrickej kvapaline (pracovná kvapalina o určitej požadovanej vodivosti) prebieha preskok elektrického výboja. Aby v oblasti medzi elektródami preskočila iskra je nutné, aby bolo prekročené zapal'ovacie napätie uvedené v iskrovej medzere (gap). Toto závisí od vzdialenosti elektródy od obrobku, izolačnej schopnosti dielektrika a znečistenia dielektrika v oblasti iskrovej medzery.

K iskrovému výboju vedie niekoľko procesov, ktoré sa odohrávajú v mieste najsilnejšieho elektrického poľa.

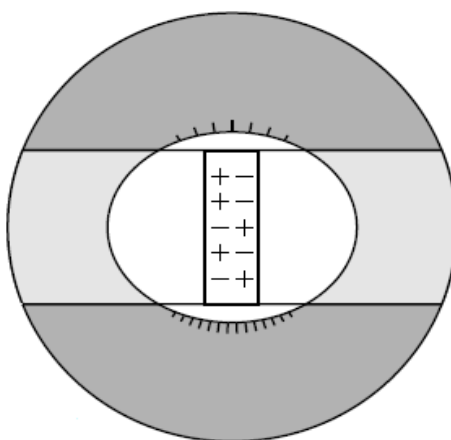
Vplyvom elektrického poľa pozitívne voľné ióny a elektróny získajú vysokú rýchlosť, čo vedie k vytvoreniu ionizačného vodivého prostredia (obr. 2.3).



Obr. 2.3 Vytvorenie ionizačného prostredia [11]

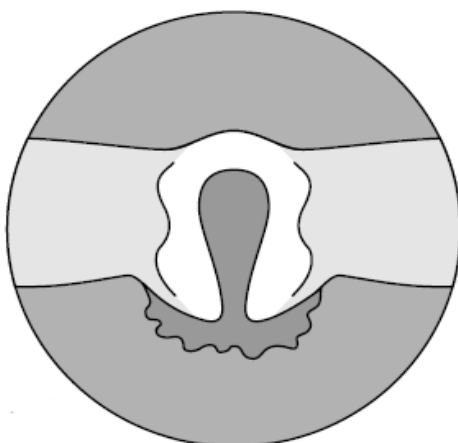
Zapáli sa elektrická iskra a tečúci prúd spôsobí veľký počet zrážok medzi časticami dielektrika. Vtedy vznikne expanzná plazmatická zóna, dosahujúca 8000 až 12000°C, ktorá miestne nataví povrch oboch elektród.

Dielektrikum a materiál elektród sa odparuje a vzniká plynová bublina (obr. 2.4).



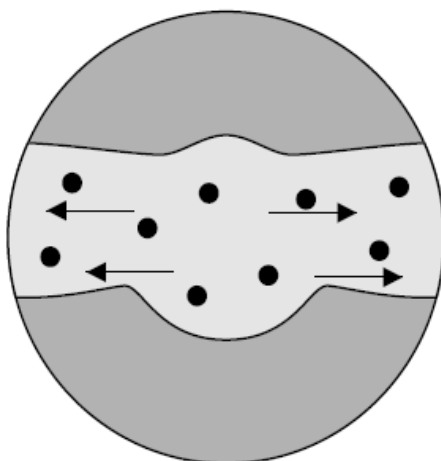
Obr. 2.4 Vznik plynovej bubliny [11]

Akonáhle sa horenie elektrickej iskry preruší, teplota náhle klesne a plynová bublina imploduje, čím sa uvoľnia dynamické sily, ktoré vymrštia roztavený materiál z kráteru na povrch elektródy (obr. 2.5).



Obr. 2.5 Vymrštenie roztaveného materiálu [11]

Tento roztavený materiál stuhne v chladiacom dielektriku a následne je ním odplavený (obr. 2.6).



Obr. 2.6. Odplavenie stuhnutého materiálu [11]

Erózia elektród je asymetrická. Závisi hlavne od polarít privedeného napätia, tepelnej vodivosti a bode tavenia materiálov elektród, a taktiež na intenzite a čase trvania výboja. Vhodnou voľbou materiálu elektród a optimálnym nastavením času trvania, polarít výboja a veľkosti prúdu je možné dosiahnuť až 99,5% odberu materiálu z obrobku pri opotrebovaní elektródy len 0,5%.

2.5 Popis elektroerozivných hlíbičiek rady ROBOFORM [9,11,12,13]

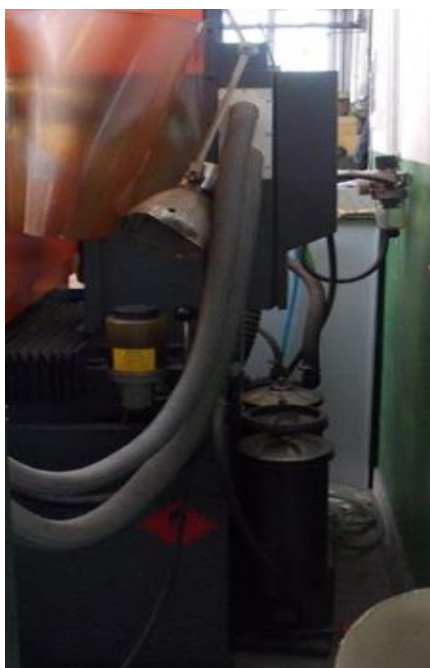
Obrábacie centrum sa skladá zo stroja, nádrže a riadiacej skrine.

Stroj je opatrený vaňou, v priebehu obrábania obsahujúcou dielektrikum, ktorá je uložená na pracovnom stole, na ktorý sa upína obrobok. V priebehu obrábania je elektróda a obrobok ponorený v dielektriku. Dielektrikum je do jednotlivých okruhov privádzané z nádrže čerpadlom. Dielektrikum spojite obieha strojom a vracia sa do nádrže. Nádrž má okrem vypúšťania a plnenia sa dielektrikom aj ďalšie funkcie ako filtráciu, stabilizáciu tepla a vyplachovanie.



Obr. 2.7 Elektroerozivná hlíbička ROBOFORM 20

Filtráciou sa odstraňujú erodované častice z dielektrika. Ak by tieto častice neboli odfiltrované, mohlo by dôjsť znečisteniu pracovného prostredia a k jeho destabilizácii, hlavne pri silnom hrubovaní. Aby sa toto znečistenie čo najviac obmedzilo, používa sa filtračná papierová batéria, ktorá je napojená na filtračné a preplachové čerpadlo. Tieto filtre umožňujú zachytávanie častíc o veľkosti 50 mikróv.



Obr.2.8 Filtračný systém ROBOFORM 20

Stabilizácia tepla je dôležitá z hľadiska presného obrábania, pretože počas obrábania môže ,ako dôsledok veľkej produkcie tepla iskrením, vzniknúť dilatácia. Preto sú stroje ROBOFORM vybavené zásobníkom tepla, ktorý udržiava dielektriku v nádrži na stálej teplote. Chladenie prebieha pri spetnom vedení kvapaliny do nádrže. Pre prípad, že teplota príliš stúpne sa v pracovnom priestore nachádzajú bezpečnostné čidlá nastavené na 45°C, napojené priamo na relé obrábania, ktoré v prípade ak dôjde k prekročeniu tejto teploty, obrábanie ihneď zastaví.

V riadiacej skrini sa nachádzajú všetky elektronické obvody potrebné k programovaniu, kontrole a riadeniu stroja. Nachádza sa tu aj pulzný generátor, ktorý vyrába elektrické impulzy medzi elektródou a obrobkom.



Obr. 2.9 Elektroerozívna hĺbička ROBOFORM 4000

2.6 Voľba dielektrika [9,12]

Dielektrikum musí zodpovedať najčastejšie používanému spôsobu obrábania. Dielektriká sa hodnotia podľa viskozity a bodu vzplanutia.

Olej s vysokou viskozitou vyžaduje také nastavenie generátora, pri ktorom je iskrová štrbina (gap) príliš malá, aby bol možný dobrý obeh dielektrika medzi elektródou a obrobkom, preto nie je vhodný na dokončovanie. Na hrubovanie sa najviac hodí olej strednej viskozity. Na dokončovanie je vhodné dielektrikum o viskozite od 2 do 3 mm²/s, preto bude takéto dielektrikum volené aj pre obrábanie danej súčasti.

Pri výrobe bude použité dielektrikum MS 7000.

2.7 Voľba materiálu elektródy [9,12]

Teoreticky sa dajú použiť všetky vodivé materiály, no najvhodnejšie sú materiály, ktoré majú vysokú teplotu tavenia a nízku hodnotu elektrickej vodivosti. V praxi sa najčastejšie využíva prúdovodná meď, meď s wolfrámom a grafit.

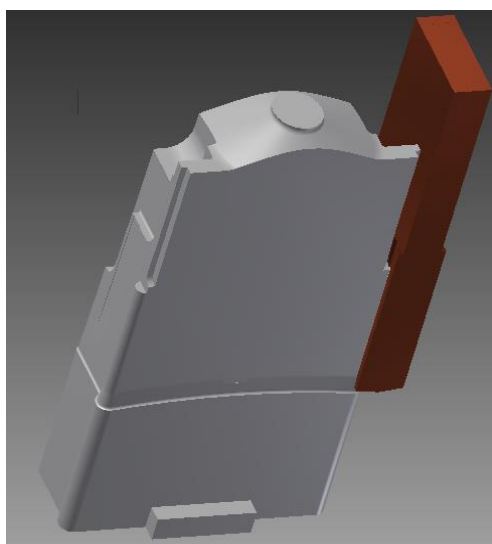
Pri výrobe elektród na výrobu súčasti do vstrekovacej formy bude použitá prúdovodná meď.

Prúdovodná meď sa najlepšie hodí k elektroerozívnemu hĺbeniu a možno ju bez problémov obrábať na konvenčných strojoch. Pri programovni obrábania je potrebné brať ohľad na rozťažnosť medi.

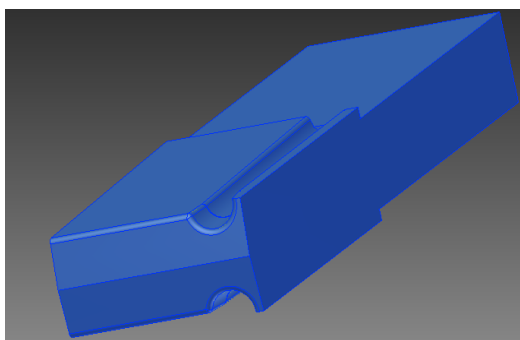
2.8 Konštrukcia elektród [12]

Z dôvodu vysokých nákladov na materiál, výrobu elektród a kusovosť výroby bude pri výrobe súčasti použité hĺbenie čo najmenej a to iba na dokončovanie.

Vyrábaná súčasť má niektoré hĺbené prvky umiestnené zrkadlovo po oboch bokoch. Ďalšej úspory materiálu teda docielime použitím obojstrannej elektródy (obr. 2.10, obr. 2.11).



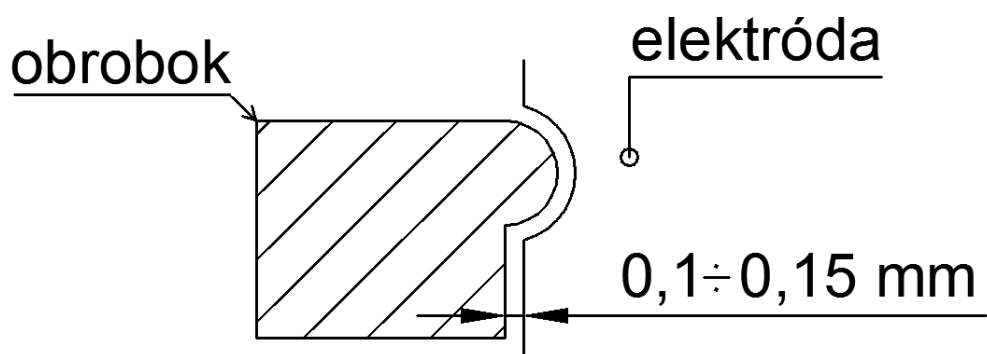
Obr. 2.10 Obojstranná elektróda č. 1 v pracovnej polohe



Obr. 2.11 Detail obojstrannej elektródy

Použitím obojstrannej elektródy sa rovnako ušetrí čas nevyhnutný na upnutie, ustavenie, premeranie a vycentrovanie ďalšej elektródy do hĺbičky (cca 15 až 30 min).

Pri konštrukcii elektród je dôležité dbať na tzv. korekciu. Potreba korekcie je dôsledkom samotného fyzikálneho princípu hĺbenia, a to z nevyhnutnosti zachovať iskriacu medzeru (gap). Keby elektróda nebola korigovaná, ale mala by presné rozmery požadovaného tvaru, následne vyhlíbený tvar by bol menší ako požadovaný. Hodnota korekcie v praxi je 0,1 až 0,15 mm (Obr. 2.12).



Obr. 2.12 Korekcia elektródy

Výkresová dokumentácia elektród použitých pri výrobe súčasti do vstrekovacej formy sa nachádzajú v prílohe 6.

3. RIADIACI NC PROGRAM PRE CNC STROJ.

V tejto kapitole budú popísané NC riadenie elektroerzívnych hĺbičiek rady ROBOFORM, ako aj jednotlivé prevádzkové režimy a funkcie riadenia a ich využitie pri výrobe súčasti do zostavy vstrekovacej formy.

3.1 Popis riadiacej skrine [9,10,11]

Riadiaca skriňa obsahuje jednotlivé riadiace prvky, ku ktorým prístup umožňujú dovje dvere. Na čelných dverách riadiacej skrine sa nachádza riadiaci panel a klávesnica (obr. 3.1).



Obr. 3.1 Riadiaca skriňa ROBOFORM 20

Za čelnými dverami sa nachádza výkonová jednotka generátoru, jednotlivé elektronické karty NC riadenia a ističe. Zadné dvere umožňujú prístup k istiacim kartám, kartám napájania, konektorom pre riadiaci a výkonový kábel. Na dne skrine sú umiestnené transformátory. Na stroji ROBOFORM 4000 je riadiaci panel s klávesnicou umiestnený samostatne.

3.2 Riadiaci panel a klávesnica [10,11]

Na riadiacom paneli sa nachádza obrazovka, ktorá informuje obsluhu o prebiehajúcom procese, disketová mechanika a povelové tlačidlá funkcie dielektrikum, indikujúce stav hladiny, umožňujúce ovládanie čerpadiel, prerušenie obrábania alebo spustenie výplachu. Alfnumerická klávesnica umožňuje zadávanie prevádzkových príkazov a zmenu obsahu.



Obr. 3.2 Riadiaci panel a klávesnica ROBOFORM 20



Obr. 3.3 Riadiaci panel a klávesnica ROBOFORM 4000 umiestnené mimo riadiacej skrine.

3.3 Syntax programovacieho jazyka PROFORM [9,10,11]

Hlíbiace stroje firmy CHARMILLES používajú programovací jazyk PROFORM, ktorý bol pre ne špeciálne navrhnutý. Príkazová veta bola prispôsobená tak, aby pri typických hlíbiacich operáciách umožňovala rýchle a jednoduché programovanie aj pri komplikovaných cykloch. V tejto podkapitole budú popísané základné pravidlá pre tvorbu NC programu. PROFORM editor tieto zásady automaticky využíva, čím dovoľuje okamžitú kontrolu a opravu zadávaných viet, čo značne uľahčuje programovanie v tomto jazyku.

Programová veta

Syntax < ČÍSLO VETY: > INŠTRUKCIA RETURN

Číslo vety nasledujúce za dvojbodkou sa môže pohybovať od 1 do 32000. Programované vety sú automaticky číslované PROFORM editorom.

Syntax je vždy podľa inštrukcie. Vo všeobecnosti platí postupnosť: Hlavné (povelové) slovo/ vedľajšie slovo (indikátor parametru), parameter. Hlavné slovo je od parametru oddelené lomítkom. Pokiaľ nenasleduje žiadny parameter, je možné lomítko vynechať. Určité povelové slová, napríklad FROM (stanovenie počiatku súradníc), sú použiteľné rovnako s lomítkom ako aj bez neho. Indikátor parametru a parameter, rovnako ako aj nasledujúce parametre musia byť oddelené čiarkou.

Príklad

FROM/X,0,Y,0

Parameter

Za parameter sa považuje numerická hodnota, premenná alebo aritmetický výraz. Aby bolo možné programovú vetu uskutočniť, je potrebné, aby boli všetky premenné známe. To znamená, že premenné musia byť určené na začiatku programu pred definíciou podprogramu.

Numerická hodnota

Syntax (znamienko) číslo

Pokiaľ není zadané žiadne znamienko, platí všeobecne +. Numerická hodnota zadaná bez desatinnej čiarky je považovaná za celé číslo.

Aritmetický výraz

Aritmetické výrazy sú zostavené z operandov. Ako operátory sa používajú konvenčné znaky ako +,-,/ a tiež aj preddefinované funkcie ako SIN, TAN, SQR atď... Operandy sú premenné alebo konštanty. Rôzne operácie nasledujúce za sebou sa definuje pomocou zátvoriek.

Príklad (vzdialenosť medzi P1 a P2)

LP1P2= SQR (P1X-P2X)+(P1Y-P2Y)*(P1Y-P2Y)

Syntax "Operátor" "Operand" "Operátor"

Aritmetický výraz obsahuje buď iné aritmetické výrazy, funkcie a numerické hodnoty alebo jednoduché premenné.

Prípustné operátory sú:

+ sčítanie
- odčítanie
* násobenie
/ delenie

Predom definované funkcie sú :

SIN () sinus
COS () kosinus
TAN () tangens
ATAN () kotangens
ABS () absolutna hodnota
SQR () druhá odmocnina
SGN () Znamienko

Hodnoty uhlov sa zadávajú v stupňoch a desatinách stupňov (napríklad 50,6°).

Príklad

1 : FROM / X,0,Y,0
3. : GOTO / X,(11.2+5.7),Y(15*TAN(30))
4. : VECT / X,20,Y,10-(20/3 + 7*1.5),Z,-18

Premenné

Sú to symboly, ktorým je predom priradená určitá hodnota, no pri vykonávaní môže byť nahradená inou hodnotou. Meno premennej sa nemôže zhodovať so žiadnym zo špecifických slov jazyku PROFORM.

Syntax "Písmeno" + "1 až 7 alfanumerických znakov"

Prípustné znaky sú písmená od A po Z a číslice 0 až 9.

Priradenie premenných

Syntax Premenná = aritmetický výraz

Aritmetický výraz sa spočíta a jeho hodnota sa priradí premennej. V ďalšom chode čiastkového programu je možné ako premennú použiť namiesto numerickej hodnoty zadanie aritmetického výrazu.

Komentáre

Syntax ; Text RETURN

Komentár za bodkočiarkou nemá žiadny vplyv na vykonanie čiastkového programu.

Komentár sa v editore PROFORM môže vyskytovať v rovnakej vete, pokiaľ je zviazaný s posledným parametrom, ktorý ak sa zmení, je nutné komentár znovu zadať. Na zamedzenie ťažkostiam, používa sa pre komentár vlastná programová veta.

Príklad

1 : FROM / X,15,Y,7; Počiatok výjazdu z dutiny

2 :

alebo

1 : FROM / X,10,Y20;

2 : ; Počiatok výjazdu z dutiny

Znak pokračovania

Syntax	-	Začiatok programovanej vety	&RETURN
	-	Pokračovanie progr.vety	&RETURN
	-	Koniec programovej vety	RETURN

Pokračovací znak "&" umožňuje písanie programových viet dlhších ako 80 znakov. Znak "&" nie je dovolené používať v komentároch. Programové vety dlhšie ako 80 znakov sú na obrazovke zobrazené v dvoch riadkoch.

- 40 až 80 znakov – 2 riadky
- 80 až 120 znakov – 3 riadky
- 120 až 160 znakov – 4 riadky

3.4 Demonštrácia NC programu pre hlbičku a popis základných príkazov [9,10]

V tejto podkapitole budú popísané príkazy jazyku PROFORM najčastejšie využívané pri hĺbení. Budú popísané za pomoci vzorových programov použitých vo firme ROTEK. Nejedná sa o programy použité pri výrobe zadanej súčasti. Tie, keďže išlo o kusovú výrobu, tvoril priamo hĺbič pri obrábaní súčasti a nie sú ďalej k dispozícii.

Príklad č. 1

1: PN/M
2: AXE/Z
3: FLUSH/N,3
4: FROM/X,0,Y,0,Z,10,C,0
5: LL=-8.6
6: DOWN/L,LL,H,-0.02,E,333
7: EXPAN/R,0.05,E,320,RETURN
8: AUXF/55
9:END

AXE – Voľba hlavnej osi. Štandardne sa ako hlavná os používa osa Z.

FLUSH – Výplach. Parameter N označuje typ výplachu (v tomto prípade 3 – trvalý výplach)

FROM – Stanovenie počiatku súradníc. Jednotlivé parametre označujú počiatkové súradnice ôs (X,Y,Z,C).

DOWN – Zahlbovanie. L predstavuje stanovenú hodnotu v hlavnej osi (LL je zadaný parameter), H vyjadruje zmenšenie obrábanej hĺbky o hodnotu iskrovej medzery (gap) a E je číslo registru nastavenia generátora.

EXPAN – Obrábanie s rozjazdom v rovine, vykonávané v smere osi Z. Rozjazdový pohyb začína na rádiuse predchádzajúceho cyklu a pokračuje až kým nie je dokončený požadovaný rádius. R vyjadruje požadovaný rádius bez hodnoty iskrovej medzery, ktorú vyjadruje hodnota E.

AUXF – Prídavná funkcia. V podstate ide o riadiace povely stroju alebo riadiacemu systému. Podľa parametrov m sa delí na funkcie ovládajúce a užívateľské funkcie.

V tomto prípade parameter m = 55 vyjadruje riadiaci povel pre vypnutie obehového čerpadla.

Príklad č. 2

```
1: PN/VECTORS
2: FROM/X,0,Y,0,Z,-50,C,0
3: VECT/X,0,Y,0,Z,-107,E,333
4: VECT/X,0,Y,0,Z,-107.15,E,303
5: VECT/X,0,Y,0,Z,-107.33,E,223,RETURN
6: AUXF/55
7: END
```

VECT – Lineárne vektorové obrábanie, kde parametre jednotlivých osí určujú vektor obrábania. E vyjadruje číslo registra nastavenia generátora.

END – Ukončenie programu. Nesmú za ním nasledovať žiadne vety a musí byť ním ukončený každý čiastkový program.

Príklad č. 3

```
1: PN/M
2: AXE/Z
3: FLUSH/N,3
4: FROM/X,0,Y,0,Z,50,C,0
5: LL=35.07
6: DOWN/L,LL,H,-0.115,E,32
7: ORB/L,LL,H,-0.07,E,303
8: ORB/L,LL,H,-0.055,E,303
9: ORB/L,LL,H,-0.037,E,263
11: ORB/L,LL,H,-0.02,E,243
12: ORB/L,LL,H,-0.012,E,220,RET
```

13: AUXSF/55

14: END

ORB – Obrábanie s rozjazdom. Vykonáva sa v smere osi Z. Elektróda sa posúva o 45° od počiatku pohyb. Maximálny rádius rozjazdu je 10 mm. L vyjadruje stanovenú hodnotu v hlavnej osi, H zmenšenie obrábanej hĺbky o hodnotu iskrovej medzery a E číslo registra nastavenia generátoru.

Ďalšie dôležité funkcie a prídavné funkcie sú popísané v prílohe 3.

3.5 Nastavenie výkonu generátoru [13]

Požadovaná kvalita povrchu pri elektroerozívnom hĺbení sa dosahuje riadením výkonu elektródy. Toho sa v rámci NC programu dosahuje pomocou nastavenia generátora vyjadreného pomocou parametra k. Hodnota nastavenia generátora vyjadruje hodnotu prislúchajúcu určitej dosahovanej hrúbke zrna. Na obrázku 4.1 je zobrazená názorná pomôcka pre voľbu hodnoty nastavenia generátora.



Obr. 4.1 Pomôcka pre voľbu hodnoty nastavenia generátora

Na pomôcke pre voľbu hodnoty registra nastavenia sa nachádza názorný príklad povrchu plochy, dosiahnutej obrábaním pri dotýčnej hodnote registra nastavenia generátora.

Prevodná tabuľka medzi touto hodnotou (Nr) a hodnotou drsnosti povrchu (Ra) sa nachádza na druhej strane pomôcky (Obr. 4.2)

Nr	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Ra μm	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,55	0,80	1,10	1,60	2,20	3,20	4,50	6,30	9,00	12,5	18,0

Pour usage visuo-tactile seulement. N'est pas un étalon.
 For visual and tactile use only. No measuring master.
 Nur für gesichts und gefühls-Anwendung. Kein Prüfmittel.
 目視および感知用のみ。測定用ゲージとしては使用できません。
 N° 432136

Obr. 4.2. Prevodová tabuľka drsností

Pri výrobe súčasti do vstrekovacej formy bude hĺbenie použité výhradne ako dokončovacia úprava funkčných plôch, ktorých požadovaná drsnosť je $Ra = 0,4 \mu\text{m}$. Táto hodnota drsnosti povrchu bude dosiahnutá povrchovou úpravou leštením, ktorú zabezpečí jeden zo zmluvných partnerov firmy ROTEK. Hĺbenie bude teda vykonané iba na hodnotu $Ra = 0,8 \mu\text{m}$, takže konečná hodnota registra nastavenia generátora pre operáciu hĺbenie bude $k = 18$.

4. TECHNICKO-EKONOMICKÉ POSÚDENIE

V tejto kapitole budú spočítané náklady spojené s výrobou danej súčasti a na ich základe vyhodnotené, ktorý zo strojov ROBOFORM 4000 a ROBOFORM 20 je pre výrobu vhodnejší. Keďže sa jedná o kusovú výrobu, niektoré veličiny sa nepodarilo zistiť presne. Hlavné strojné časy pri hĺbení budú určené iba teoreticky. To vyplýva hlavne z faktu, že čas pri hĺbení závisí individuálne od každej jednotlivkej elektródy, jej tvaru, plochy a množstva odoberaného materiálu. Časy použité pri výpočtoch teda vychádzajú z odhadu hĺbiča. Taktiež nebudú zohľadnené náklady na výmenu dielektrika, ktoré sa pri prevádzke vo firme mení len raz za rok. Rovnako sa prepočty nebudú zaoberať nákladmi na výmenu filtračných patrón, pretože zo zadanej súčasti bude elektroerozívnym hĺbením odobrané len malé množstvo materiálu, ktoré rozhodne nestačí na ich znehodnotenie.

4.1 Celkový čas výroby pre operáciu hĺbenie [11,12]

Ako už bolo spomenuté, strojné časy budú určené teoreticky, keďže čas hĺbenia u elektród vychádza z niekoľkých individuálnych faktorov. Medzi tieto faktory patria : tvar elektródy, jej funkčná plocha, množstvo materiálu, ktorý bude v priebehu operácie odobratý a štruktúra povrchu, ktorá má byť obrábaním dosiahnutá. Vo všeobecnosti platí, že čím väčšia plocha je obrábaná a čím jemnejšia štruktúra povrchu je požadovaná, tým viac času si proces vyžiada. Nasledujúce teoretické hodnoty strojných časov pre hĺbenie boli zvolené po konzultácii s hĺbičom. Je taktiež nutné zohľadniť čas, potrebný na výmenu elektródy, jej premeranie, vycentrovanie a ustálenie (v praxi 15 – 30 min).

Elektróda č. 1

$$t_{el1} = t_{obr.el1pl1} + t_{obr.el1pl2} + t_{pr1} = 75 + 75 + 25 = 175[min] \quad (4.1)$$

Kde:

t_{el1} ... celkový čas obrábania elektródou č. 1 [min]

$t_{obr.el1pl1}$...čas obrábania prvej plochy elektródou č. 1 (elektróda je obojstranná) [min]

$t_{obr.el1pl2}$...čas obrábania druhej plochy elektródou č. 1 [min]

t_{pr1} ... prípravný čas pre elektródu č. 1 (zahrňujúci upnutie, premeranie, vycentrovanie, ustálenie elektródy) [min]

Elektróda č. 2

$$t_{el2} = t_{obr.el2pl1} + t_{obr.el2pl2} + t_{pr2} = 35 + 35 + 25 = 95[min] \quad (4.2)$$

Kde:

t_{el2} ... celkový čas obrábania elektródou č. 2 [min]

$t_{obr.el2pl1}$...čas obrábania prvej plochy elektródou č. 2 (elektróda je obojstranná) [min]

$t_{obr.el2pl2}$...čas obrábania druhej plochy elektródou č. 2 [min]

t_{pr2} ... prípravný čas pre elektródu č. 2 [min]

Elektróda č. 3

$$t_{el3} = t_{obr.el3pl1} + t_{obr.el3pl2} + t_{pr3} = 40 + 40 + 25 = 105[min] \quad (4.3)$$

Kde:

t_{el3} ... celkový čas obrábania elektródou č. 3 [min]

$t_{obr.el3pl1}$...čas obrábania prvej plochy elektródou č. 3 (elektróda je obojstranná) [min]

$t_{obr.el3pl2}$...čas obrábania druhej plochy elektródou č. 3 [min]

t_{pr3} ... přípravný čas pre elektródu č. 3 [min]

Celkový čas hlbenia

$$t_{celk.hl.} = t_{el1} + t_{el2} + t_{el3} = 175 + 95 + 105 = 375 [min] \quad (4.4)$$

4.2 Príkon strojov

ROBOFORM 20

Predpokladaný príkon elektroerozívnej hlbičky ROBOFORM 20 je 32 kVA, jej fázový uhol $\cos\varphi$ je 0,8.

$$P_{skr20} = 1000 * P_{pr20} * \cos\varphi = 1000 * 32 * 0,8 = 25600 [W] = 25,6 [kW] \quad (4.5)$$

Kde:

P_{skr20} ...skutočný príkon hlbičky ROBOFORM 20 [kW]

P_{pr20} ... predpokladaný príkon hlbičky ROBOFORM 20 [kVA]

$\cos\varphi$...fázový uhol [-]

ROBOFORM 4000

Predpokladaný príkon elektroerozívnej hlbičky ROBOFORM 4000 je 7 kVA, jej fázový uhol $\cos\varphi$ je 0,8.

$$P_{skr4k} = 1000 * P_{pr4k} * \cos\varphi = 1000 * 7 * 0,8 = 5600 [W] = 5,6 [kW] \quad (4.6)$$

Kde:

P_{skr4k} ...skutočný príkon hlbičky ROBOFORM 4000 [kW]

P_{pr4k} ... predpokladaný príkon hlbičky ROBOFORM 4000 [kVA]

$\cos\varphi$...fázový uhol [-]

4.3 Spotreba elektrickej energie

Celkový čas hlbenia je 375 min, teda 6,25 hod. Priemyselná cena elektrickej energie na Slovensku je 0,128 € kWh.

ROBOFORM 20

Energia spotrebovaná pri hlbení.

$$E_{r20} = P_{skr20} * t_{celk.hl.} = 25,6 * 6,25 = 160 [kWh] \quad (4.7)$$

Kde:

E_{r20} ...energia spotrebovaná pri hlbení hlbičkou ROBOFORM 20 [kWh]

$t_{celk.hl.}$... celkový čas spotrebovaný pri hlbení. [hod]

Celková cena energie pre hlbičku ROBOFORM 20.

$$C_{er20} = E_{r20} * 0,128 = 160 * 0,128 = 20,48 \text{ €} \quad (4.8)$$

Cena elektrickej energie pri kusovej výrobe súčasti do vstrekovacej formy na hlbičke ROBOFORM 20 bude 20,48 €, čo pri súčasnom konverznom kurze (1 € = 27,46 Kč) zodpovedá 562,38 Kč.

ROBOFORM 4000

Energia spotrebovaná pri hlbení:

$$E_{r4k} = P_{skr4k} * t_{celk.hl.} = 5,6 * 6,25 = 35 \text{ [kWh]} \quad (4.9)$$

Kde:

E_{r4k} ...energia spotrebovaná pri hlbení hlbičkou ROBOFORM 4000 [kWh]

$t_{celk.hl.}$... celkový čas spotrebovaný pri hlbení [hod]

Celková cena energie pre hlbičku ROBOFORM 4000.

$$C_{er4k} = E_c * 0,128 = 35 * 0,128 = 4,48 \text{ €} \quad (4.10)$$

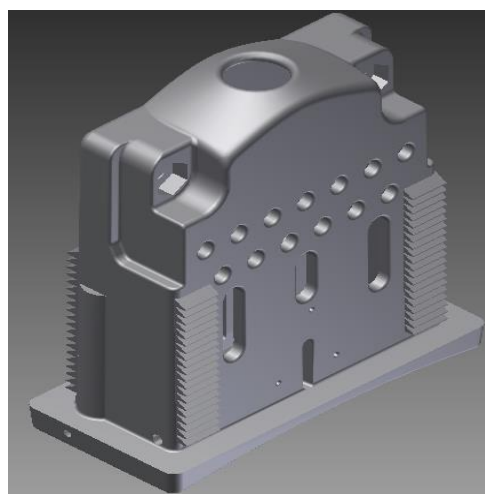
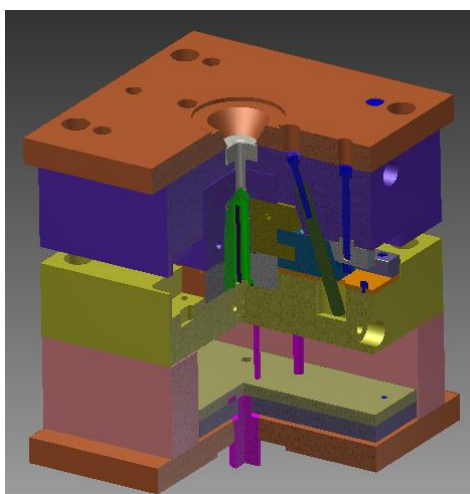
Cena elektrickej energie pri kusovej výrobe súčasti do vstrekovacej formy na hlbičke ROBOFORM 4000 bude 4,48 €, čo pri súčasnom konverznom kurze (1 € = 27,46 Kč) zodpovedá 70,54 Kč.

Z hľadiska spotreby elektrickej energie je teda, za predpokladu zhodných časov hlbenia u oboch strojov, výhodnejšie použiť na výrobu súčasti do vstrekovacej formy modernejšiu elektroerozívnu hlbičku ROBOFORM 4000.

5. DISKUSIA

Táto práca sa zaoberá výrobou súčasti do zostavy vstrekovacej formy technológiou elektroerozívneho hĺbenia. Popisuje princíp a použitie technológie elektroerozívneho obrábania v praxi a podrobne sa venuje technologickým zásadám, ktoré je nevyhnutné dodržať pri plánovaní výroby s použitím tejto technológie.

Primárne sa práca venuje riešeniu výroby danej súčasti v konkrétnych podmienkach firmy ROTEK s.r.o. venujúcej sa kusovej výrobe lisovacích, ohýbacích a strihacích nástrojov ako aj malosériovej výrobe strojných dielov. Vyrábaná súčasť je súčasťou vstrekovacej formy, ktorá bude použitá pri výrobe immobilizérov káblov. Výsledný výrobok z vstrekovacej formy sa bude ďalej používať v automobilovom priemysle (Obr. 5.1, Obr. 5.2).



Obr. 5.1 Model vstrekovacej formy Obr. 5.2 Model výrobku zo vstrekovacej formy

Pre efektívnu realizáciu výroby súčasti boli porovnávané dve elektroerozívne hĺbičky, ktorými firma ROTEK s.r.o. disponuje. Pri porovnávaní vhodnosti jednotlivých strojov pre výrobu nebola zohľadnená spotreba dielektrickej kvapaliny a papierových patrón do filtračného systému, pretože sa jedná o kusovú výrobu, ktorá by mala len zanedbateľný vplyv na ich spotrebu.

Z technologicko-ekonomických prepočtov bolo zistené, že pre výrobu danej súčasti je o mnoho výhodnejšia modernejšia elektroerozívna hĺbička ROBOFORM 4000. Toto zistenie sa opiera o teoretické prepočty spotreby elektrickej energie pri obrábaní. Výsledky môžu byť čiastočne skreslené, keďže strojné časy boli volené teoreticky, vychádzajúc zo skúseností hĺbiča, pretože skutočné strojné časy hĺbenia neboli k dispozícii. Z rovnakého dôvodu není uvedený konkrétny NC program použitý pri výrobe súčasti, namiesto neho sú uvedené príklady programov použitých pri hĺbení iných súčastí, na ktorých je demonštrované fungovanie a zásady programovacieho jazyka PROFORM, ktorý využívajú elektroerozívne hĺbičky vyrábané spoločnosťou Charmilles Technologies S.A.

6. ZÁVER

Práca sa zaoberá kusovou výrobou súčasti do zostavy vstrekovacej formy v podmienkach firmy ROTEK s.r.o. so zameraním na technológiu elektroerozívneho hĺbenia.

- Operácia hĺbenie bola uskutočniteľná na dvoch strojoch zo strojového parku firmy a to na elektroerozívnych hĺbičkách ROBOFORM 20 a ROBOFORM 4000. U týchto strojov bola následne porovnaná ich vhodnosť a náklady na výrobu danej súčasti.
- Pri vyhodnocovaní strojov boli použité teoretické strojné časy, uvažované zhodné pre oba stroje. Taktiež pri NC simulácii obrábania neboli k dispozícii konkrétne NC programy použité pri výrobe danej súčasti, preto je funkčnosť programovacieho jazyka PROFORM demonštrovaná na programoch pre výrobu iných súčastí.
- Technologicko-ekonomické prepočty vychádzajúce z dostupných údajov ukázali, že pre kusovú výrobu je ekonomicky výhodnejšia elektroerozívna hĺbička ROBOFORM 4000, ktorej spotreba elektrickej energie pri výrobe danej súčasti je takmer až o 77% nižšia než u staršieho typu ROBOFROM 20. Pri cene elektrickej energie v Slovenskej republike, použitím hĺbičky ROBOFORM 4000 namiesto staršieho typu ušetríme pri výrobe danej súčasti 16 € (439,36 Kč).

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

1. PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6
3. FREIBAUER, M., H. VLÁČILOVÁ a M. VILÍMKOVÁ. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 2. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2010. 326 s. ISBN 978-80-251-2504-5.
4. PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. BRNO: CERM, s.r.o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
5. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
6. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.
7. JKZ BUČOVICE A.S. Přehled nabízených produktů: Ocel nástrojová pro výrobu forem W. NR. 1.2311. *JKZ Bučovice A.S.* [online]. 2010 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z <http://jkz.jb-webshare.com/node/167>
8. ROTEK S.R.O. Profil společnosti. *Strojárska výroba ROTEK* [online]. 2012 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.rotek.sk/>
9. CHARMILLES TECHNOLOGIES S.A. Návod k obsluze ROBOFORM 20. Meyrin, 1991.
10. CHARMILLES TECHNOLOGIES S.A. ROBOFORM 35-2400: Manuál NC 205960780/E/07.1999 ver. A. Meyrin, 1999.
11. CHARMILLES TECHNOLOGIES S.A. ROBOFORM 35-2400: Školící manuál 205959840/E/06.1999 ver. A. Meyrin, 1999.
12. CHARMILLES TECHNOLOGIES S.A. ROBOFORM 35-2400: Manuál technologií pro hloubení 205960730/E/07.1999 ver. A. Meyrin, 1999.
13. CHARMILLES TECHNOLOGIES S.A. ROBOFORM 35P/44/54-55P/85/2400: Pocket guide 205920450/E/08.2002. Meyrin, 2002.

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Symbol	Jednotka	Popis
Ra	[μm]	Stredná aritmetická hodnota drsnosti
Up	[-]	Ukazateľ priemernej presnosti
P _i	[-]	IT číslo danej operácie
n _i	[-]	Počet výskytu danej tolerancie
n	[-]	Počet výskytu všetkých tolerancií
Um	[-]	Ukazateľ využitia materiálu
G ₁	[kg]	Hmotnosť výrobku
G ₂	[kg]	Hmotnosť polotovaru
Zm	[kg]	Celkové straty materiálu
Qp	[kg]	Hmotnosť polotovaru
Qs	[kg]	Hmotnosť súčasti
Nm	[kg]	Norma spotreby materiálu
k _m	[-]	Stupeň využitia materiálu
t _{el1}	[min]	Čas obrábania elektrodou č.1
t _{el2}	[min]	Čas obrábania elektrodou č.2
t _{el3}	[min]	Čas obrábania elektrodou č.3
t _{obr.el1pl1}	[min]	Čas obrábania prvej plochy elektrodou č.1
t _{obr.el2pl1}	[min]	Čas obrábania prvej plochy elektrodou č.2
t _{obr.el3pl1}	[min]	Čas obrábania prvej plochy elektrodou č.3
t _{obr.el1pl2}	[min]	Čas obrábania druhej plochy elektrodou č.1
t _{obr.el2pl2}	[min]	Čas obrábania druhej plochy elektrodou č.2
t _{obr.el2pl2}	[min]	Čas obrábania druhej plochy elektrodou č.3
t _{pr1}	[min]	Prípravný čas pre elektrodu č.1

Symbol	Jednotka	Popis
t_{pr2}	[min]	Prípravný čas pre elektrodu č.2
t_{pr3}	[min]	Prípravný čas pre elektrodu č.3
$t_{celk.}$	[min]	Celkový čas hĺbenia
P_{skr20}	[kW]	Skutočný príkon hĺbičky ROBOFORM 20
P_{skr4k}	[kW]	Skutočný príkon hĺbičky ROBOFORM 4000
P_{pr20}	[kW]	Predpokladaný príkon hĺbičky ROBOFORM 20
P_{pr4k}	[kW]	Predpokladaný príkon hĺbičky ROBOFORM 4000
$\cos\varphi$	[-]	Fázový uhol
E_{r20}	[kWh]	Sotřeba energie pre hĺbičku ROBOFORM 20
E_{r4k}	[kWh]	Sotřeba energie pre hĺbičku ROBOFORM 4000
C_{er20}	[€]	Celková cena energie pre hĺbičku ROBOFORM 20
C_{er4k}	[€]	Celková cena energie pre hĺbičku ROBOFORM 4000

Skratka	Popis
EDM	Electric discharge machining
HB	Tvrdość podľa Brinella
HRC	Tvrdość podľa Rockwella

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1	Technické parametre elektroerozívnej hlbičky ROBOFORM 20
Príloha 2	Technické parametre elektroerozívnej hlbičky ROBOFORM 4000
Príloha 3	Príkazy programovacieho jazyka PROFORM nespomenuté v kapitole č. 2
Príloha 4	Tolerancie používané firmou ROTEK s.r.o. vo výkresovej dokumentácii
Príloha 5	Výkres súčasti do vstrekovacej formy.
Príloha 6	Výkresová dokemntácia elektród použitých pri hlbení.

PRÍLOHA 1 (1/2)

Technické parametre elektroerozívnej hĺbičky ROBOFORM 20

Materiál lože stroja	Šedá liatina
Rozmery (výška x šírka x hrúbka)	2320x1250x1160 mm
Hmotnosť	
s dielektrikom	980 kg
bez dielektrika	800kg
Maximálna vzdialenosť plochy stroja a vretena	
Izolovaná doska	455 mm
Maximálna hmotnosť	
elektrody bez výmenníku	25 kg
Maximálny obrábací prúd	32 A
Stôl	
Rozmery stolu (šírka x hrúbka)	397x300 mm
Maximálna hmotnosť obrobku	200 kg
T-drážky	
Počet	3
Rozmer	12 mm
Vzdialenosť medzi upínacími drážkami	100 mm
Pohyby	
Zdvih	
X	300 mm
Y	250 mm
Z	250 mm
Rozlišovacia schopnosť merania	1µm
Najvyššia ručná rýchlosť	15 mm/s
Dielektrikum	
Pracovná vaňa	
Využitelné rozmery bez výmenníku	180x640x450 mm
Objem vane	75l
Minimálny/maximálny stav hladiny	90/205 mm
Čelná priechodnosť vane	650 mm
Nádrž	
Rozmery	530x975x750 mm
Objem nádrže	200 l (180 kg)
Filtračný systém	3 papierové patróny
Objemový výkon plniacej pumpy	140 l/min
Prázdna hmotnosť	122 kg
Výplach	
Tlakový	obrobkom, elektródou
Odsávaním	stranový, obrobkom
Riadiaca skryňa	
Obrábací prúd	32 A
Max. teplota okolia	30°C

PRÍLOHA 1 (2/2)

Technické parametre elektroerozívnej hĺbičky ROBOFORM 20

Doba uloženia software	
Pri nabitých batériách	100 h
Max. doba nabíjania	60 h
Rozmery riadiacej skryše	1900x650x600 mm
Hmotnosť	270 kg
Pripojenie	
Frekvencia siete	50 Hz
Vstupné napätie stridavého prúdu	380/400/420 V
Prípustné kolísanie v sieti	+10% - 15%
Prípustné mikroprerušenie	4 ms
Celkový príkon	32kVA
Voda	
Požadovaný prietok	6 l/min
Teplota	menšia ako 15°C
Vzduch	
Rozsah tlaku	Väčší ako 6 a menší ako 8 bar.
Všeobecné údaje	
Prípustná teplota okolia	
Pre zaručenú presnosť	20°C +-3°C
Pre prevádzku stroja	20°C +- 10°C
Prípustná vlhkosť	20 až 80%

PRÍLOHA 2 (1/2)

Technické parametre elektroerozívnej hĺbičky ROBOFORM 4000

Externé pripojenie

Prúd

Sieťová frekvencia	50-60 Hz
Cosφ (fázový uhol)	0,8
Prípustné kolísanie	+10%-15%bis
Prípustné mikrop prerušenie	4ms
Celkový príkon	7kVA
Vstupné napätie	380-400 V
Možnosti autotransformátora	204/220/240/400/420/440/ 480/575V
Cosφ (fázový uhol)	0,8

Chladenie

Chladiaca voda alebo iná kvapalina	
Min. rozdiel tlaku medzi vstupom a výstupom chladiaceho zdroja	2,8 bar
Maximálny vstupný tlak	4 bar
Maximálna priepustnosť chladiacej kvapaliny	17 l/min

Voda

Požiadavky na vodu	<6l/mn
Tepelný rozsah	<15°C
Stredná spotreba bez spracovania	<2l/min

Stlačený vzduch

Tepelný rozsah	6<p<7 bar
Množstvo	1l/min

Všeobecné údaje

Prípustný rozsah teplôt	
-pre prenosnosť výkonu	20°C ±3°C
-pre funkčnú schopnosť riadenia stroja	20-10°C
Prípustná vlhkosť	20 na 80%
Max. požiadavky na priestor (konzola + kabína)	4150x3690mm
Celková hmotnosť	5080kg
Hlučnosť stroja:	
-kontinuálne najvyššie na pracovisku (zodpovedá váženému akustickému tlaku A)	Leq= 78 dB

Generátor a NC

Max. teplota okolia	36°C
Rozmery generátora	1500x610x600 mm
Hmotnosť	280kg
Spotreba chladiaceho vzduchu	1000 m³/h

PRÍLOHA 2 (2/2)

Technické parametre elektroerozívnej hĺbičky ROBOFORM 4000

Max. vybíjací prúd	128A
Stroj	
Lôžka	stabilizovaná liatina
Rozmery	3090x2100x2380mm
Hmotnosť stroja +NC	3550kg
Tabuľa	
Rozmery falošnej tabule	800x648 mm
Max. rozmery stola	800x676mm
Počet T-drážok (rozmer)	3 (12mm)
Vzdialenosť medzi drážkami	200mm
Pohyby	
Zdvih	
X	450mm
Y	320mm
Z	410mm
Polohovateľná presnosť X,Y,Z	1µm
Rozlíšenie X,Y,Z	0,5µm
Manuálna rýchlosť	15 mm/s
Os C	
-rozlíšenie	1/1000°
-max. moment	20Nm
-max. výpočtový výkon	128A
-max.pracovná výkon	100UPM(0,75m/min)
Dielektrikum	
Kontajner	vodotesný, zváraný ocelový plech
Rozmery(vstavné)	1155x2310x800mm
Celková kapacita	920 l
Filtračný systém	papierové patróny MANN
Prázdna váha	240 kg
Pracovná vaňa	
Vnútorne rozmery	500x1180x710 mm
Výplachovanie	
- tlak	Vstrekovací tlak $0 < p < 2.0$ bar Sací tlak $0 < p < 0,9$ bar
-množstvo	mn. vstreku $0 < q < 5$ l/min mn. nasávania $0 < q < 15$ l/min
Maximálna kapacita	540 l

PRÍLOHA 3

Príkazy programovacieho jazyka PROFORM nespomenuté v kapitole č. 2

ANGUL – Obrábanie rohov. Nespôsobuje žiadny pohyb stroja no ovplyvňuje nasledujúci pracovný krok. Používa sa v spojení s príkazmi EXPAN a ORB. Dovoľuje cielené obrábanie rohov zväčšením uhlu rozjazdu pri príkazoch o ORB a EXPAN, pričom počiatočný rádius musí byť rovný nule.

TECHNO- Voľba technologickej tabulky.

COORD- Voľba merného systému.

TOOL- Výmena elektródy. Pokiaľ je k dispozícii výmenník elektród tento príkaz spôsobuje uvoľnenie elektródy, vloženie zvolenej elektródy z výmenníka a vyhľadanie novej polohy Zmenenej o hodnotu korekcie. Bez výmenníka elektród príkaz spôsobí prerušenie čiastkového programu.

GOTO- Posunutie bez obrábania.

GOAX- Posunutie pozdĺž zvolenej osy bez obrábania. Vyžaduje aby bola hlavná osa dopredu definovaná (príkaz AXE).

CONE- Obrábanie kužeľa. Definuje valcové obrábanie používajúce koncový rádius predchádzajúceho cyklu. Vyžaduje aby bola hlavná osa dopredu definovaná (príkaz AXE).

MACRO- Definícia podprogramu. Ešte pred definovaním počiatočných súradníc (príkaz FROM) možno definovať viacer podprogramov, ktoré môžu byť pomocou príkazu CALL opakovane vyvolávané v hlavním programe.

CALL – Vyvolanie podprogramu. Možno stanoviť, koľkokrát sa má daný podprogram vykonať.

TERMAC – Ukončenie podprogramu.

HELIC – Obrábanie závitov. Pri tomto spôsobe obrábania je povolená len jedna osa obrábania, osa Z.

PRÍLOHA 4

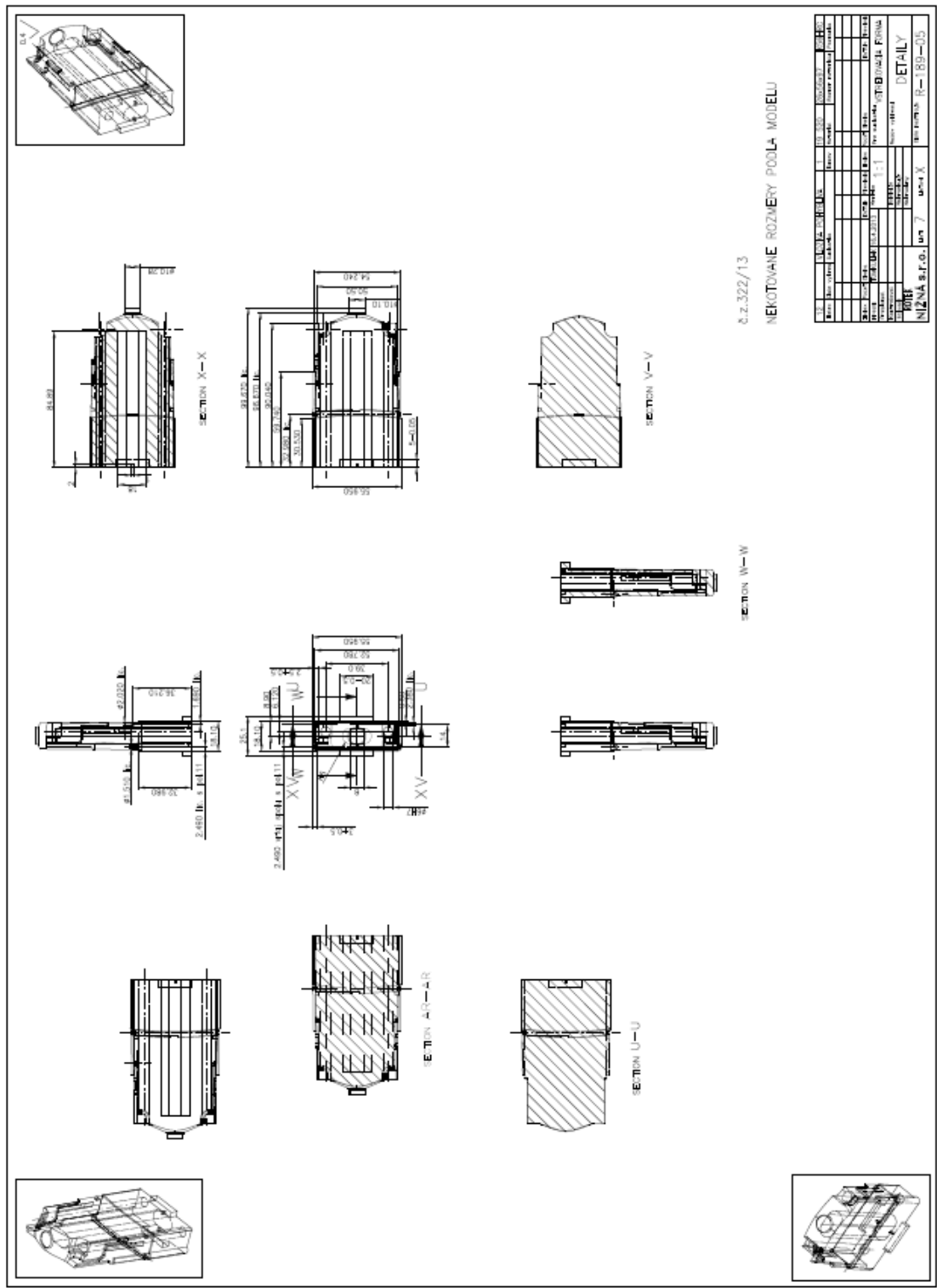
Tolerancie používané firmou ROTEK s.r.o. vo výkresovej dokumentácii. (Originálny dokument firmy ROTEK s.r.o.)

Zul. Form u. Lageabw. ohne Toleranzangabe DIN ISO 2768-m			
XX,XX		XX,0	
Nennmass	Abmass	Nennmass	Abmass
120 – 1000	$\pm 0,4$	ueb. 1000	$\pm 1,2$
30 – 120	$\pm 0,2$	400 – 1000	$\pm 0,7$
6 – 30	$\pm 0,1$	120 – 400	$\pm 0,04$
0 – 6	$\pm 0,05$	30 – 120	$\pm 0,03$
		6 – 30	$\pm 0,02$
		0 – 6	$\pm 0,01$

PRÍLOHA 5 (1/4)

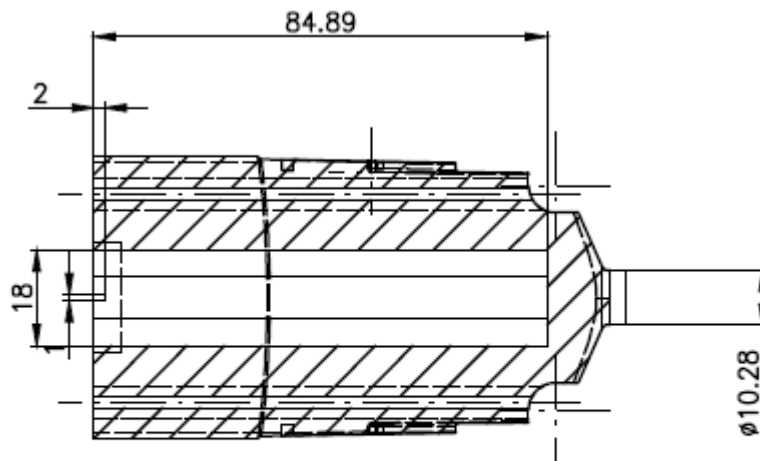
Výkres súčasti do vstrekovacej formy.

Výkres využíva systém tolerancií popísaný v prílohe 4. Rozmery, ktoré niesu kótované sa uvažujú zhodné s 3D modelom súčasti.

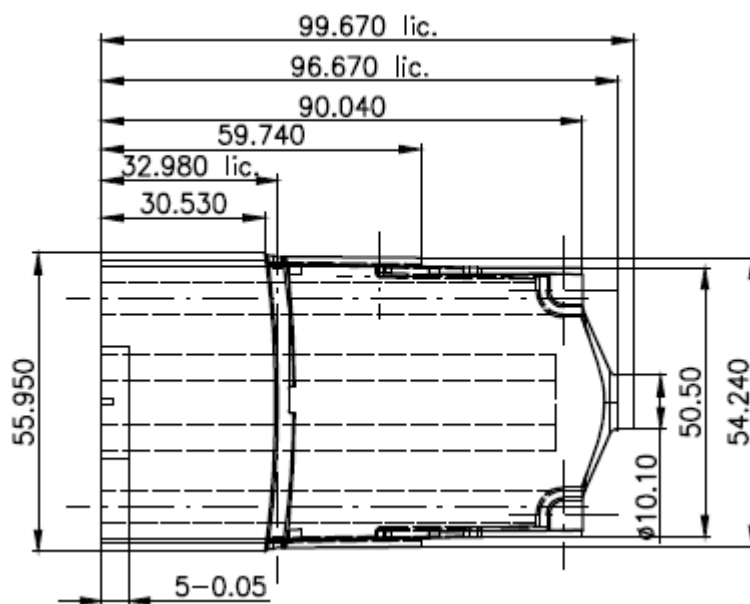


PRÍLOHA 5 (2/4)

Výkres súčasti do vstrekovacej formy. (Detail 1)

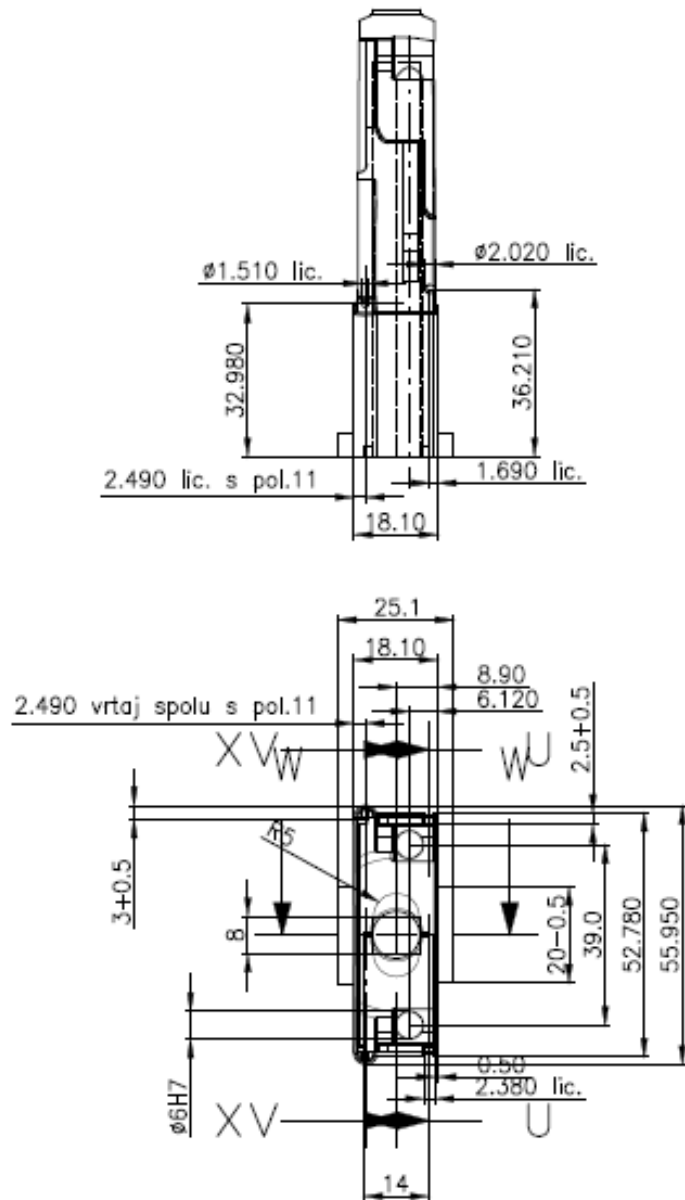


SECTION X—X



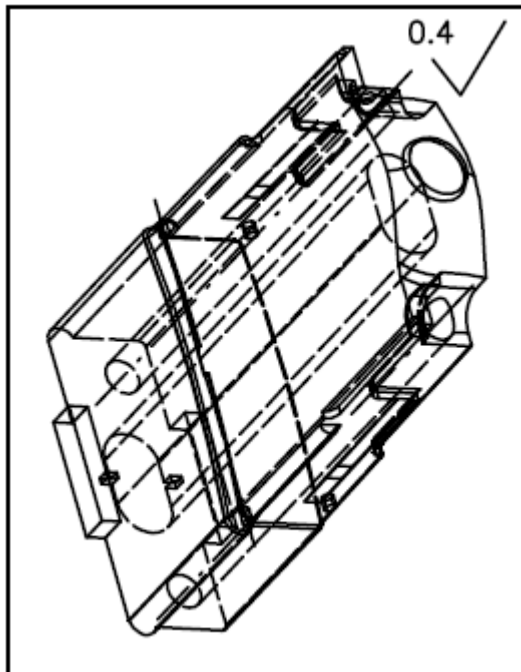
PRÍLOHA 5 (3/4)

Výkres súčasti do vstrekovacej formy. (Detail 2)



PRÍLOHA 5 (4/4)

Výkres súčasti do vstrekovacej formy. (Detail 3 a 4)



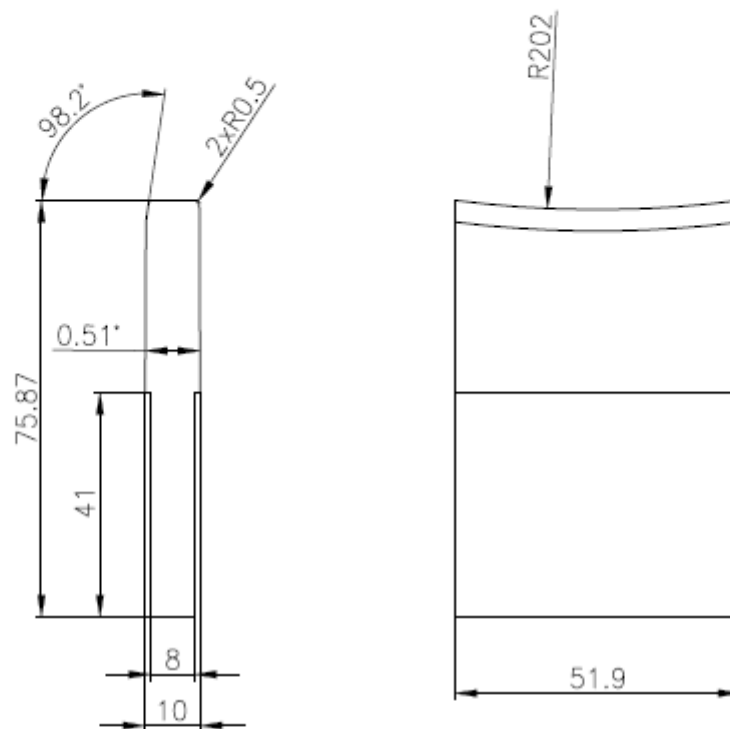
č.z.322/13

NEKOTOVANE ROZMERY PODLA MODELU

12		VLOZKA POHYBLIVA	1	19 520	26x56x97	K56HRC
Dielec	Císlo vykres	Súčasťka	Kusov	Material	Rozmer materiálu	Poznámka
Index	Pocet	Zmena	Datum	Previedo	Index	Pocet
Kreslí	TOMKULIAK	16.4.2013	Meritko	1:1	Pre súčasťku	VSTREKOVACIA FORMA
Preskusal			Doplnuje		Nazov vykresu	DETAILY
Kontroloval			Nahradzuje			
Schválil			Nahradeny			
ROTEK						
NIŽNÁ s.r.o.		Líst 7	Lístoví X		Císlo nástroja	R-189-05

PRÍLOHA 6 (1/3)

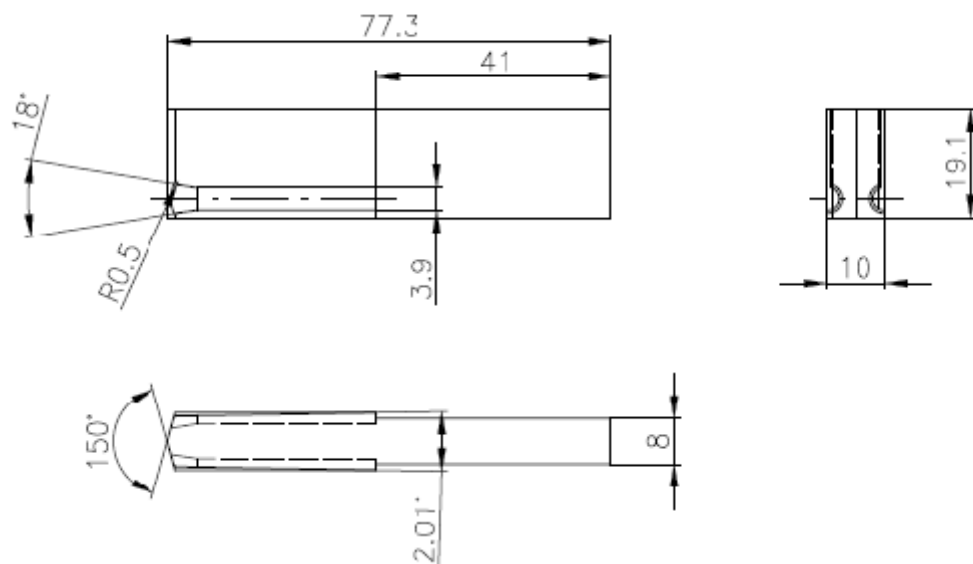
Výkresová dokumentácia elektród použitých pri hĺbení. (Elektróda 1)



1		ELEKTRODA 1				1	423001	10X52X76			
Dilec	Císlo vykres	Súčasťka				Kusov	Materiál	Rozmer materiálu		Poznámka	
Index	Pocet	Zmena		Datum	Previedol	Index	Pocet	Zmena		Datum	Previedol
Kresil	PILARČIK	20.05.2014		Meritko	1:1	Pre súčasťku VLOZKA POHYBLIVA					
Preskusal											
Kontroloval				Doplnuje		Nazov vykresu					
Schválil				Nahrádza		ELEKTRODA 1					
ROTEK											
NIŽNÁ s.r.o.		List 1		Listov 3		Císlo nástroja E-12-01					

PRÍLOHA 6 (2/3)

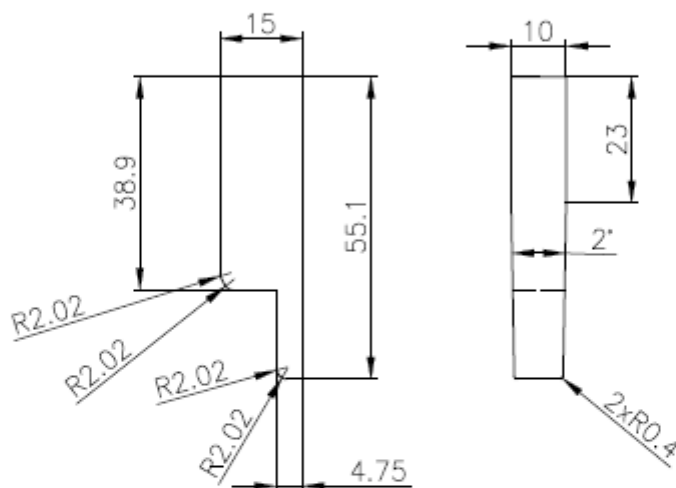
Výkresová dokumentácia elektród použitých pri hĺbení. (Elektróda 2)



1		ELEKTRODA 2				1	423001	11X20X78	
Delec	Císlo vykres	Súčasťka				Kusov	Materiál	Rozmer materiálu	Poznámka
Index	Pocet	Zmena	Datum	Previedol	Index	Pocet	Zmena	Datum	Previedol
Kreslil		PILARČIK	23.05.2014	Merilko	Pre súčasťku VLOZKA POHYBLIVA Nazov vykresu ELEKTRODA 2				
Preskúsal				1:1					
Kontroloval				Doplnuje					
Schválil				Nahradzuje	Císlo nástroja E-12-02				
				Nahradeny					
ROTEK									
NIŽNÁ s.r.o.		Jsto	2	Lístov	3				

PRÍLOHA 6 (3/3)

Výkresová dokumentácia elektród použitých pri hĺbení. (Elektróda 3)



1		ELEKTRODA 3	1	423001	10X15X56	
Dielce	Číslo výkresu	Súčasťka	Kusov	Materiál	Rozmer materiálu	Poznámka
Index	Počet	Zmena	Datum	Previedol	Index	Počet
Kresil		PILARČIK	20.05.2014	Meritko	Pre súčasťku	
Preskusal				1:1	VLOZKA POHYBLIVÁ	
Kontroloval				Doplnuje	Názov výkresu	
Schválil				Nahrádza	ELEKTRODA 3	
ROTEK				Nahradený		
NIŽNÁ s.r.o.		List 3	Listov 3		Číslo nástroja	E-12-03