

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Školní rok: 1990/91

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Zdeňka B a r á k a

obor strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Stanovení parametrů technologií elektroerozivního řezání drátovou elektrodou pro hliníkové slitiny 424201 a 424254 na stroji MAKINO EC 3040.

Zásady pro vypracování:

1. Současný stav drátového řezání v s.p. Lustry Kamenický Šenov, Literární rešerše.
2. Rozšíření parametrů technologie řezání uváděných výrobcem stroje na uvedené slitiny a požadované tloušťky materiálu a optimalizace těchto parametrů.
3. Ekonomická úvaha o využití drátové rezačky.
4. Doporučení pro podnik a závěry.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 1
PSČ 461 17

V. 138 / 915

KOM/OM

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah průvodní zprávy: 40 - 60 stran
Seznam odborné literatury:

1. Materiály firmy MAKINO a AGIE.
2. BARCAL, J. + Nekonvenční metody obrábění. ČVUT Praha 1989.

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Vladimír Gabriel, CSc.
Konzultant: Harry Heller, Lustry s.p. Kamenický Šenov.

Zadání diplomové práce: 31.10.1990
Termín odevzdání diplomové práce: 31.12.1991



Vladimír Gabriel
Doc. Ing. Vladimír Gabriel, CSc. Prof. Ing. Zdeněk Kovář, CSc.

Vedoucí katedry

Zdeněk Kovář
Děkan

V Liberci

dne 31.10. 1990.

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

obor - strojírenská technologie
zaměření o b r á b ě n í a m o n t á ž

STANOVENÍ PARAMETRŮ TECHNOLOGIÍ ELEKTROEROZIVNÍHO
ŘEZÁNÍ DRÁTOVOU ELEKTRODOU PRO HLINÍKOVÉ SLITINY
424201 A 424254 NA STROJI MAKINO EC 3040

KOM - OM - 706

Zdeněk Barák

Vedoucí práce : Doc.Ing. Vladimír Gabriel, CSc.
VŠST Liberec

Počet stran59
Počet příloh.....29
Počet tabulek7
Počet obrázků21

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146077008

Dne 3.června 1991

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, dne 3.6.1991

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters that appear to be 'F. H.' or similar.

OBSAH

	str.
Seznam použitých zkratek a symbolů	6
I. Úvod	7
II. Teoretická část	9
1. Nekonvenční metody obrábění	9
1.1. Pojem NMO a jejich základní rozdělení	9
1.2. Tendence, důvody zavádění, výhody a nedostatky NMO	9
1.3. Úroveň nasazení NMO ve světě a u nás	12
2. Elektroerozivní obrábění	13
2.1. Teoretická podstata elektrické eroze a základní zákonitosti elektroerozivního obrábění	13
2.2. Pracovní podmínky a charakteristika výbojů	19
2.3. Vztah mezi fyzikálními veličinami a průběhem obrábění	23
2.4. Generátory výbojů pro elektroerozivní obrábění	25
2.4.1. Elektrojiskrové (relaxační) generátory závislé (RC a RLC)	26
2.4.2. Nezávislé zdroje výbojů	26
2.5. Regulace přísuvu nástrojové elektrody	30
2.6. Obrobitelnost kovů elektroerozivním obráběním, materiál nástrojových elektrod, polarita obvodu	30
2.7. Pracovní prostředí - dielektrikum	32
2.8. Přesnost a drsnost obráběné plochy, stav povrchové vrstvy	33
2.9. Technologické aplikace elektroerozivního obrábění	35
2.10. Současné možnosti a vývojové tendence strojů pro elektroerozivní obrábění v zahraničí	39
2.11. Vývoj a výroba strojů pro elektroerozivní obrábění v ČSFR	40
3. Současný stav drátového řezání v a.s.LUSTRY	41
III. Experimentální část	44
4. Technické předpoklady k experimentální části	44
4.1. Postup při práci	44

4.2.	Popis materiálu, char. vlastnosti	45
4.2.1.	Slitina hliníku tvářená 424201 AlCu4Mg	45
4.2.2.	Slitina hliníku tvářená 424254 AlCu4BiPb - automatová	46
4.2.3.	Slitina hliníku tvářená 424261 AlCu8Fe1Si	47
4.3.	Rozměry polotovarů a vzorků včetně jejich značení	47
4.3.1.	Určení rozměrů a označování polotovarů	47
4.3.2.	Určení rozměrů, umístění a označování vzorků	48
5.	Vlastní zkoušky	49
5.1.	Příprava zkoušek	49
5.2.	Průběh zkoušek	49
5.3.	Vyhodnocení zkoušek	53
6.	Diskuse	54
7.	Ekonomická úvaha o využitelnosti zkušeností s drátovým řezáním hliníkových slitin	56
IV.	Závěr	57
	Seznam použité literatury	58
	Seznam příloh	59

Seznam použitých symbolů a zkratk

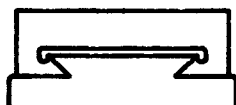
d	odchylka tvaru a rozměru [μm]
E	měrná práce [$\text{J}\cdot\text{mm}^{-3}$]
f	frekvence výbojů [s^{-1}]
GAP	(z ang. mezera) hodnota pracovní mezery [μm]
I	pracovní proud výboje [A]
I_e	střední vybíjecí proud [A]
K_i	součinitel úměrnosti pro katodu a anodu [1]
Q_v	množství odebraného materiálu za jednotku času (úběr) [$\text{mm}^3\cdot\text{s}^{-1}$]
q	časové využití periody výboje [1]
R_a	střední aritmetická úchylka profilu [μm]
R_m	největší výška nerovností profilu [μm]
r	účinnost elektrického výboje [1]
T	doba periody [s]
t_d	doba zpoždění výboje [s]
t_e	činná doba výboje [s]
t_i	doba impulsu [s]
t_o	doba pauzy [s]
U_e	střední vybíjecí napětí [V]
U_k	napětí při zhasnutí výboje [V]
U_z	napětí naprázdno [V]
V_i	množství odebraného materiálu el.výbojem [mm^3]
V_n	objemové opotřebení nástroje [mm^3]
V_o	odebraný objem materiálu obrobku [mm^3]
v_f	rychlost posuvu obrobku [$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$]
W_i	energie výboje [J]
v	relativní objemové opotřebení [1]
τ	hodnoty posunutí pohyblivé části impulsu [s]
CAD	(Computer Aided Design) projektování pomocí počítače
CAM	(Computer Aided Manufacturing) výroba pomocí počítače
CIM	(Computer Intedrated Manufakturing) počítačem integrovaná výroba
KR	polotovar kruhového průřezu
NMO	nekonvenční metody obrábění
PLO	polotovar plochého průřezu

I. ÚVOD

Snaha o zvýšení produktivity v některých kritických místech výroby s sebou přináší i požadavek na stroje, jejichž některé díly či skupiny se pohybují vysokými rychlostmi a velkými zrychleními.

Oddělení technickoorganizačního rozvoje a.s. LUSTRY, kde pracuji, má ve své náplni i konstrukci a výrobu jednoúčelových obráběcích a montážních strojů pro potřebu a.s. LUSTRY. Předměty, které se opracovávají, či s nimiž je manipulováno, jsou však většinou malých rozměrů a hmotností, což je dáno charakterem výroby lustrových dílů. Proto je výhodné a někdy i nutné zhotovovat některé pohybující se uzly těchto strojů z hliníkových slitin. Jde o dva případy :

- 1) Různě tvarované díly, sloužící zpravidla jako nosná tělesa podavačů, zasouvačů, přidržovačů apod. Tyto díly se v současné době zhotovují klasickým třískovým obráběním (z 80.% frézováním) a vzhledem k tomu, že nejsou ve vzájemném posunu k žádnému svému sousednímu členu (jde zpravidla o rozebiratelné spojení), nejsou tedy požadavky na vyšší přesnost rozměrů a malou drsnost povrchu.
- 2) Přímochará vedení kluzná a to válcová (zpravidla složená), čtyřboká, trojboká rybinová - obr.1.1 a vedení kombinovaná - obr.1.2. Současný způsob výroby těchto vedení je založen na obkládání vodících ploch materiálem nanášeném v tekutém stavu litím (materiál 110 BG 15). Vodící plochy, na kterých se má hmota po vytvrdnutí držet, se obrábějí frézováním (vrtáním) s drsností $R_a = 6,3 \mu\text{m}$, a to asi o 1,5 až 2,5 mm více, než by odpovídalo neobklá-



obr. 1.1



obr.1.2

dáným vodícím plochám /1/. Doba potřebná pro vytvrzení před sejmutím pohyblivé části vedení u protilehlých ploch je asi 24 hodin. Úplné vytvrzení je až po třech až čtyřech dnech, což jsou někdy nepříjemné časové ztráty při montáži skupin a podskupin.

Toto bylo hlavním důvodem, proč vznikl návrh tématu diplomové práce. Záměry jsou dva:

- a) Ověřit u dvou (v současné době při výrobě jednoúčelových strojů nejpoužívanějších) hliníkových slitin 424201.61 a 424254.61, zda lze tyto slitiny na stroji MAKINO EC 3040 obrábět. Když ano, tak zda s tolerancí $\pm 0,1$ mm a drsností povrchu $R_a = 3,2 \div 6,3$ μm a s jakým ekonomickým efektem.
- b) Vyrábět nepohyblivou část přímočarých kluzných vedení klasickou cestou : - obrábění, (cementace) kalení + popouštění, broušení + případně elektroerozivní obrábění drátovou elektrodou a profil pohybujícího se protikusu vedení zhotovit ze slitiny 424261, ať již kompletní profil či v kombinaci s třískovým obráběním.

Tato slitina má velmi dobré kluzné vlastnosti. Nevýhodou však je, že drsnost povrchu kluzných ploch pouzdra i hřídele (mající podstatný vliv na zatížitelnost i životnost kluzného uložení) má být u pouzdra $R_a \leq 0,4$ μm a součet drsnosti povrchu pouzdra i čepu nejvýše $R_a \leq 0,6$ μm /2/.

Tuto slitinu (ale i výše uvedené 424201 a 424254) vyrábějí v různých tvarech průřezu tyčí (KR., PLO.) KOVOHUTĚ DĚČÍN. V současné době však nemají žádné množství, neboť vyrábějí na zakázku (od 300 kg a v cenách II.Q.91 - 65Kčs/kg). Vzhledem k tomu, že by nebylo ekonomické si nechat vyrobit byť i minimální množství, neboť nevíme, zda vůbec budeme schopni výše uvedené drsnosti dosáhnout, bylo rozhodnuto provést zkoušky na materiálech 424201 a 424254, které jsou v současné době v a.s. LUSTRY. Budou-li tyto požadované hodnoty drsnosti povrchu dosaženy na těchto materiálech (případně velice blízké) následovala by úvaha o nákupu tyčí ze slitiny 424261.

II. TEORETICKÁ ČÁST

1. Nekonenční metody obrábění

1.1. Pojem NMO a jejich základní rozdělení

Pokroky ve fyzice a fyzikální chemii umožnily najít nové principy, které je možno využít při obrábění. Na základě těchto principů se vyvinuly elektrofyzikální a elektrochemické metody obrábění, jejichž rozvoj souvisí s tím, že se v technice rozšiřuje použití materiálů s vysokou tvrdostí, odolností proti opotřebení, křehkostí, žáruvzdorností, houževnatostí apod. Těmito novými metodami se dají zhotovovat různé geometricky složité a technologicky náročné součásti a tvarové nástroje /3/.

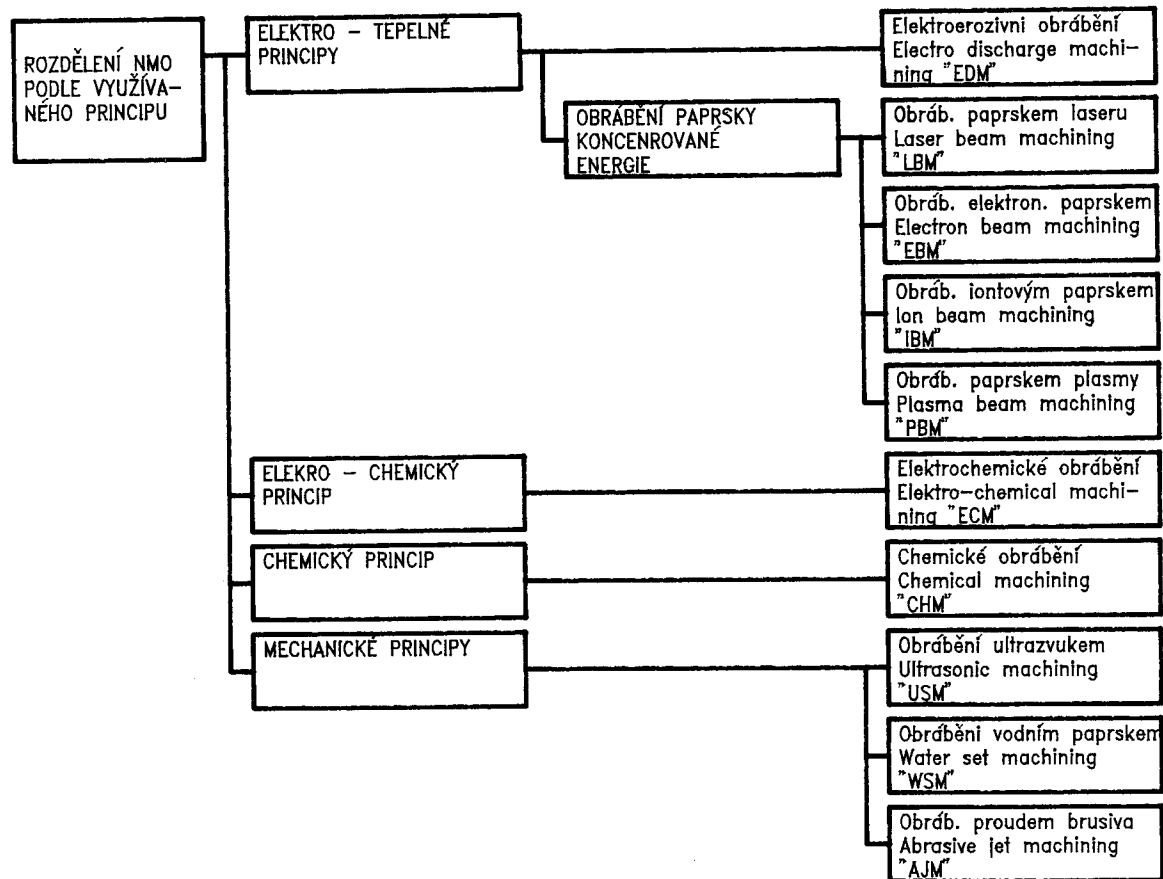
Takovéto způsoby obrábění, které v převážné míře nevyužívají mechanické práce k úběru materiálu (v porovnání s klasickým obráběním), nazýváme **Nekonenčními metodami obrábění**.

Rozdělení NMO podle využívaného principu, resp. způsobu využití energie, je uvedeno na obr.1.3. V tomto přehledu jsou pro úplnost uvedeny současně s označením obvyklým v československé technické terminologii i názvy používané v zahraničí /4/.

1.2. Tendence, důvody zavádění, výhody a nedostatky NMO

Z dnešního pohledu není název NMO dostatečně přesný, neboť dnes jsou v řadě případů elektrochemické a elektro-tepelné procesy úběru materiálu součástí průmyslového opracování materiálů /4/. Tyto netradiční způsoby obrábění jsou v mnoha případech jediným možným prvkem progresivní výroby. Základní tendence a příčiny zavádění a rozšiřování NMO lze shrnout do následujících trendů:

1. Růst nároků na konstrukci strojních součástí, vedoucí ke zvyšování podílu těžko obrobitelných materiálů (žárupevné, žáruvzdorné, vysokopevnostní materiály).
2. Rostoucí nároky na tvarovou složitost střižných



obr. 1.3

a tvářecích nástrojů, kokil pro tlakové lití a forem pro lisování plastických hmot.

3. Rostoucí nároky na tvarovou složitost řezných nástrojů z RO a SK (např. monolitní tvarové nástroje ze SK).
4. Rostoucí požadavky na komplexnost obráběných tvarů forem a zápusťek pro tvářeni, vyvolávané zcela novými konstrukčními pojetími výrobků.
5. Rostoucí nároky na výrobu přesných miniaturních součástí.
6. Rostoucí nároky na produktivitu s cílem vytvořit předpoklady pro zavedení automatizace a automatizovaných výrobních systémů do výše uvedených oblastí výroby.
7. Předpoklady velmi dobré integrovatelnosti těchto výrobních způsobů s NC řízením i systémy CAD/CAM a CIM.

K uvedeným technicko-ekonomickým předpokladům přistupuje z technického hlediska odlišný přístup k pojetí obrobiteľnosti při využití NMO /4/. V převážné většině aplikací těchto metod není obrobiteľnost materiálu limitována mechanickými vlastnostmi (tvrdostí, pevností), ale je vázána především na fyzikální vlastnosti jako je tepelná vodivost, teplota tavení, elektrická vodivost, elektroerozivní odolnost, chemické složení a podobně.

Tabulka 1

Způsob obrábění	Úběr [cm ³ .min ⁻¹]	Měr.práce * 2 [J.mm ⁻³]	Příkon obráb. [kW]
Soustružení Frézování	až 1000 (15000) * 1	1 - 10	5 - 50
Broušení	5 - 100 (80 - 1500) * 1	5 - 200	5 - 150
Elektroeroz. obrábění	5 (80) * 1	100-1000	10
Plasmové obrábění	100 (1500) * 1	500-1000	50 - 150
Obráb. elektro- novým paprskem	0,01 (0,15) * 1	1500	100
Obrábění laserem	0,005 (0,08) * 1	až 30000	5 - 15
Elektrochemic. obrábění	15 - 25 (250-400) * 1	10 - 100	200
Ultrazvukové obrábění	10 (200) * 1	1000-3000	1 - 5
Pozn. * 1 - hodnoty měrného objemového výkonu vyjádřené v [mm ³ .s ⁻¹] * 2 - Měrná práce (resp. energie) vynaložená na obrobení jednotkového objemu. Pro srovnání energie potřebná k roztavení oceli (z okolní teploty) činí 10 J.mm ⁻³ .			

Při hodnocení uvedených způsobů obrábění není bez významu též faktor bezsilového obrábění, který vytváří předpoklady vzniku povrchu bez mechanického zpevnění. Uvedený faktor bezsilového obrábění je doprovázen minimálním tepelným

zatížením obrobku. V případech metod využívajících tepelných účinků elektrického proudu pro obrábění jsou tato tepelná množství koncentrována do mikroobjemu materiálu a zasahují jen tenké povrchové vrstvy v rozsahu od několika setin milimetru až do několika milimetrů, podle zvolené metody a intenzity úběru materiálu. Celkové oteplení součástky se pohybuje řádově ve stupních a s ohledem na požadovanou přesnost výroby je závislé též na tepelné stabilizaci obráběcího stroje.

K základním nedostatkům sledovaných NMO patří především malá produktivita vlastní metody. Porovnání dosahovaných objemových výkonů (úběrů) Q_v [$\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$] technologií třískového obrábění a NMO je ve shora uvedené tabulce současně s hodnotami měrné práce E [$\text{J} \cdot \text{mm}^{-3}$], které charakterizují energetickou náročnost jednotlivých technologií. Přes nízkou produktivitu vlastního úběru, vyplývající z použitého fyzikálního principu, umožňující vhodné přístupy dosažení vysokých úspor pracnosti a nákladů při výrobě zejména velmi složitých tvarů (řádově i stovky procent).

Určité další problémy v zavádění NMO tvoří též vysoká pořizovací cena kvalitních obráběcích strojů a též i značná energetická náročnost některých výrobních způsobů. Některé další otázky produktivity, energetické náročnosti a stavu povrchu budou podrobněji diskutovány v následujících kapitolách, věnovaných zejména elektroerozivnímu obrábění.

1.3. Úroveň nasazení NMO ve světě a u nás

Podle statistik uvedených v zahraničních odborných publikacích, hodnotících úroveň využití NMO podílem strojů pracujících na některém z uvedených principů k celkovému počtu obráběcích strojů je zřejmé, že ČSFR nedosahuje ani průměr vyspělých kapitalistických států, přičemž většina aplikací uvedených NMO spadá do oblasti elektroerozivního a elektrochemického obrábění /4/. Největší podíl v zastoupení představují elektroerozivní obráběcí stroje (asi 2/3).

V současné době ve vyspělých státech lze sledovat až 40-60 % zastoupení elektroerozivního obrábění v oblasti výroby střižných nástrojů, forem a zápusťek.

Průmyslové využití elektrochemického obrábění v československém strojírenství je podle dostupných údajů představováno počtem asi 100 ks obráběcích strojů, určených pro hloubení dutin, odstraňování otřepů a broušení, přičemž úroveň technologických aplikací řádově od konce 70.let stagnuje.

Růst použití laserů v oblasti zpracování materiálů byl relativně pomalý až do roku 1980. Teprve, když byly k dispozici lasery větších výkonů, začal pronikat laser i do letectvého a automobilového průmyslu a dalších odvětví strojírenské výroby.

Současný stav laserové techniky v ČSFR je převážně zaměřen fyzikálně-experimentálním směrem. Obecně je Československo v aplikacích technologických laserů ve strojírenství za světovým vývojem zpožděno asi o 8 let. Z provedených rozborů vyplývá, že laserové přístroje jsou převážně nasazovány k měřicím účelům.

Pokud se jedná o zbývající NMO, lze podle dostupných pramenů vyslovit předpoklad obdobné situace v nedostatečně intenzivních aplikacích ve strojírenské výrobě s tím, že prvořadým úkolem bude v co nejkratším čase zabezpečit podstatně větší podíl těchto strojů a technologií v průmyslové výrobě.

2. Elektroerozivní obrábění

2.1. Teoretická podstata elektrické eroze a základní zákonitosti elektroerozivního obrábění

Základem tohoto elektro-tepelného způsobu úběru materiálu je fyzikální jev, obecně označovaný jako elektroeroze. Již v roce 1768 anglický vědec J.Priestley při studiu chování plynů zaznamenal, že na vodivých plochách (kovech), při elektrickém výboji v plynu, vznikají krátery /4/. Tento jev, později označený jako elektroeroze, se stal předmětem výzkumu v oblasti fyziky plynné a kapalně fáze a elektrotechniky izolantů /12/.

Vlastní výzkum elektroerozivního obrábění má však specifické odlišnosti, jelikož je zaměřen na sledování výbojů

mezi elektrodami v malé vzdálenosti (5 - 100 μm) a převážně v podmínkách kapalného a znečištěného dielektrika. S ohledem na průmyslové aplikace byla elektrická eroze zkoumána zejména v oblasti vývoje a konstrukce kontaktních spínacích zařízení, kde je jevem nežádoucím, vyvolávajícím opotřebení kontaktů /13/.

Za autory prvního technologického využití jsou všeobecně uznáváni sovětské výzkumníci (manželé Lazarenkovi), kteří v období let 1938 - 1944 prováděli intenzivní výzkum elektrických výbojů pro obrábění kovů, na základě kterého, definovali tyto hlavní zákonitosti elektroeroze /5/:

- všechny elektricky vodivé materiály podléhají elektrické erozi,
- tyto materiály podléhají elektrické erozi jak v plynném, tak i v kapalném prostředí (dielektriku),
- vhodným zapojením a volbou parametrů obvodu, lze docílit přeměny stacionárního výboje (oblouku) na opakovaně nestacionární výboje, umožňující podstatně přesnější rozrušování materiálu. Jimi navržené zapojení použitého generátoru výbojů, označované jako Lazarenkovo zapojení, bylo dlouho používáno v oblasti elektroerozivního obrábění jako nejrozšířenější zdroj výbojů.

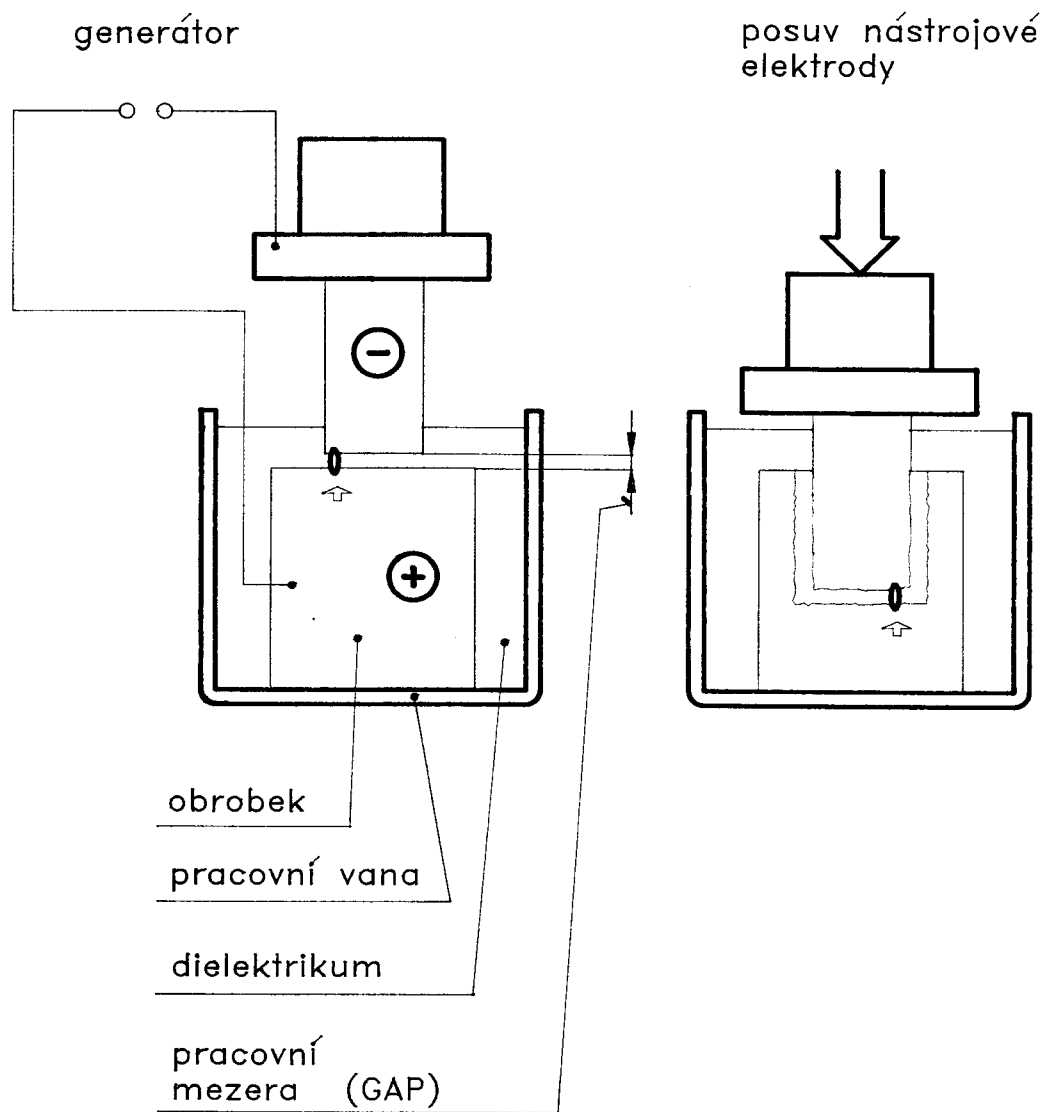
S ohledem na potřebu bude v následující části práce vysvětlena podstata a průběh výboje pouze pro případ kapalného dielektrika, která je při vlastním obrábění vždy znečištěna jak vodivými, tak i nevodivými částicemi. Podrobnější vysvětlení a rozdíly mezi výbojem v plynném, kapalném neznečištěném a znečištěném dielektriku, lze nalést v doporučené literatuře.

Fyzikální pochod úběru materiálu elektrickým výbojem je velmi komplexní jev. Jak je zřejmé z obr.2.1, obrábění probíhá na dvou elektrodách při ponoření do pracovního média /6/. Tímto médiem je dielektrikum, tj. kapalina s vysokým elektrickým odporem. Vznik výboje mezi elektrodami je vyvolán přivedením napětí na elektrody. Výše tohoto napětí závisí především na následujících faktorech :

- vzdálenosti mezi elektrodami,
- vodivostí dielektrické kapaliny,

-znečištění dielektrika.

Ke vzniku výboje dochází v místě nejsilnějšího elektrického napětového pole. Vlivem působení tohoto pole se uvádějí do pohybu volné záporné a kladné ionty, zrychlují se a nabývají vysoké rychlosti. To vede k vytvoření ionizovaného (vodivého) kanálu. V tomto stavu začíná mezi elektrodami protékat elektrický proud a mezi elektrodami vzniká výboj, který vyvolává řadu dalších srážek částic. Vzniká plasmové pásmo, které dosahuje velmi vysoké teploty (podle typu výbo-



obr. 2.1

je 3000 - 12000°C). To způsobuje tavení a odpařování určitého množství materiálu na elektrodách.

Současně vzniká odpařováním dielektrika plynová bublina, jejíž tlak dosahuje vysoké hodnoty. V okamžiku přerušení proudu vyvolá pokles teploty implozi této bubliny. Do uzavřeného prostoru proniká dielektrikum a velké dynamické síly vymrštují roztavený materiál z kráteru. V důsledku chladícího účinku dielektrika tento materiál tuhne a je odváděn dielektrikem ve formě drobných kuliček.

Časový průběh jednotlivých fází takového výboje, včetně průběhu napětí a proudu mezi elektrodami, je graficky znázorněn na obr.2.2. Jednotlivé fáze, I - IX sledovaného výboje /4,6/, lze charakterizovat následujícími údaji :

Fáze I: V okamžiku přiložení napětí na obě elektrody se začne vytvářet elektrické pole. V důsledku nerovnosti elektrod se v místě minimální vzdálenosti vytváří místo maximálního gradientu. Elektricky vodivé částice (znečistění) jsou vtahovány do tohoto místa.

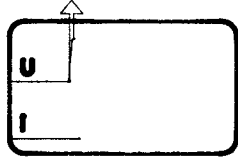
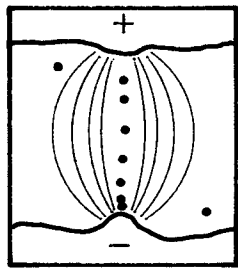
Fáze II: Přiložené napětí dosahuje maximální hodnoty, elektricky vodivé částice vytváří můstky, jako základ potřebný k zapálení výboje.

Fáze III: Působením elektrického pole se začínají ze záporně nabitých elektrod uvolňovat částice - elektrony. Tyto se srážejí v prostoru s neutrálními částicemi a tříští se. Tak vznikají v kanále kladné a záporné ionty. Tento proces probíhá lavinovitě a nazýváme ho ionizací prostředí.

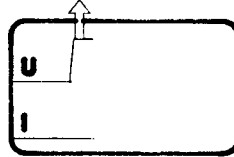
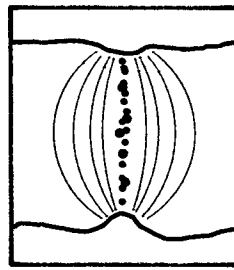
Fáze IV: Ionty obalují střed budoucího výbojového kanálu a klesá odpor výbojového kanálu. Mezi elektrodovým prostorem začíná protékat proud, roste proudová hustota (asi $10^6 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$) vytváří se vodivý kanál z plasmy. Roste teplota na povrchu elektrod. Roste proud a klesá napětí na elektrodách.

Fáze V: Začíná odpařování dielektrika a vzniká plynová bublina. V důsledku nárazu částic dochází k uvolňování vysokého množství tepelné energie (teplota až 10 000 °C). Nárazy elektronů na anodu a iontů

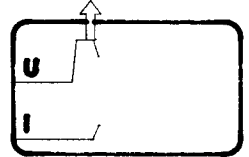
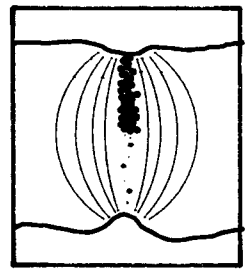
Fáze I



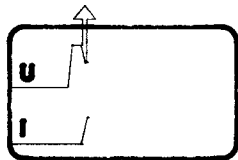
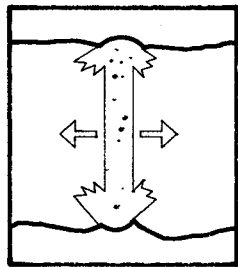
Fáze II



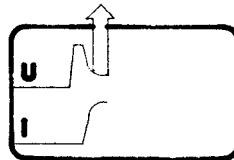
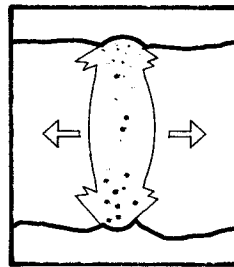
Fáze III



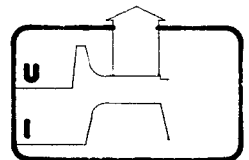
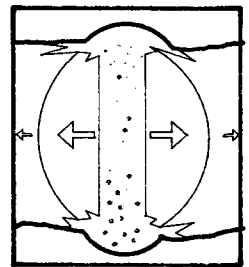
Fáze IV



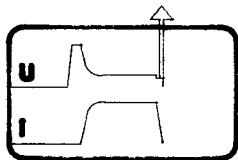
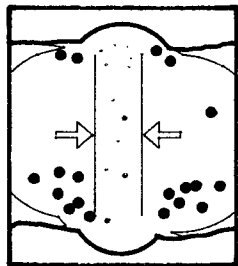
Fáze V



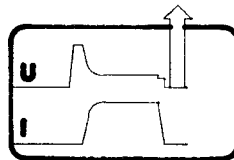
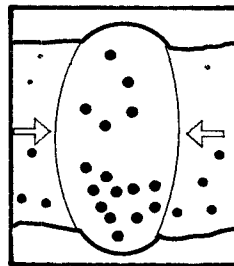
Fáze VI



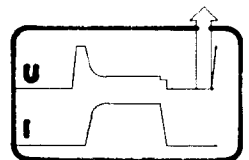
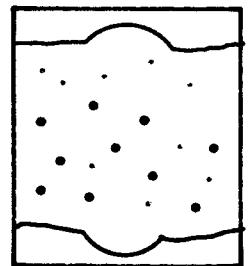
Fáze VII



Fáze VIII



Fáze IX



obr. 2.2

na katodu způsobují ohřev ohraničených míst obou elektrod, jejich tavení a odpařování. Protékající proud dosahuje maximální hodnoty a napětí se ustaluje na tzv. zápalné hodnotě výboje.

Fáze VI: Dochází k intenzivní expanzi bubuliny a intenzivnímu tavení a vypařování materiálu.

Fáze VII: Přerušeni přiváděné energie a pokles proudu v mezielektrodové mezeře, vyvolá snížení dodávky tepla. Pokles teploty je příčinou začátku imploze plynové bubliny. Síly elektrického pole a pokles tlaku plynů (kavitace), způsobují rozrušení materiálu vytrháváním taveniny do prostoru (vznik kráteru).

Fáze VIII: Pracovní proud a napětí v mezielektrodové mezeře klesá na nulovou hodnotu. Dochází k zániku bubliny a výboje. Do vzniklého kráteru vniká dielektrikum, které ochlazuje taveninu a zabraňuje průniku tepla do hlubších vrstev kovu. Odebraný materiál zůstává v dielektriku ve formě spalin a mikročástic, tvaru kuliček, vzniklých z taveniny kovu. Objem vytvořeného kráteru dosahuje řádově hodnoty $10^{-3} - 10^{-5} \text{ mm}^3$.

Fáze IX: Stav před začátkem nového výboje. Dielektrikum je znečištěno produkty eroze a obsahuje zbývající volné ionty, které vytváří základ tvorby nového výbojového kanálu.

Uvedený průběh výboje odpovídá svým charakterem výboji získanému pomocí polovodičového generátoru, který je typickým představitelem zdrojů výbojů 2. generace, používaných u moderních elektroerozivních strojů.

Cílem elektroerozivního obrábění je dosáhnout opakovanými výboji na jedné elektrodě - obrobku - maximálního úběru materiálu a na druhé elektrodě - nástroji - naopak co nejmenšího úbytku materiálu a tím i minimálního opotřebení nástroje. Z tohoto hlediska je nutné také vycházet při realizaci elektroerozivního obrábění a volit podmínky obrábění. Tyto jsou dány především následujícími údaji :

- vhodným způsobem dodávání energie, tj. zapojením obvodu, jeho polaritou a elektrickými parametry charakterizujícími

- jednotlivé výboje a jejich četnost,
- volbou správného materiálu nástrojové elektrody vzhledem k obráběnému materiálu,
- vhodným pracovním prostředím (dielektrikem).

2.2. Pracovní podmínky a charakteristika výbojů

Velikost a tvar kráteru vytvořeného elektrickým výbojem jsou dány velikostí vybíjecí energie /4/. Zvětšený profil vzniklého kráteru je uveden na obr.2.3, přičemž jeho rozměry (průměr d , hloubka h) závisí na hodnotě přivedené energie a době výboje a mají podstatný význam pro drsnost opracované plochy, přesnost rozměrů a účinnost procesu. Množství odebraného materiálu je úměrné vybíjecí energii a lze jej vypočítat z následující rovnice :

$$V_i = K \cdot W_i \text{ [mm}^3 \text{]}, \quad (1)$$

kde W_i [J] je energie výboje a K je součinitel, který bude mít různé hodnoty jak pro katodu, tak i anodu. Časový průběh výboje je obvykle určován řadou charakteristik, které jsou zobrazeny na obr.2.4, pro dnes nejčastější tvar výboje, získaný při použití polovodičového generátoru. V uvedeném obrázku jsou současně vyznačeny jednotlivé fáze výboje (I - IX) v souladu s obr.2.2. K základním fyzikálním charakteristikám, umožňujícím popis výboje náleží především :

doba impulsu t_i : Časový úsek mezi zapojením a vypojením generátoru. Pro dobu impulsu platí $t_i = t_a + t_e$.

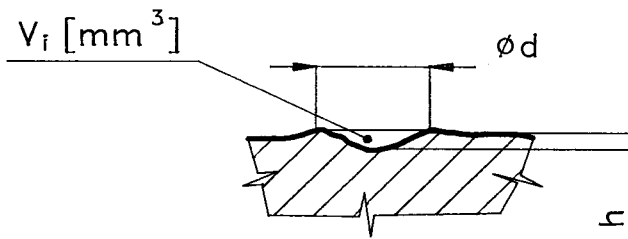
doba pauzy t_o : Časový úsek mezi vypojením a novým zapojením generátoru (pro další impuls).

doba zpoždění výboje t_d : Čas mezi okamžikem zapojení generátoru a průrazem dielektrika (okamžikem vzrůstu proudu v pracovní mezeře).

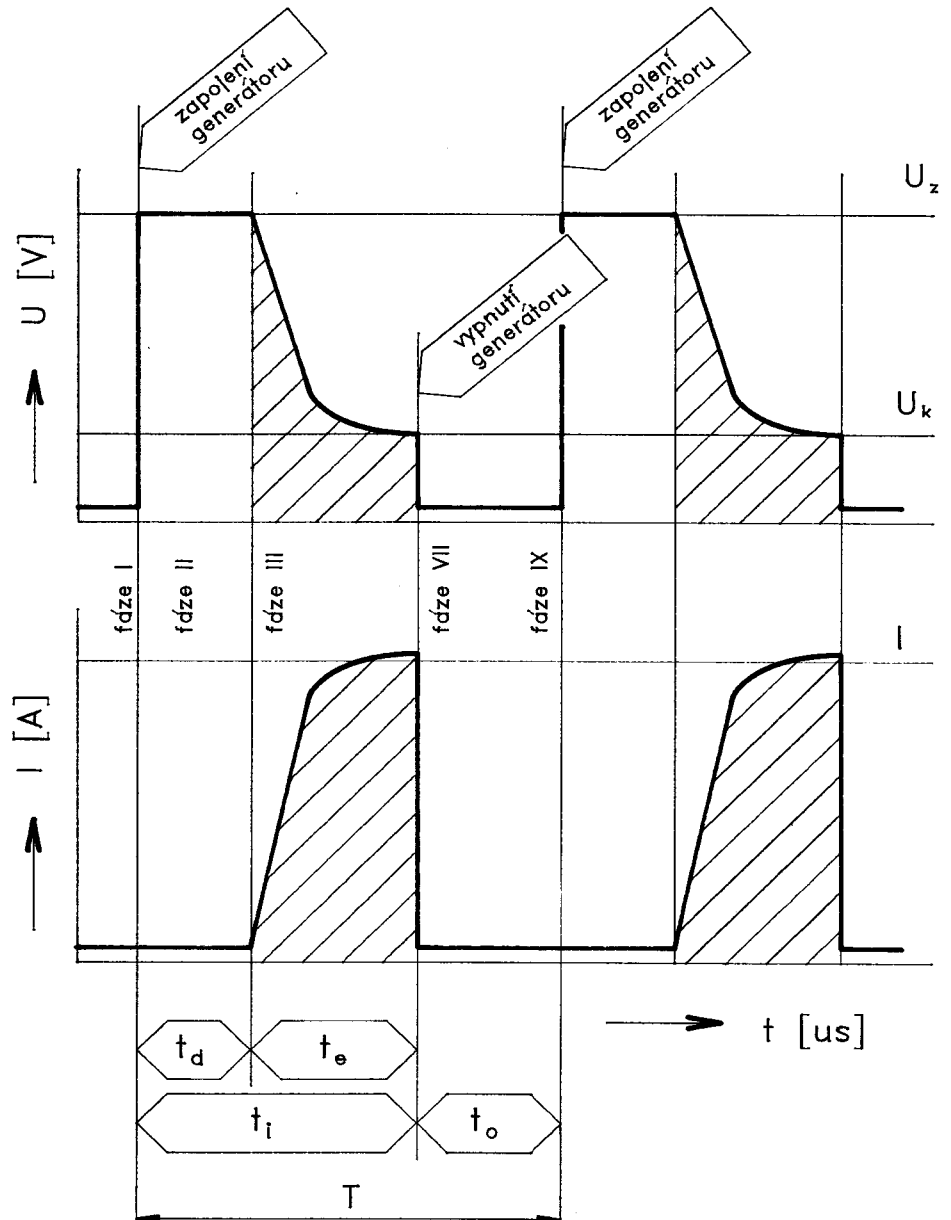
doba výboje t_e : Časový úsek mezi zapálením výboje a vypnutím generátoru (skutečná činná doba výboje).

doba periody T : Časový úsek určený dobou impulsu a pauzou ($T = t_i + t_o$), určující frekvenci výbojů.

napětí naprázdno U_z : Napětí při zapnutí generátoru (zápalné napětí výboje).



obr. 2.3



obr. 2.4

pracovní proud výboje I: Maximální vybíjecí proud protékající mezi elektrodami v okamžiku výboje.

střední vybíjecí proud I_e : Střední hodnota proudu mezi okamžikem zapálení a vypnutí generátoru.

střední vybíjecí napětí U_e : Střední hodnota napětí mezi okamžikem zapálení výboje a vypnutím generátoru.

napětí U_k : Hodnota napětí při zhasnutí výboje. Tato hodnota nepatří mezi volitelné veličiny. Je závislá na ostatních pracovních podmínkách (obráb.materiál, dielektrikum a jeho stav) a v řadě případů se využívá při řízení a optimalizaci procesu obrábění.

Uvedené veličiny umožňují určit celkové množství odebraného materiálu. Pro energii jednotlivého výboje obecně platí

$$W_i = \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt \text{ [J]}. \quad (2)$$

Celkové množství odebraného materiálu za jednotku času - úběr Q_v [$\text{mm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] (resp. objemový výkon obrábění), je dán součtem úbytků na obou elektrodách (bez ohledu na polaritu a z ní vyplývá rozdělení na jednotlivé elektrody). V závislosti na energii jednotlivých výbojů a jejich frekvenci platí, pro případ dle obr.2.2,

$$Q_v = K_i \cdot f \cdot r \cdot \Omega \cdot \int_0^T u(t) i(t) dt \text{ [mm}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}, \quad (3)$$

kde f frekvence výbojů [s^{-1}],

r účinnost el.výboje,

K_i součinitele úměrnosti pro katodu a anodu.

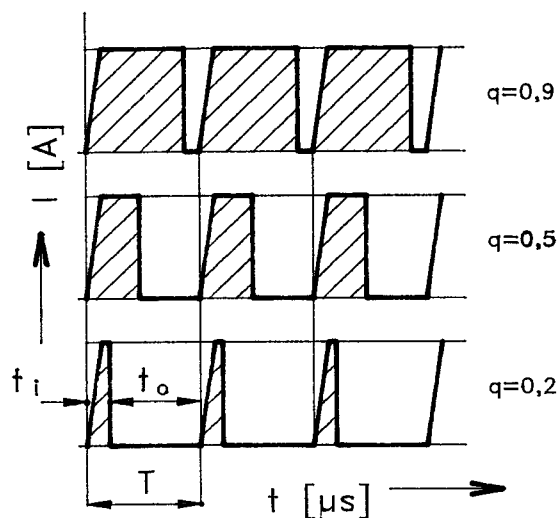
Z uvedené rovnice (2) vyplývá, že množství odebraného kovu

(rychlost úběru) je především úměrné frekvenci výbojů, napětí, proudu a době trvání výboje.

S ohledem na značný význam časového průběhu výboje na intenzitu úběru materiálu a kvalitu obráběné plochy a pro možnost systematického rozdělení výbojů, je vhodné zavést veličinu tzv. časového využití periody výboje, pro kterou platí

$$q = \frac{t_i}{T} = \frac{t}{t_i + t_o} \quad (4)$$

Tato veličina umožňuje číselnou hodnotou charakterizovat formu výboje, jak je zřejmé z obr.2.5 a podává názornější pohled na časový průběh výboje, než parametry t_i , t_o , T , které se v praxi uvádějí v mikrosekundách.



obr. 2.5

Podle časového průběhu dodávané energie do místa výboje rozdělujeme elektrické výboje na :

1. Výboje elektrickou jiskrou,
2. Výboje nestacionárním krátkodobým elektrickým obloukem.

Elektrojiskrové výboje jsou charakterizovány krátkou dobou impulsu $t = 10^{-4} \div 10^{-6}$ s, při malých hodnotách časového využití periody výboje, dosahujících hodnot $q = 0,03 \div 0,2$ a při vesměs značně vysokých frekvencích výbojů. Ve výbojo-

vém kanále převládá elektronová vodivost, vyvolávající vyšší úbytek anody proti katodě, která elektrony uvolňuje (vyšší tepelný účinek dopadu elektronů na anodě). V místě výboje je dosahováno velmi vysoké hustoty proudu (asi 10^6 A.mm⁻²). Uvedeným hodnotám odpovídá vysoká koncentrace energie ($10^5 \div 10^7$ W.mm⁻²) a tvorba teploty ve výbojovém kanále, dosahující hodnot až 10 000 °C. S ohledem na nižší energie jednotlivých výbojů ($W_i = 10^{-5} - 10^{-1}$ J), viz rovnice (3), jsou takto generované výboje používány v převážné míře pro obrábění menšími úběry, tj. dokončování.

Krátkodobé elektrické oblouky jsou charakterizovány delší dobou impulsu $t_i > 10^{-4}$ s, při vyšších hodnotách časového využití periody výboje $q = 0,2 - 1$ a obecně nižších frekvencích výbojů. Ve výbojovém kanále většinou převládá iontová vodivost. Uvolňuje se větší počet kladných částic, vyvolávající svými dopady na katodu větší tepelný účinek a tím i úběr této elektrody. Ve výbojovém kanále dosahuje proudová hustota $10^2 - 10^3$ A.mm⁻² při teplotě 3300 - 3600 °C. Vyšší hodnoty energie jednotlivých výbojů ($W_i = 10^2$ J) předurčují tento typ výbojů pro hrubovací obrábění.

I když tvar vyhloubení (kráteru) ovlivňují také jiné faktory, může se obecně vycházet z toho, že pro daný elektroerozivní stroj jsou poměry při obrábění v podstatě závislé na energii jednotlivých výbojů a na době jejich trvání. Vliv trvání výboje ovlivňuje mimo jiné drsnost obráběného povrchu a strukturální změny povrchu.

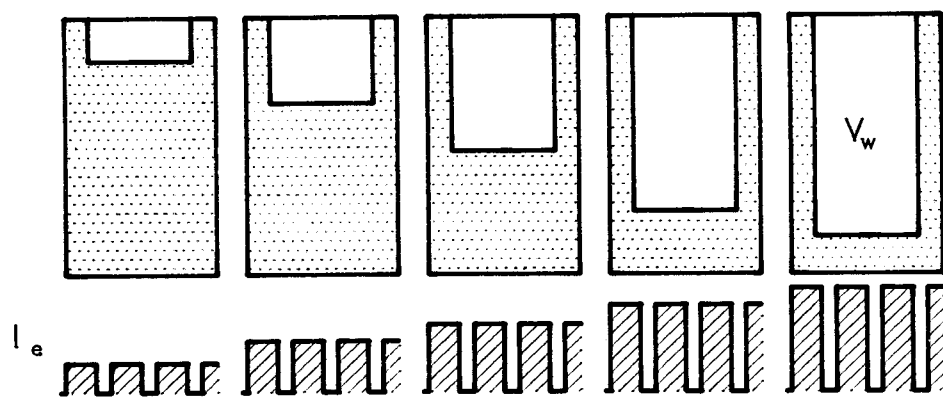
2.3. Vztah mezi fyzikálními veličinami a průběhem obrábění

Opotřebení elektrod

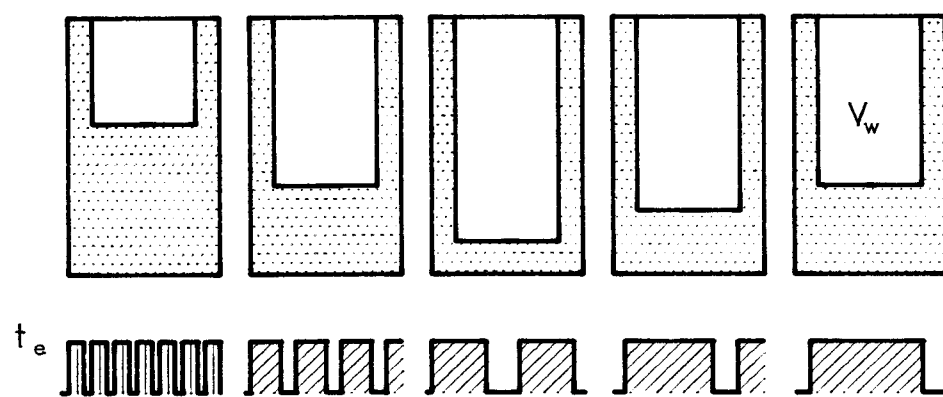
Eroze nepatrným proudem způsobuje malé úběry. Naopak velký proud způsobuje velký úběr materiálu (obr.2.6). Zároveň ale také stoupá množství odebraného materiálu na pracovní elektrodě /6/.

Vliv délky impulsu na velikost odebraného materiálu je znázorněn na obr.2.7.

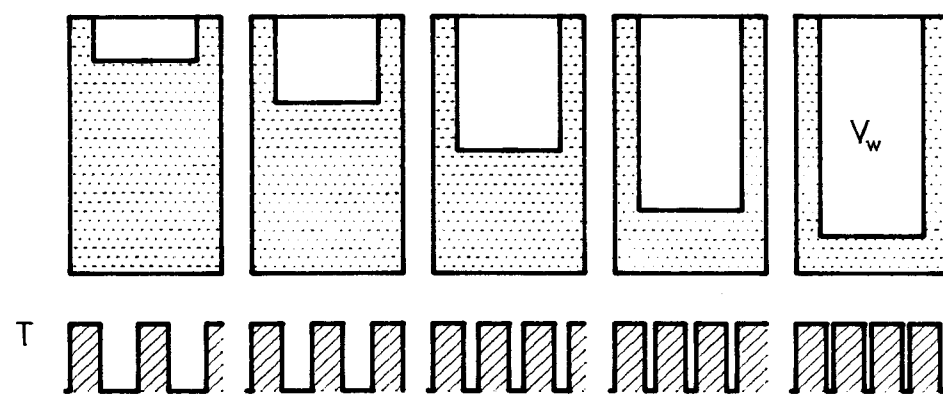
V neposlední řadě hraje důležitou roli pauza mezi výboji. Její vliv na průběh procesu je patrný z obr.2.8.



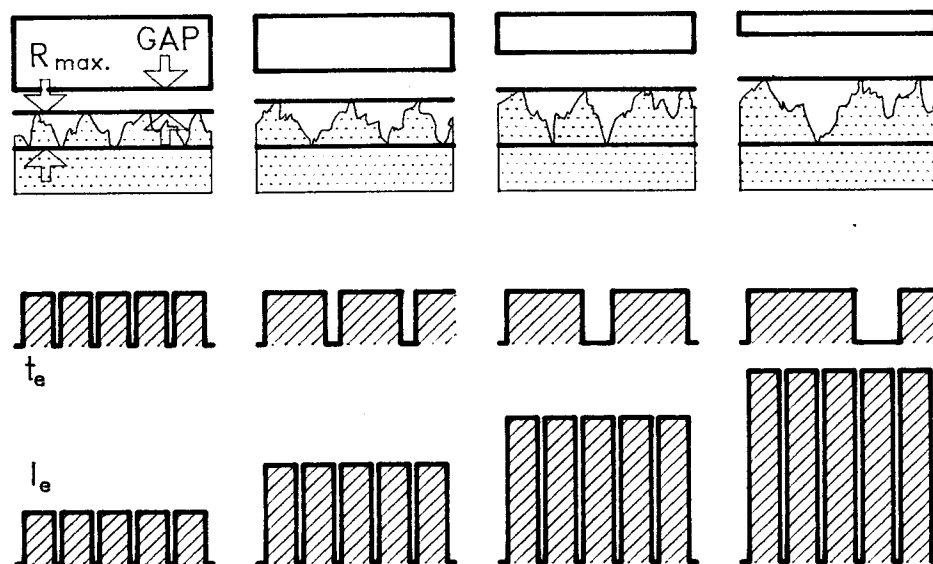
obr. 2.6



obr. 2.7



obr. 2.8



obr. 2.9

Drsnost povrchu

Že výbojová energie má rozhodující vliv na drsnost povrchu ukazuje obr.2.9. Obsah energie jednoho impulsu odpovídá červeně šrafované ploše. Velmi jednoznačný je vztah, že čím nižší výbojová energie, tím menší drsnost a naopak. Při obrábění načisto (nahladko) očekáváme např. určitou drsnost. Ta odpovídá jisté výbojové energii, která je dosažena nastavením výbojového proudu (výška impulsu) a trváním impulsu (šířka).

2.4. Generátory výbojů pro elektroerozivní obrábění

Je zřejmé, že parametry impulsů patří k nejdůležitějším charakteristikám procesu, určujícím technologické ukazatele obrábění /4/. Jednotlivé technologické aplikace využívají různých forem elektrických výbojů, které jsou na nástrojovou elektrodu a obrobek přiváděny ve formě impulsů určité frekvence. Každý impuls je z tohoto hlediska charakterizován napětím a proudem (viz obr.2.4) a dále svým tvarem.

Jednotlivé impulsy se vyrábějí pomocí elektronické části obráběcího stroje - generátorů, který je jednou z nejdůležitějších částí stroje. Dnes existuje celá řada zapojení a konstrukcí generátorů výbojů.

2.4.1. Elektrojiskrové (relaxační) generátory závislé (RC a RLC) :

Tyto zdroje patří k nejstarším generátorům výbojů a vycházejí ze zapojení a principů, používaných při osvojení erozivního obrábění. Činnost tohoto generátoru spočívá v opakovaném nabíjení a vybíjení kondenzátoru ze zdroje stejnosměrného napětí. Kondenzátor je paralelně zapojený do obvodu. Vybití kondenzátoru nastává tehdy, když velikost napětí dosáhne průrazné hodnoty. Velikost tohoto průrazného napětí je závislá mimo jiné na znečištění dielektrika a mezielektrodové vzdálenosti. Změnou poměrů v jiskřišti se mění i frekvence výbojů a energie jednotlivých výbojů. Pro tuto závislost na poměrech v jiskřišti se tyto generátory nazývají závislé. Zdroje produkují velmi krátké výboje $t_i = 10^{-4} \div 10^{-7} \text{ s}$, ve kterých převládá elektronová vodivost.

K nejvíce oceňovaným výhodám uvedených zdrojů patří jednoduchost a spolehlivost. Mezi nevýhody omezená možnost regulace tvaru a frekvence výbojů, nízká produktivita obrábění (úběr nepřesahuje obvykle $0,5 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ pro obrábění ocelí; $0,1 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ při obrábění SK), značné opotřebení nástrojové elektrody. Z tohoto hlediska jsou tyto generátory vhodné pouze pro oblast obrábění na čisto.

2.4.2. Nezávislé zdroje výbojů

Za účelem zvýšení produktivity obrábění byly v průběhu rozvoje erozivního obrábění vyvinuty dvě základní skupiny zdrojů výbojů, které umožňují rozmanitou volbu pracovních podmínek, bez ohledu na poměry v pracovní mezeře. Charakterizujícím znakem těchto zdrojů je delší doba trvání impulsů, nižší pracovní napětí a v řadě případů opačná polarita výbojů (převaha iontové vodivosti - obrobek katoda, nástroj anoda).

a) Mechanické generátory kolektorové a bezkolektorové

U tohoto zdroje vznikají impulsy roztáčením dynama pomocí asynchronního motoru. Uvedené zdroje umožňují značně vysoké úběry (až asi $5 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$). K nevýhodám patří hluchost, obtížná změna frekvence (dána otáčkami) a potřeba dokončovacího generátoru pro obrábění na čisto.

b) Tranzistorové širokorozsahové nezávislé generátory

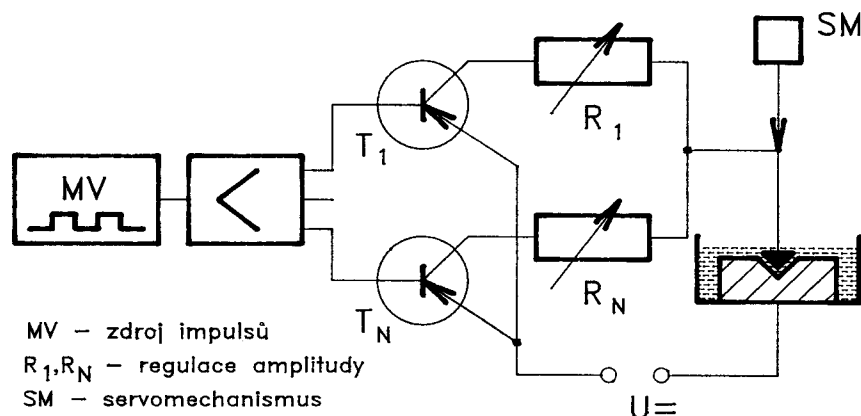
Tyto generátory, označované jako 2. generace zdrojů výbojů, umožňují velkou variabilitu elektrických parametrů impulsů. Funkční schéma tranzistorového generátoru je uvedeno na obr. 2.10 a typické průběhy proudu a napětí odpovídají obr. 2.4. Po sepnutí tranzistoru, zapojeného do série s jiskřištěm, se na elektrodách objeví napětí a za předpokladu, že mezielektroková vzdálenost je příznivá pro jeho průraz, protéká po dobu sepnutí tranzistoru obvodem pracovní proud. Přerušování výboje se uskutečňuje uzavřením tranzistoru. Základní částí generátoru, který určuje dobu trvání impulsu t_i a dobu pauzy t_o , je multivibrátor. Impulsy generované multivibrátorem se zesilují v impulsním zesilovači, který budí výkonové spínací tranzistory. Počtem navzájem paralelně zapojených tranzistorů je potom určován pracovní proud. Uvedené zdroje umožňují též obrábění více elektrodami současně a to vhodným zapojením elektrod na jednotlivé tranzistory. Mimo to umožňují tranzistorové zdroje práci pomocí složených impulsů (bipulsy), viz. obr. 2.11. Průběh proudu v základní části impulsu I_z a v pohyblivé části impulsu I_p lze měnit počtem spínacích tranzistorů. Hodnoty posunutí τ jsou regulovatelné od 0 do t_i . Tímto je dosaženo operativní změny proudu v širokém rozsahu, což se využívá při obrábění na čisto. Tyto generátory zajišťují podstatné snížení úbytku nástrojové elektrody (zvýšení přesnosti obrábění) při značném nárůstu produktivity obrábění.

V oblasti použití moderních erozivních obráběcích strojů se dnes vesměs používají takovéto impulsní zdroje, neboť jsou automaticky řízeny (adaptivně) CNC řídicími systémy obráběcího stroje podle zadaných technologických

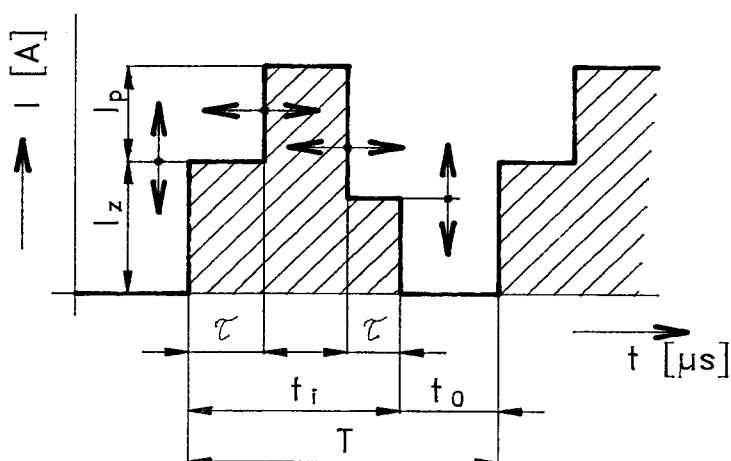
a pracovních parametrů. Na obr.2.12. je uvedeno informativní schema řídicí části elektroerozivního CNC hloubícího centra firmy Deckl.

Dosahované výkony na jeden ampér proudu v impulsu se pohybují u těchto moderních strojů v rozsahu $8 \div 10 \text{ mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (při max. proudech až do 400 A) a dosažitelné drsnosti $R_a = 0,15 \text{ } \mu\text{m}$. V případech elektroerozivního řezání drátovou elektrodou dosahují špičkové stroje zahraničních firem výkonů $35 \div 70 \text{ mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ (plošný výkon řezání) a drsností pod $R_a = 0,4 \text{ } \mu\text{m}$.

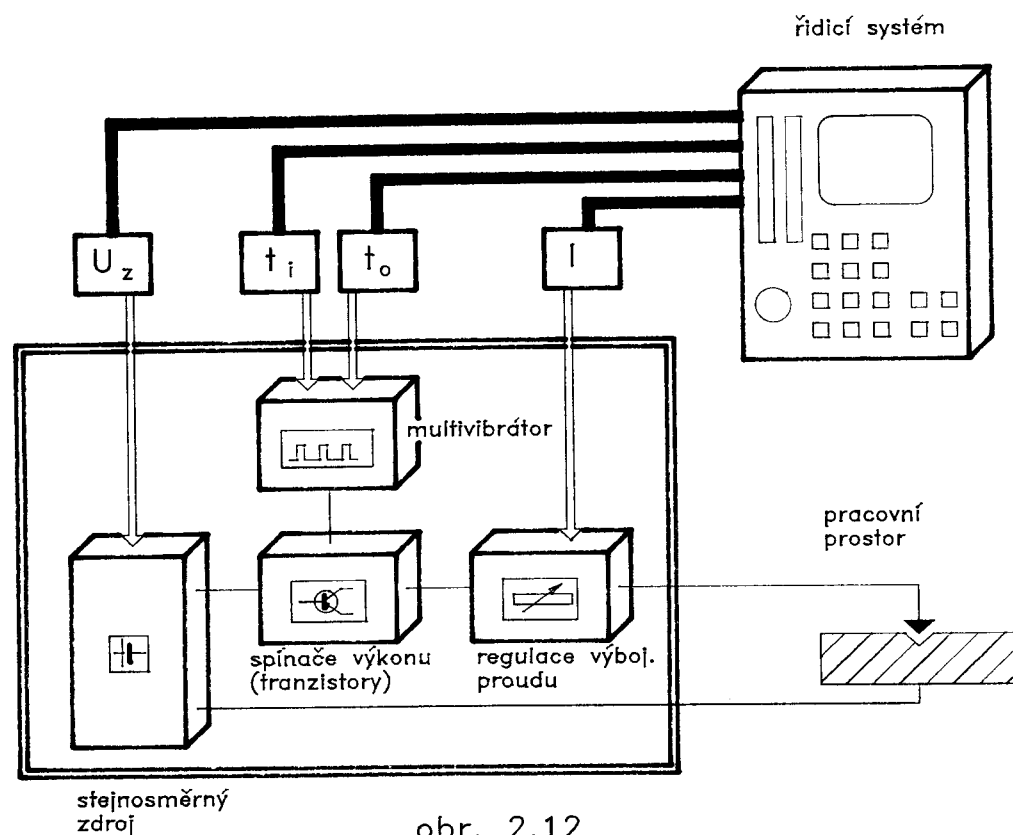
Vzájemné porovnání parametrů výbojů nejdůležitějších výše popsaných zdrojů je uvedeno na obr. 2.13.



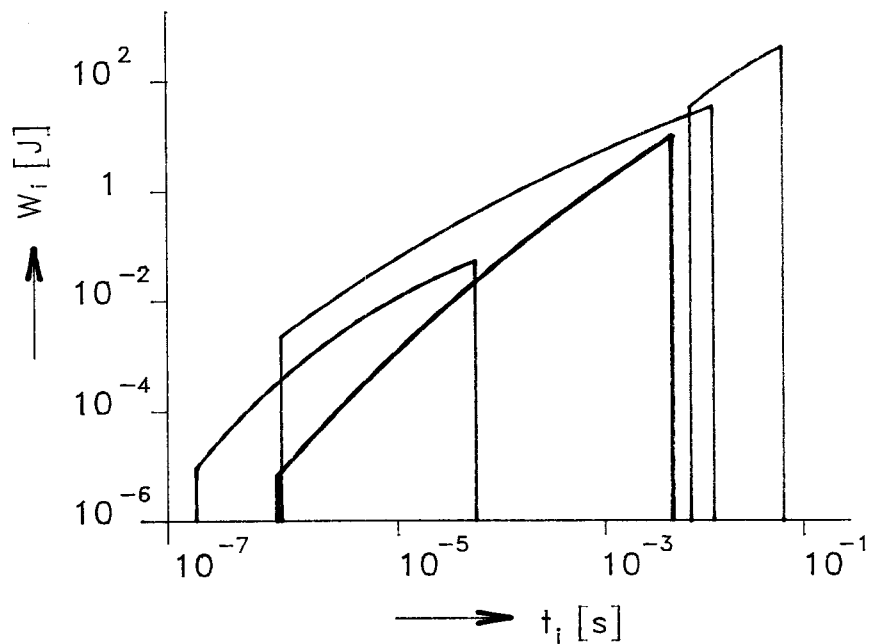
obr. 2.10



obr. 2.11



obr. 2.12



- elektrojiskrové generátory závislé RC a RLC
- vysokofrekvenční elektrojiskrové generátory
- nízkofrekvenční impulsní rotační generátory
- širokorozsahové impulsní tranzistorové generátory

obr. 2.13

2.5. Regulace přísuvu nástrojové elektrody

Nedílnou součástí každého elektroerozivního stroje je servomechanismus, umožňující regulaci přísuvu nástrojové elektrody a nastavení čelní pracovní mezery a (v zahraniční odborné literatuře označované jako GAP), viz obr.2.1. Optimální velikost této pracovní mezery, potřebné pro vytvoření výboje, je závislá na pracovních podmínkách (zejména I , U_z , t_i , t_o), dielektriku a materiálu elektrod /4,6/. Úkolem servomechanismu je nastavovat optimální vzdálenost elektrod a tím zajišťovat plynulost erozivního úběru. Vlastní regulace je nejčastěji odvozena od napěťových (případně proudových) poměrů v jiskřišti.

Vlastní servomechanismy využívají různých principů pro změnu polohy a to :

- elektrických principů (solenoidu),
- elektromechanických principů (např. mechanického převodu a krokového motoru),
- hydraulických principů.

Převážná část moderních elektroerozivních strojů používá řízení pomocí krokových motorů z důvodu nejjednodušší vazby na CNC řídicí systémy.

2.6. Obrobitelnost kovů elektroerozivním obráběním, materiál nástrojových elektrod, polarita obvodu

Celkové množství odebraného materiálu vzniklé působením výboje se rozloží na úbytek anody a katody /4/. Při vlastním obrábění vzniká tedy opotřebení nástroje, vyvolávající změnu jeho rozměrů a tvaru. Cílem volby pracovních podmínek je zajistit minimální opotřebení nástroje při požadované produktivitě a drsnosti obrobené plochy. Úbytek elektrod je závislý především na elektrických parametrech výboje, polaritě zdroje a fyzikálních vlastnostech materiálu (teplota tavení, elektrická vodivost, tepelná vodivost, hodnota měrného tepla). Mechanické vlastnosti nemají výrazný vliv na odolnost proti elektrické erozi. Mezi další vlastnosti, ke kterým je nutno přihlížet, patří dobrá obrobitel-

nost, dostatečná pevnost a nízká pořizovací cena.

Vliv teploty tavení na obrobitelnost (odolnost proti elektrické erozi) je zřejmý z tab.2, ve které jsou uvedeny rozměry kráteru (viz obr. 2.3) získané jednotlivým výbojem generátoru ($I = 100 \text{ A}$, $U_0 = 46 \text{ V}$, $C = 1100 \text{ } \mu\text{F}$).

Tabulka 2

Materiál	$T_{\text{tav}} [^{\circ}\text{K}]$	$\varnothing d [\text{mm}]$	$h [\text{mm}]$	$V_i [\text{mm}^3]$
W	3650	0,8	0,09	0,021
Cr	2176	0,7	0,11	0,025
Ti	1938	1,0	0,16	0,047
Fe	1812	1,3	0,20	0,133
Co	1768	1,3	0,21	0,133
Ni	1728	1,5	0,22	0,199

Pod pojmem polarita elektrické eroze označujeme převyšující erozi jedné elektrody nad druhou. Jako kladnou polaritu (přímou) označujeme takové zapojení, převládá-li úbytek na anodě. Jak již bylo uvedeno je polarita určena jednak zdrojem výbojů a dále je závislá na fyzikálních veličinách materiálu elektrod (poměru teplot tavení, tepelné a elektrické vodivosti).

Pro snazší optimalizaci volby materiálu nástrojové elektrody byla zavedena poměrná veličina, nazývaná relativní objemové opotřebení, pro které platí :

$$v = \frac{V_n}{V_o} = \frac{\text{objemové opotřebení nástroje}}{\text{odebraný objem materiálu obrobku}} \cdot 100 \%$$

Hodnoty tohoto relativního objemového opotřebení jsou určeny :

- kombinací materiálu nástroje a obrobku,
- polaritou,
- pracovním proudem,

- dobou trvání impulsu.

Výše opotřebenění se pohybuje od desetin procenta, do několika desítek procent. Například při hrubování oceli Cu elektrodou činí opotřebenění $v = 0,5 - 3 \%$, ale při obrábění na čisto se pohybuje v rozsahu $2 - 10 \%$.

Mezi nejrozšířenější kovové materiály pro elektrody patří :

- elektrolytická měď,
- slitina 50 - 80 % W, 50 - 20 % Cu, tzv. wolframová měď,
- mosaz,
- Al slitiny,
- wolfram - pouze pro oblast mikroděrování,
- ocel.

2.7. Pracovní prostředí - dielektrikum

Druh pracovního prostředí a jeho stav má prvořadý význam pro bezporuchový průběh elektrické eroze /6,4/. Pracovní prostředí působí jako izolátor mezi elektrodami, odvádí teplo z pracovního prostoru, ohraničuje výbojový kanál, umožňuje transport odebraných částic z místa výboje a zabraňuje usazování mikročástic materiálu na povrchu nástrojové elektrody, jehož následkem by docházelo ke zkratům.

Použité dielektrikum musí mít následující vlastnosti :

- dostatečné dielektrické vlastnosti (odpor), aby průrazem dielektrika vznikl výboj,
- vhodnou viskozitu a dobrou smáčivost, zajišťují rychlé obnovení izolace v místě výboje
- přijatelný bod vzplanutí. V průběhu výboje vznikají vysoké teploty, které způsobují oteplení elektrod a dielektrika. Bod vzplanutí použitého dielektrika nemá být nižší jak 60°C . I obvykle používaná dielektrika s body vzplanutí $60 \div 120^{\circ}\text{C}$, vyžadují přísné dodržování bezpečnostních předpisů,
- hygienickou a ekologickou nezávadnost. Nesmí docházet k rozkladu a vzniku zdraví nebezpečných plynů. Nutnost odsávání plynů v případě velkých výkonů obrábění.
- nízká pořizovací cena.

Jako dielektrika bývají nejčastěji používány lehké strojní oleje, transformátorové oleje, petrolej, destilovaná

a deionizovaná voda /4,6/. Přední zahraniční firmy dodávají speciální dielektrika, určená pro elektroerozivní stroje (např. EDM-Fluid 60-120-Shell, Erodier fluid 56-Mobil apod), která se vyznačují mimo jiné tím, že neobsahují aromatické složky jako klasické petroleje.

Nezbytnou součástí všech moderních strojů je agregát pro přívod, chlazení a čištění dielektrika. Úkolem tohoto zařízení je přivádět do pracovního prostoru dielektrikum v požadovaném množství, tlaku a čistotě, při současném zajišťování tepelné stabilizace stroje. Pro vlastní filtraci se používají zařízení různých konstrukcí (průtočné papírové filtry, usazovací filtry, odstředivé filtrační zařízení). Moderní elektroerozivní drátové řezací stroje, pracující s deionizovanou vodou jako dielektrikem, jsou vybaveny navíc deionizačními kolonami pro zlepšení dielektrických vlastností vody.

Z hlediska vlastní realizace vyplachování existuje řada konstrukčních uspořádání :

- vnější vyplachování,
- tlakové vnitřní vyplachování,
- vyplachování odsáváním,
- pulsní vyplachování

2.8. Přesnost a drsnost obráběné plochy, stav povrchové vrstvy

Každý obrobek se odlišuje od žádaného stavu tvaru a rozměru o určitou odchylku d , pro kterou platí

$$d = d_{ST} + d_T + d_{NA} + d_{ER}$$

kde d_{ST} -chyba obráběcího stroje způsobená deformacemi a nepřesnostmi pohybových mechanismů a polohovacího mechanismu nástrojových elektrod. S ohledem na bezsilové obrábění a vysokou tuhost uvedených strojů nepřevyšuje hodnotu cca 0,003 mm,

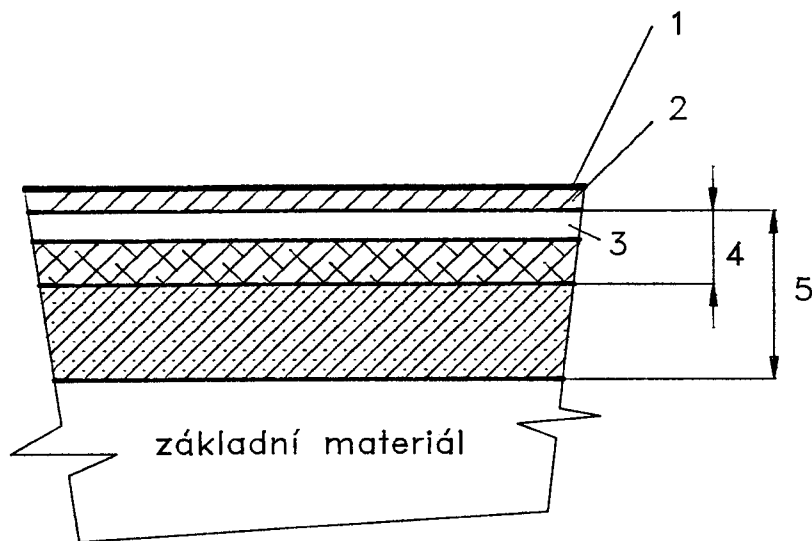
d_T -chyba vzniklá oteplením během obrábění (ohřevem dielektrika a elektrod,

d_{NA} -výrobní nepřesnost nástrojové elektrody,

d_{ER} -chyba daná podstatou elektroerozivního obrábění, kterou lze kompenzovat tvarem nástroje, resp. volbou vhodného způsobu obrábění (např. pomocí orbitálního pohybu elektrody). Uvedená hodnota nepřesahuje řádově hodnoty μm .

Drsnost povrchu a stav povrchové vrstvy náleží k nejdůležitějším technologickým charakteristikám, vymezujícím oblast použití elektroerozivního obrábění /4/. Kvalita povrchu je úzce vázána na energii jednotlivých výbojů, která určuje rozměry vytvořeného kráteru. Z technologického hlediska obecně platí, že nejlepší kvality povrchu je dosaženo při nižších hodnotách proudu, krátkých impulsích a vysokých frekvencích výbojů. Dosažení vysoké kvality povrchu je ale provázáno zvýšeným opotřebením nástrojové elektrody.

Současně s kvalitou povrchu výrazně ovlivňuje energie stav povrchové vrstvy. Studium povrchu obrobku byly zjištěny změny povrchu, jejichž rozložení je zachyceno na obr.2.14.



obr. 2.14

- 1 - mikrovrstva nasycená částicemi dielektrika, chemické sloučeniny vytvořené difuzí
- 2 - vrstva obsahující materiál nástrojové elektrody (v případě zapojení nástroje na záporný pól)
- 3 - tzv. bílá vrstva (u ocelí silně nauhličená znovu ztuhlá tavenina, jemná struktura charakteru martenzitu, tvrdost 60 HRC, tloušťka od 0,04 mm až do několika desetin mm v závislosti na energii impulsů
- 4 - pásmo termického ovlivnění, přesahující rozměrem bílou vrstvu (u ocelí vykazující v oblasti 3-4 svojí strukturou zakalený a popuštěný výchozí materiál
- 5 - pásmo plastické deformace vyvolané tlakovými rázy impulsů

2.9. Technologické aplikace elektroerozivního obrábění

Z velmi široké aplikační oblasti elektrické eroze uvádím pouze způsoby šířeji osvojené průmyslovou praxí a to:

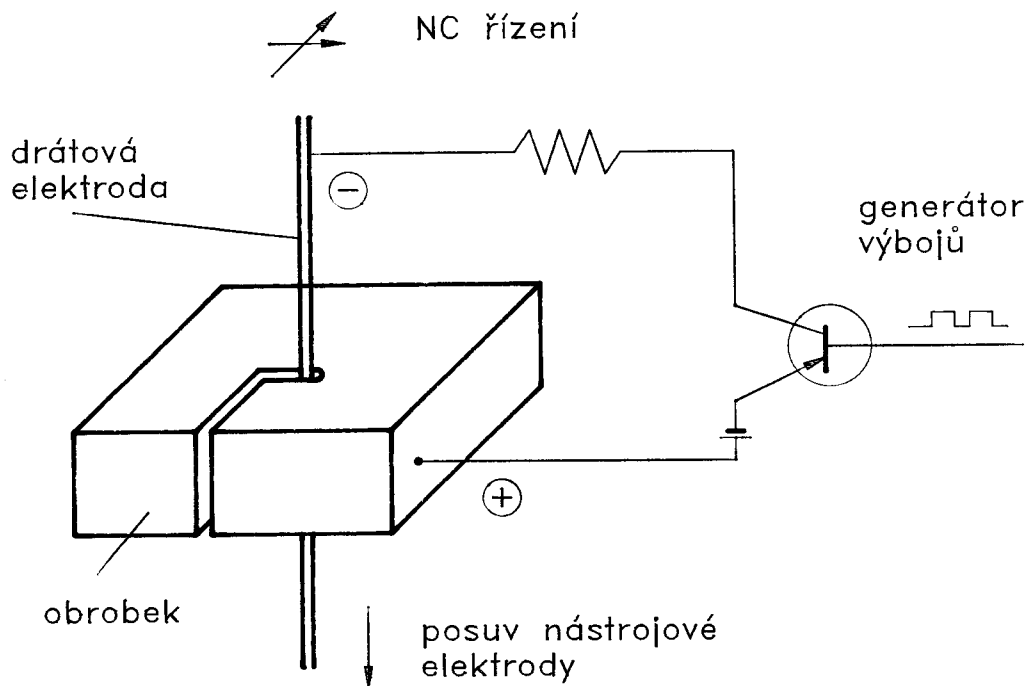
- A) Elektroerozivní hloubení dutin;
- B) Elektroerozivní leštění povrchu;
- C) Elektroerozivní řezání drátovou elektrodou;
- D) Elektroerozivní mikroděrování;
- E) Elektrokontaktní obrábění.

Ačkoliv se všechny výše uvedené způsoby jeví jako velice perspektivní (zvláště progresivní je hloubení dutin) považuji za nutné vzhledem k rozsahu a účelu diplomové práce popsat pouze bod C) /4/.

Elektroerozivní řezání drátovou elektrodou

Nejvýraznějšího pokroku v oblasti elektroerozivního obrábění bylo dosaženo zavedením právě této metody /4/. Znamenala revoluci v oblasti výroby střižných a lisovacích nástrojů. S prvními stroji tohoto typu přišla na trh firma AGIE, která také jako první použila NC řízení u stroje pro řezání drátovou elektrodou.

Na obr.2.15 je znázorněn princip této metody, při které se využívají veškeré zákonitosti elektrické eroze uvedené v předchozích kapitolách. Nástrojovou elektrodu zde



obr. 2.15

vytváří tenký drát, který se pro vyloučení opotřebení odvíjí pomocí speciálního zařízení. Obráběná součástka je připojena jako elektroda opačné polaroty. Způsob zapojení je dán polaritou a typem výbojů. Dnes se v převážné míře používají tranzistorové generátory (jednopolové výboje o vysoké frekvenci a malé hodnotě t_i), pro které je přímá polarita (nástroj katoda -, obrobek anoda +). Elektrickými výboji, vznikajícími mezi drátovou elektrodou a obrobkem se vytváří pracovní mezera a tím i příslušný řez.

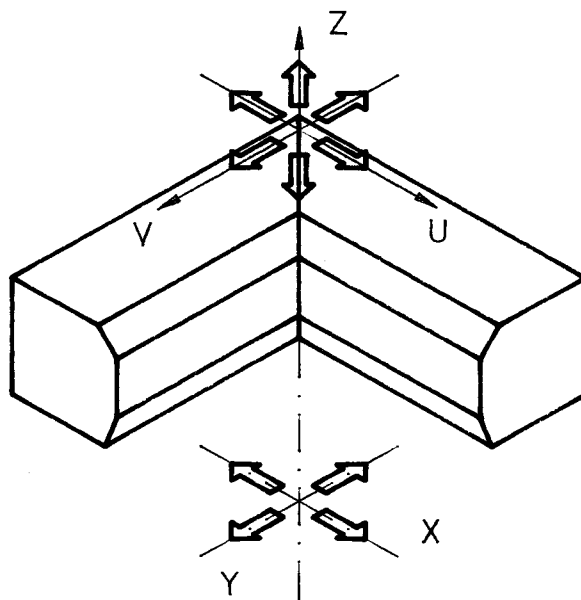
V průběhu řezání jsou na nástrojovou elektrodu kladeny specifické vlastnosti :

- vysoká elektrická vodivost,
- dostatečná mechanická pevnost,
- úzké tolerance rozměru (průměru) a tvaru (kruhovitosti),
- přijatelná cena.

Prvý požadavek vyplývá z toho, že nástrojová elektroda přivádí do jiskřiště elektrickou energii a obvykle je protékajícím proudem vysoce zatěžována. Druhý a třetí faktor

souvisí zejména s tvorbou pracovní mezery. Pro přesný řez je žádoucí, aby elektroda vstupovala do místa řezu řádně napnutá a vyrovnaná, jelikož každá nerovnost na jejím povrchu se odrazí na kvalitě řezu, přesnosti výrobku i výkonu (nestabilita procesu - zkrat). Z tohoto důvodu bývají drátové elektrody před vstupem do pracovní zóny kalibrovány diamantovými průvlastky a žíhány.

Jako materiál se na drátové elektrody používá měď, na větší průřezy mosaz a pro velmi jemné řezy, realizované dráty průměru $0,03 \div 0,07$ mm, se doporučuje s ohledem na mechanickou pevnost použít molybden. Drátová elektroda představuje nástroj, který není orientovaný a může odebírat materiál v každém směru. Tato vlastnost se využívá zejména při programování vzájemného pohybu obrobku a elektrody. Moderní speciálně konstruované řídicí systémy (až 6 řízených os) umožnily podstatné rozšíření pracovních možností. Na obr.2.16 je schema 5-ti osého systému, umožňujícího samostatné řízení v rovinách XY (rovina spodní



obr. 2.16

vodící části drátové elektrody) a UV (rovina horní vodící části drátové elektrody). V ose Z bývá obvykle prováděno pouze výškové přestavení řezacího mechanismu (hlavy) s ohledem na tloušťku obráběného materiálu.

Takto konstruované stroje umožňují vyřezávání kónických (úkosových) tvarů, kdy povrch obrobku je vytvořen jako obalová plocha přímek (okamžitých poloh nástrojové elektrody - drátu). NC řízení obvykle umožňuje plynulé změny nastavení elektrody v rozsahu 0 - 30° podle typu stroje. Systémy dále provádějí korekci dráhy (vytvoření ekvidistanty), reverzaci chodu po naprogramované dráze a automatickou regulaci rychlosti v průběhu procesu řezání, podle okamžitých úběrových podmínek.

Velmi důležitým parametrem elektroerozivního drátového řezání je tvarová přesnost, která je ovlivněna vlastnostmi stroje, přesností řídicího systému, stabilitou parametrů generátoru a kvalitou přívodu dielektrika. Špičkové stroje dnes pracují s rovnoběžností řezu do 2 μm při tloušťce obráběného materiálu 100 mm. Kvalitativní parametry povrchu závisí na zvolených technologických podmínkách. Při použití dvojitého řezu (obrábění na hrubo a na čisto) lze dosáhnout drsnosti obrobene plochy až $R_a = 0,3 \mu\text{m}$. Přesnost tvaru je závislá na tepelné stabilizaci stroje.

Mimo oblast výroby střižných a lisovacích nástrojů je v současné době používáno elektroerozivní řezání drátovou elektrodou pro obrábění ultratvrdých vodivých materiálů jako jsou SiC, Si₃N₄ - TiN, ZrB₂. K dalším aplikacím náleží řezání nitridu bóru pro orovnávání brusných kotoučů a řezání polykrystalů diamantu pro výrobu tvarových řezných nástrojů.

Efekt vysoké hospodárnosti je v řadě případů podporován vyšší životností elektroerozivně obráběných nástrojů a dále faktorem snadné opakovatelnosti výroby v automatickém cyklu za pomoci NC řízení. Za reálnou a perspektivní oblast aplikací elektroerozivního obrábění se jeví integrace této metody do systémů CAD/CAM, zejména v aplikacích na konstrukci a výrobu forem a zápusťek.

2.10. Současné možnosti a vývojové tendence strojů pro elektroerozivní obrábění v zahraničí

Již nastává epocha obráběcích center na elektroerozivní hloubení /7/. Firmy DIETER HANSEN a AGIE nabízejí robotické systémy, které zabezpečují kromě automatické výměny nástrojových elektrod s mnohazpizicovými zásobníky i automatizovanou výměnu obrobků upnutých v paletách.

Pro elektroerozivní řezací centra je charakteristické automatické navlékání drátu, identifikace polohy obrobku na upínacím stole pomocí drátové elektrody a vyhledání středu startovacího otvoru. Novinkou zde je zařízení na vyjiskřování startovacích otvorů (samostatně na výklopném rameni) pomocí trubičkových elektrod - AGIE, JAPAX.

Problémy s tepelnou stabilitou polohy elektrody vůči obrobku se snaží některé firmy řešit použitím kameninových či keramických stolů, případně i dalších konstrukčních prvků z elektroizolačních, tepelně stálých materiálů. Nejdále je patrně japonská firma SODICK, která používá vlastní keramické materiály.

Elektronické systémy těchto strojů jsou na velmi vysoké úrovni, musí být spolehlivé, neboť pracují ve dlouhodobých pracovních cyklech na nejnáročnějších nástrojařských pracích. *Dialogový* způsob ovládání zabezpečuje operátorovi všechny potřebné informace o procesu obrábění.

Volbě parametrů generátoru impulsů pro zadanou technologickou operaci (zadán je tvar, nástrojová elektroda, materiál obrobku a kvalita povrchu) se věnuje mimořádná pozornost. V programovém vybavení strojů jsou uloženy údaje, ze kterých se na základě vstupních údajů vložených operátorem automaticky vybírají parametry pro jednotlivé kroky technologického postupu. V průběhu obrábění se optimalizují. Tyto možnosti mají stroje AGIE, SODICK, MAKINO a další.

Některé parametry : nejvyšší výkony v rychlosti řezání na drátových vyřezávačkách $270 \div 300 \text{ mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ (uvádějí japonské firmy HITACHI a FANUC). Zajímavé jsou i inzerované výsledky v dosahované jakosti povrchu. Nejlepší firmy zaručují při řezání drátovou elektrodou na oceli $R_m = 2 \mu\text{m}$, t.j. $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ a přesnost vyřezaného tvaru $\pm 8 \mu\text{m}$ a po kalibro-

vacím a hladícím řezu až $\pm 2 \mu\text{m}$ (AGIE).

Elektroerozivní obrábění se dále rozvíjí rychlým tempem. V zařízeních se uplatňují nejnovější konstrukční principy a nejprogresivnější prvky (keramické materiály, výkonná impulsní polovodičová technika v mikrosekundové oblasti, rychle a vysoce přesně polohující mechanismy, systémy CAD/CAM, robototechnika atd.). Používají se nové pracovní kapaliny (japonský VITOL a JEMS-18). Problémy ekologie a bezpečnosti práce se vážně promítají do konstrukce těchto strojů. Řeší se protipožární opatření (např. aplikace nehořlavých kapalin a vybavování strojů hasicími přístroji s automatickým spouštěním). Pozornost se věnuje odrušení strojů, manipulaci s odpady, hygieně a kultuře práce.

2.11. Vývoj a výroba strojů pro elektroerozivní obrábění v ČSFR

Vývojem strojů pro NMO se jako jediný v ČSFR zabývá Výzkumný ústav automatizace a mechanizace (VÚMA), který byl také výrobcem této techniky /4/. V současné době výrobu některých typů strojů převzaly Závody na výrobu ložisek - Povážská Bystrica.

Vývojem novějších typů elektroerozivních strojů se podařilo částečně zkrátit značný odstup za světovou špičkou. Toto platí zejména pro hloubicí stroje, kde se ve vývoji vynechala prakticky jedna vývojová generace zařízení.

Nový hloubicí stroj EIH 001 A umožňuje programové obrábění ve třech osách, při automatickém polohování podle údajů z programu. Řídící systém je tvořen dvojicí mikroprocesorů zabezpečujících adaptivní regulaci obrábění a polohování a ovládání suportů při obrábění s přídavnými pohyby. Obsluha komunikuje s řídicím systémem prostřednictvím alfa numerické klávesnice a obrazovkového displeje. Stroj je vybaven tranzistorovým stavebnicovým generátorem o výkonu 120 A, který umožňuje obrábění ve 4. kanálech při drsnosti povrchu až $0,4 \mu\text{m}$.

V oblasti řezání drátovou elektrodou lze obdobně hodnotit i nové stroje EIR 003 A ÷ EIR 005 A, u kterých byla přepracována mechanická část (možnost upínání obrobků do

hmotnosti 150 kg a rozměru 600 x 450 x 120 mm) za současného zdokonalení mikroprocesorového CNC řízení.

V souhrnu nelze považovat elektroerozivní metody obrábění, užívané v ČSFR, za dostatečné. Toto zaviňuje zdlouhavá realizace opakované výroby již vyvinutých strojů, která činí za vývojem prototypů 4 až 5 let. Proto je dnes minimální počet podniků, kde se uplatňují nové technologie na bázi čs.zařízení.

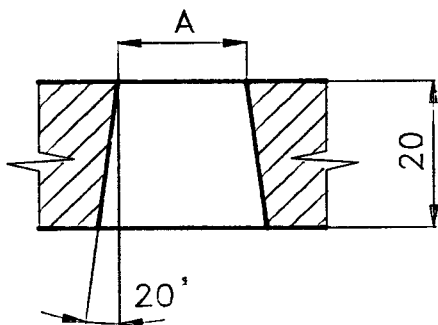
3. SOUČASNÝ STAV DRÁTOVÉHO ŘEZÁNÍ V A.S.LUSTRY

Rozsah prací vykonávaných na stroji MAKINO EC 3040 je velice rozmanitý a lze ho blíže rozčlenit takto :

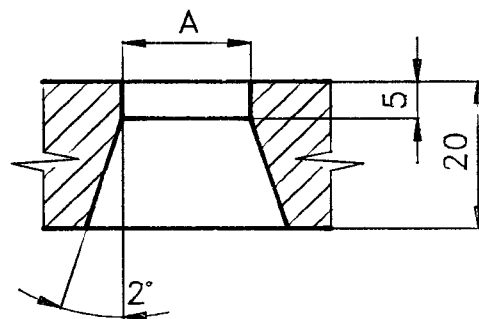
a) Klasické řezání střižnic

Samotný způsob výroby lisovacích nástrojů elektroerozivním řezáním drátovou elektrodou přináší řadu výhod. Kromě zvýšení produktivity práce, odpadá ruční propasovávání tvarů a v případě lisování menších a úzkých tvarů též dělení střižnic pro broušení. Střižnice jsou zpravidla z materiálu 19 436. V zásadě se používají dva způsoby :

- 1) Řeže se malým úkošem celý tvar na 4 řezy. Tento způsob se využívá při lisování materiálů o větší tloušťce a větších střižných vřtech. Při zbroušení střižnice o 10 mm se střižná mezera zvětší o 0,05 mm. Schema řezu střižnice při tomto způsobu je na obr.3.1.



obr. 3.1



obr. 3.2

2) Vytvoří se fazetka o výšce 5 mm. Tento způsob se využije při přesnějším stříhání. Střižnice se může zbrousit max. o 5 mm. Při řezání se však zkracuje strojní čas, neboť je možné tvar s úkosem vyříznout jedním řezem (výška řezu 20 mm) a následující 3 řezy pro zhotovení přesného rozměru se budou zhotovovat na potřebnou výšku řezu 5 mm. Schema řezu střižnice při tomto způsobu je na obr.3.2.

b) Opravy střižnic

V případech vyštípnutí tvaru ve střižnici, nebo při změně otvoru, se mohou střižnice renovovat vyříznutím vadné části, vložením kónické vložky a následným vyříznutím požadovaného tvaru. Odpadá tepelné zpracování spojené s opravou.

c) Výroba tvarových střižníků

Technologie drátového řezání umožňuje zhotovení i nejsložitějších tvarů, což zjednodušuje výrobu na postupových, tvarově složitých střižných nástrojích (některé tvary se dříve musely rozdělit a lisovat nadvakrát). Zde jsou zřejmě výhody oproti tvarovému broušení v úspoře času. Na střižnicích se dobrušují pouze můstky, za které je razník držen při objíždění tvaru na 4 řezy.

d) Výroba tvarových nožů

Jedná se o řezání tvarů pro výrobu na soustružnických automatech. Jako polotovar se používá rychlořezná ocel 19 810. Odzkoušená technologie zhotovení je na 2 řezy. Úhel hřbetu se nastavuje přímo na stroji naklopením držáku, úhel čela se provádí jako následná operace broušením. Oproti tvarovému broušení se zvýšila produktivita práce asi 10x.

e) Výroba ozubených kol a hřebců

Jako polotovar se používá deska zvětšená o rozměry potřebné k upnutí do stroje. Tvar ozubení se vyřízne jedním, maximálně 2 řezy (dle požadavku na drsnost). Součástí programového vybavení je program pro ozubená kola. Zadávané hodnoty jsou průměr hlavové kružnice, modul, počet zubů a úhel záběru.

f) Výroba drážkovaných hřidelů a drážek pro pera

Nahrazuje výrobu na frézce či obrážečce a je asi 5x produktivnější. Polotovary mohou být tepelně zpracované. Výhodou je rychlé nastavení součásti podle připraveného středového otvoru.

g) Výroba elektrod

Jde o Cu elektrody pro vyjiskřování složitých tvarů do vstřikovacích forem. Odzkoušeno u formy pro výrobu tvarově složitého dílu el.jističe, kde výroba elektrod klasickým způsobem není možná. Stanovená technologie pro řezání pod úhlem 2° a pro zajištění potřebné drsnosti povrchu je uskutečněna jedním řezem. Rozměry elektrod zmenšené o potřebnou vůli 0,2 mm zajišťuje dostatečné vyplachování při hloubení a zároveň dosažení daných rozměrů vstřikovací formy.

III. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4. Technické předpoklady k experimentální části

4.1. Postup při práci

V první řadě jsem se snažil vybrat z materiálových listů slitin určených k obrábění ty údaje, které by mohly něco napovědět o možném chování materiálů při obrábění. Tyto výběry jsou v kap. 4.2. Jde zejména o chemické složení, fyzikální vlastnosti (teplota tavení, elektrická vodivost, tepelná vodivost), ke kterým je nutno přihlížet při předběžném hodnocení úbytku materiálu v procesu obrábění. Z porovnání těchto údajů vyplynulo, že v žádné uvedené hodnotě se tyto materiály nijak výrazně neliší.

Zároveň jsem, spolu s konzultantem, vznesl dotaz na firmu dodávající stroje Makino EC 3040, zda má nějaké zkušenosti s obráběním hliníkových slitin. Ta odpověděla, že opracování námi uvedených slitin je v podstatě možné, nejsou však k dispozici návody pro úpravu technologických parametrů. Bylo nám doporučeno provést optimalizaci postupů pro ocel, měď a hliník. Současně nám bylo sděleno, že na našem strojním zařízení nelze dosáhnout požadované drsnosti povrchu $0,4 \mu\text{m Ra}$, neboť standardní hodnota je $0,8 \mu\text{m Ra}$.

Rozhodl jsem se tedy, že v jedné části dipl. práce ověřím, zda lze požadované slitiny opracovávat s rozměry a drsností povrchu požadovaných v bodě Ia). Že samotné opracování je možné, jsem zjistil již při teoretickém studiu a při konzultacích v podnicích, jež se touto problematikou již alespoň částečně zabývali. Jde např. o Plastimat Liberec (kontrola programů), Kovohutě Děčín (v údržbě) či VÚMA Nové Město nad Váhom (při funkčních zkouškách nových strojů).

Dalším zdrojem informací byl pro mne obslužný manuál pro stroj Makino EC 3040, kde byly předepsány technologické parametry pro "Aluminium" v tloušťkách 20,40,60,80 a 100 mm. Jelikož se slitiny určené pro opracování (v pohledu elektroerozivního řezání) příliš neliší (obsahují v průměru přes 90 % Al), bylo toto pro mne hlavním vodítkem při volbě parametrů /15/.

V další části práce jsem se snažil nalézt takovou kombinaci parametrů, která by dovolovala nalézt nejmenší drsnost povrchu. Může se totiž stát, že a.s.LUSTRY v budoucnu nakoupí ještě jeden stroj umožňující dosáhnout 0,4 μm Ra. Potom by bylo dobré mít zkušenosti s tím, jaký vliv měly parametry, které se v konečném důsledku podílejí, na drsnosti povrchu.

4.2. Popis materiálu, char. vlastnosti

4.2.1. Slitina hliníku tvářená 424201 AlCu4Mg

- taženo a vytvrzeno za studena - 424201.61 /8/

Tabulka 3

Chem. slož. %	Slitinové prvky	Cu 3.8 až 4.8	Mg 0.4 až 0.8	Mn 0.4 až 0.8	Al zbytek				
	Doprovodné prvky max.	Fe 0.7	Si 0.7	Ni 0.1	Zn 0.3	Fe+Ni 0.7	Ost. jedn. 0.1	Celkem 1.8	
Výrobek	tyče kruh., čtverc., ploché, šestihr.								
Nejnižší pevnost v tahu R_m	MPa	380 až 390							
Nejnižší tvrdost podle Brinella	HB	(90) až (100) informativní							
Měrná hmotnost	kg/m ³	2,8							
Interval tavení	°C	530 až 640							
Střední teplotní součinitel délkové roztažnosti $\alpha \cdot 10^6$	1/K	20°C až 200°C				23,4			
Měrná tepelná vodivost λ	W/(m.K)	147 až 188							
Měrný elektrický odpor $\rho \cdot 10^9$	$\Omega \cdot m$	48 až 55							
Modul pružnosti v tahu $E \cdot 10^{-3}$	MPa	70,61 až 73,55							
Char.vlastnosti a vhodnost použití		Konst. materiál s vysokou pevností po tep.zprac., dobře třískově obravitelný, nízká chem.odolnost.							

4.2.2. Slitina hliníku tvářená 424254 AlCu4BiPb-automatová
-taženo a vytvrzeno za studena- 424254.61 /9/

Tabulka 4

Chem. slož. %	Slitinové prvky	Cu 3.0 až 5.0	Mg 0.4 až 1.5	Mn 0.3 až 1.5	Pb+Bi 0.5 až 1.5	Al zbytek	
	Doprovodné prvky max.	Fe 1.0	Zn 0.7	Ni 0.3	Sn+Cd 0.4	Si max.1	Celkem 1.5
Výrobek		tyče kruhové, čtvercové, šestihranné					
Nejnižší pevnost v tahu R_m MPa		min.340					
Nejnižší tvrdost podle Brinella HB		(90) informativní					
Měrná hmotnost kg/m ³		2,8					
Bod tavení °C		650					
Střední teplotní součinitel délkové roztažnosti $\alpha \cdot 10^6$ 1/K		20°C až 100°C 20°C až 200°C				22,9 23,4	
Měrná tepelná vodivost λ W/(m.K)		147					
Měrný elektrický odpor $\rho \cdot 10^9$ $\Omega \cdot m$		43 až 55					
Modul pružnosti v tahu $E \cdot 10^{-3}$ MPa		-					
Charakteristické vlastnosti a vhodnost použití		Střední pevnost dosažená tepelným zpracováním. Slitina s krátkou třískou, tedy vhodná pro zpracování na automatech. Pro jemnou mechaniku, optiku apod.					

4.2.3. Slitina hliníku tvářená 424261 AlCu8Fe1Si

- taženo a vytvrzeno za studena - 424261.61 /10/

Tabulka 5

Chem. slož. %	Slitinové prvky	Cu 7.5 až 8.5	Fe 1.0 až 1.6	Si 0.5 až 1.0	Al zbytek		
	Doprovodné prvky max.	Zn 0.5	Mg 0.5	Mn 0.3	Ti+Ni 0.1	Bi+Pb+Sn 0.1	Celkem 1.0
Výrobek	tyče kruh., čtverc. ploché, šestihr.						
Nejnižší pevnost v tahu R_m MPa	280						
Nejnižší tvrdost podle Brinella HB	80 až 100						
Měrná hmotnost kg/m ³	2,8						
Rozmezí tuhnutí °C	558 až 648						
Střední teplotní součinitel délkové roztažnosti $\alpha \cdot 10^6$ 1/K	20°C až 200°C					24,0	
Měrná tepelná vodivost λ W/(m.K)	při 20 °C					159	
Modul pružnosti v tahu $E \cdot 10^{-3}$ MPa	69,65						
Směrnice pro použití	Pouzdra a pánve kluzných ložisek						

4.3. Rozměry polotovarů a vzorků včetně jejich značení

4.3.1. Určení rozměrů a označování polotovarů

Tloušťky desek pro splnění cíle dle kap. I.a) jsou z řady 3,5,10,15,20,40,60,80 a 100 mm.

Na dosažení cíle z kap. I.b) volím jako základní velikost tloušťky 20 mm a to ze dvou důvodů :

- 1) Pro tloušťku 20 mm je výrobcem předepsána technologie

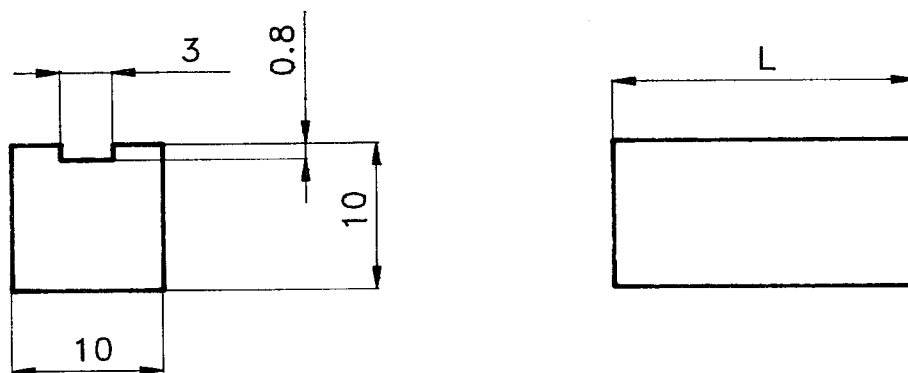
pro řezání hliníku a jsou tedy parametry, ze kterých je možno vycházet.

- 2) Obrábění větších tloušťek by bylo plýtváním materiálu a řez by trval zbytečně dlouho. S menším vzorkem by byla zase horší manipulace při měření.

4.3.2. Určení rozměrů, umístění a označování vzorků

Půdorysný rozměr navrhuji hranol 10x10 mm s malým zapuštěním na jedné straně (z důvodů jednoznačné orientace vzorku v polotovaru pro pozdější měření), viz. obr. 4. Rozměr 10x10 mm je výhodný z důvodu co nejmenšího strojního času (např. při tloušťce materiálu 20 mm je tento tvar vyříznut za 5 až 6 min.). To proto, neboť stroj MAKINO EC 3040 není vyčleněn z výroby pro hledání nových technologií. Vzhledem k přesnosti obrábění se však budou rozměry jen o několik setin mm lišit od rozměru 10 mm.

Vzorky budou označovat arabskými číslicemi a to v tom pořadí v jakém budou zhotovovány, neboť veškeré informace budou vždy v průvodním listu vzorku, takže nebude zapotřebí žádný jiný systém označování vzorků.



obr. 4

5. Vlastní zkoušky

5.1. Příprava zkoušek

Údaje, potřebné pro celkové vyhodnocení, z každé zkoušky jsem sestavil do tzv. průvodního listu vzorku. Zde jsou údaje o pořadovém čísle vzorku, desce polotovaru, ze které vzorek pochází, a to ve značení dle níže uvedeného vzorce, hodnoty technologických parametrů, naměřené hodnoty

MM / TTT

kde MM je označení materiálu
- 01 pro mat.424201.61
- 54 pro mat.424254.61
TTT je tloušťka desky v mm

úchyly od jmenovitého rozměru a změřená drsnost povrchu ve dvou směrech. Za první ve směru k ose drátu (ve směru posuvu obrobku) a za druhé ve směru osy drátu. Tyto údaje se totiž budou od sebe lišit (dle zkušeností z Plastimatu Liberec).

5.2. Průběh zkoušek

Nejprve jsem provedl zkušební řezy do obou materiálů technologií 1.řezu. Z měření obou vzorků v laboratorní měřítně VŠST vyplynulo, že vzorky zcela vyhovují požadovaným hodnotám (viz.kap.I,bod 1), a proto jsem obrátil svoji pozornost ke druhému záměru, a sice dosažení drsnosti povrchu $R_a=0,4 \mu\text{m}$. Během těchto zkoušek jsem však souběžně ověřoval opracování slitin na 1.řez u různých tloušťek. Musel jsem však provést korekce u tloušťek 3,5 a 10 mm, neboť pro ně nebyly předepsány technologické parametry v obslužném manuálu. Tyto korekce jsem prováděl na rychlosti posuvu, velikosti proudu, vzdálenosti drátu od povrchu obrobku a rychlosti drátu. Velikost změn jsem odvodil z průběhu těchto hodnot v závislosti na tloušťkách 20 až 100 mm a ze znalosti, že největší řezný výkon ($\text{mm}^2/\text{min.}$) je při tloušťce cca 40 mm. Při menších a větších hodnotách má řezný výkon klesající charakter.

Dále jsem optimalizací parametrů pro Al (1.řez) a Cu (2.,3.a 4.řez) s využitím konzultantových zkušeností s řezáním ocelí, stanovil řezné parametry pro obrábění na 4 řezy. To proto, že jsem se snažil nalézt co možná nejmenší drsnost (viz.kap.4.1.).

Opracovávání vzorků č.3 a 4 však neprobíhalo optimálně (mělo pulsovitý charakter) při čtvrtém řezu. Zdálo se, jako by obrábění probíhalo rychleji, než by odpovídalo posuvu stolu. Jelikož parametry doby impulsu a doby pauzy, jakož i proudu a napětí jsou pro poslední řez téměř neměnné pro jakýkoliv materiál, rozhodl jsem se korigovat rychlost stolu a velikost přídavku na obrábění (GAP).

V této fázi práce jsem se rozhodl, že nebudu dále upravovat slitinu 424254 pro dosažení co nejmenší drsnosti, neboť tato vykazovala pouze minimální odchylky od hodnot naměřených na slitině 424201.

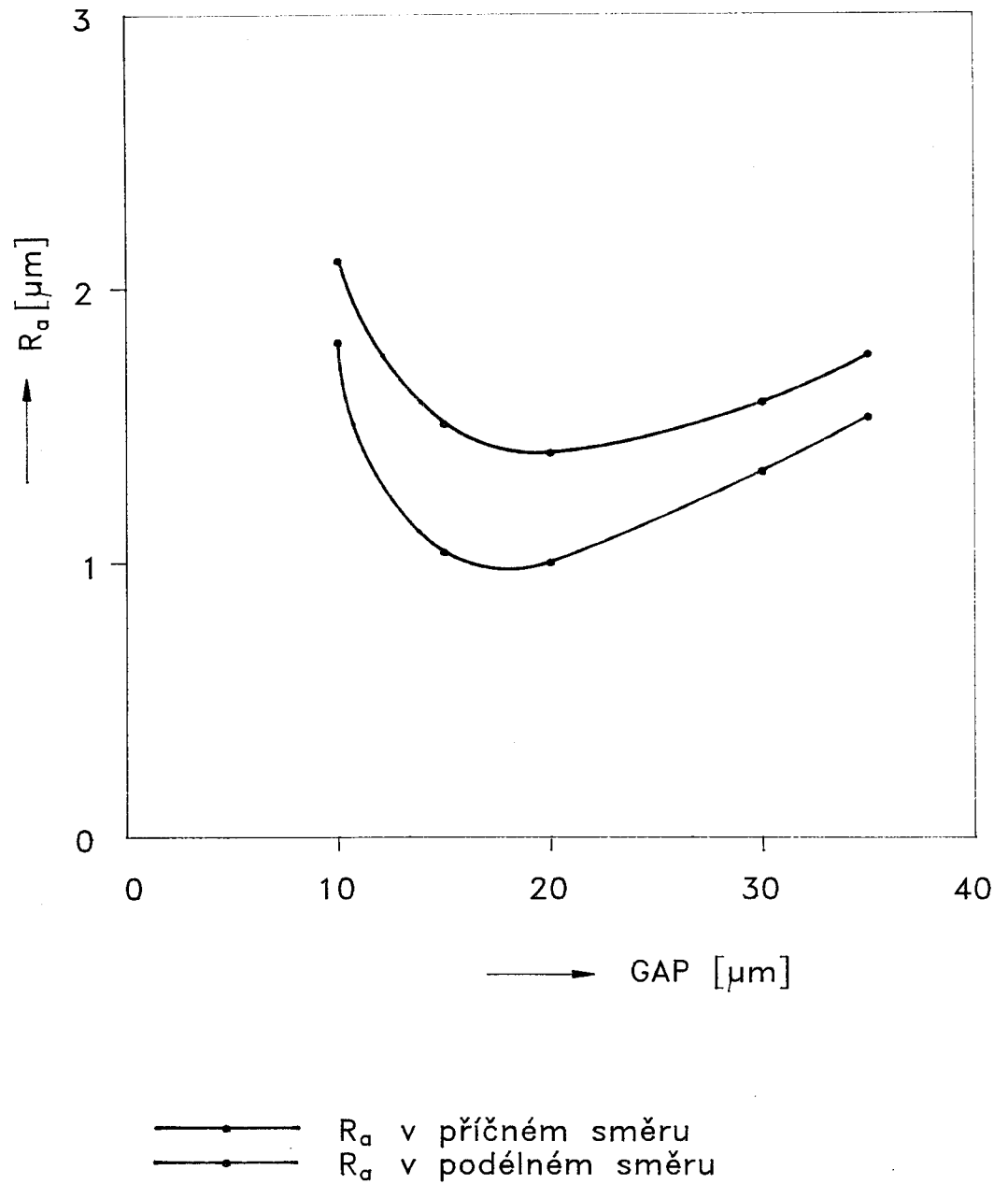
Hodnoty velikosti posuvu jsem z původních 10 změnil na 5,20,30 a 35 mm/min. a velikost přídavku na obrábění z původních 20 na 15,15,30 35 μm .

Vliv těchto změn na drsnost povrchu je patrný z tab.6 a 7. Zde jsou uvedeny hodnoty jak příčné, tak podélné drsnosti R_a . Grafické zpracování těchto výsledků udávají obrázky 5.1 a 5.2. Na obr.5.1 je závislost drsnosti povrchu na velikosti GAP a na obr.5.2 drsnosti povrchu na velikosti posuvu.

Tabulka 6

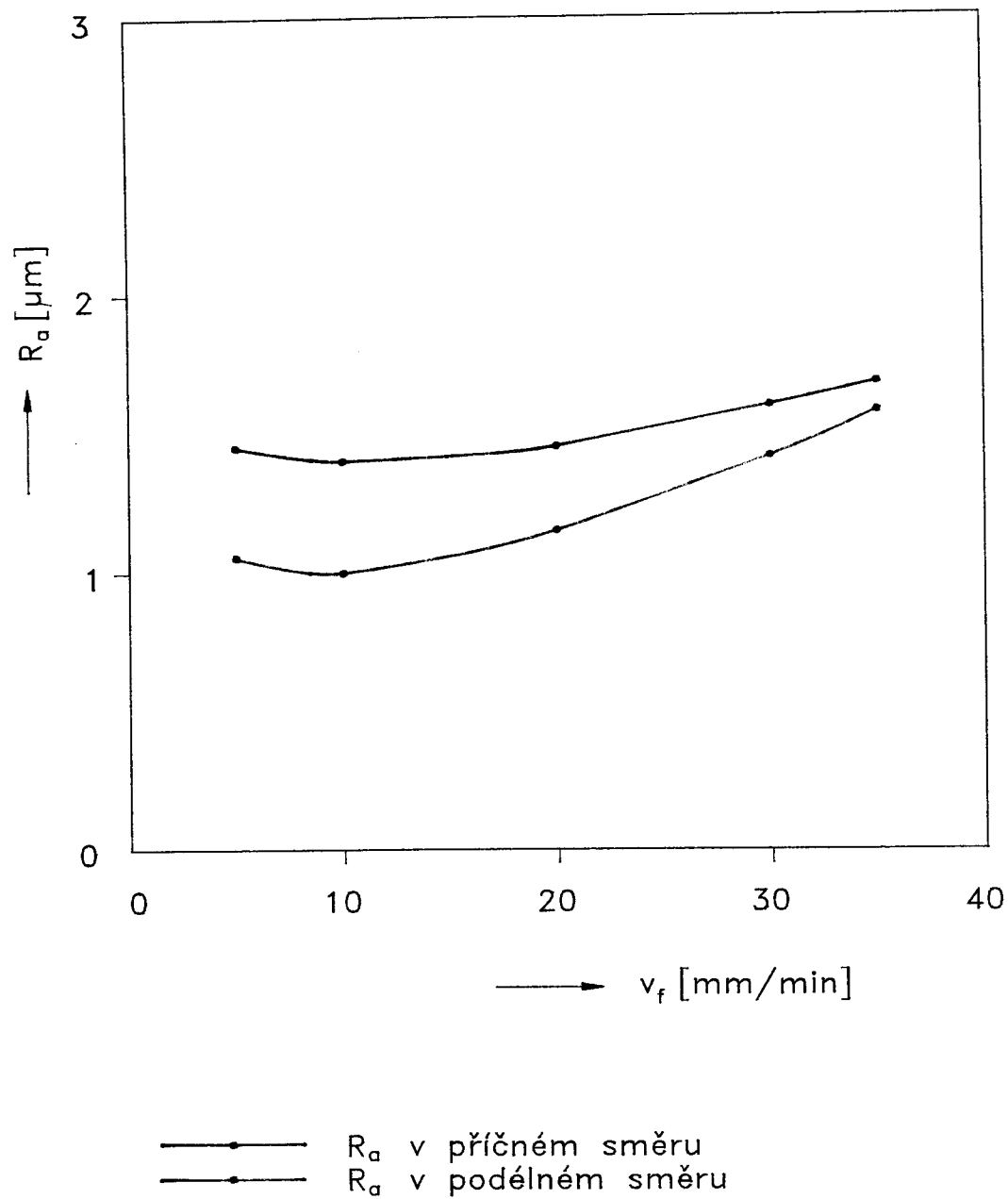
Přídavek na obráb. GAP [μm]	R_a příč. [μm]	R_a podél. [μm]	Průvod. list č.
10	2,1	1,8	18
15	1,5	1,0	28
20	1,4	1,0	6
30	1,6	1,3	16
35	1,7	1,5	17

Závislost drsnosti povrchu na velikosti GAP



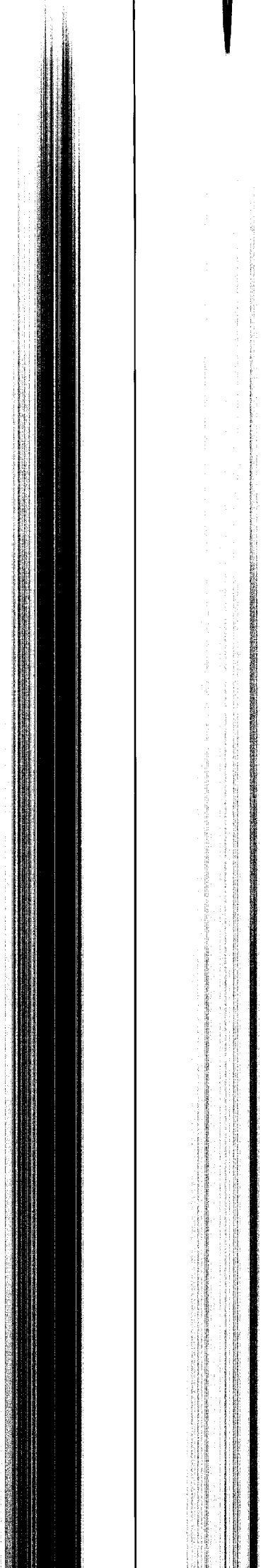

obr. 5.1

Závislost drsnosti povrchu na velikosti posuvu



obr. 5.2

Tabulka 7

Velikost posuvu [mm/min.]	Ra příč. [μm]	Ra podél. [μm]	Průvod. list č.
	<p>1,5</p>	<p>1,0</p> 	<p>21</p> 

Při hodnocení závislosti drsnosti povrchu na velikosti GAP (obr.5.1), lze prohlásit, že nejmenší velikost Ra je při přidávku na obrábění (ve 4. řezu) $GAP=20 \mu m$, kdy Ra v příčném směru je $1,4 \mu m$ a v podélném směru $1,0 \mu m$. Při menším či větším přidávku se dosáhne drsnost zhoršuje a to při menším přidávku prudceji než při větším. Porovnáním vztahu mezi Ra

ladu s požadavky zadání (porovnání viz.kap I.a). hodnot nevybočovala z rozsahu $3,2 \div 6,2 \mu m Ra$, což je v souladu s podmínkami, tak i v podélném směru, ale žádná z naměřených cí. Drsnost povrchu Ra měla poněkud různorodé hodnoty, jak říkají. Celkově je však tato úchylka ve výše uvedené toleranční oblasti (at šikmost či lineárnost) v rámci materiálu, tím větší úchylka (at šikmost či lineárnost) u obrábění jiných materiálů a to čím větší tloušťka opracované plochy se ve směru osy drátu někdy výrazněji mění (stejně jako u rovinnosti s požadavky v zadání velice malé. Pouze profil vzorů měřených místech u každého vzorku mohu říci, že jsou v pořádku. K hodnotám úchylek od jmenovitého rozměru v jednotlivých případech 3,5,10,20,40,60,80 a 100 mm, neboť tolerance byla max.31 μm. Bez jakýchkoli omezení v prováděném rozsahu tloušťek 424201 a 424254. Lze konstatovat, že toto je možné uskutečnit 16 bylo zaměřeno na pouhé ověření možnosti obrábět slitiny Shora uvedeným postupem jsem získal 28 vzorků, z čehož

5.3. Vyhodnocení zkoušek

Velikost posuvu [mm/min.]	Ra příč. [μm]	Ra podél. [μm]	Průvod. list č.
5	1,5	1,0	21
10	1,4	1,0	6
20	1,5	1,2	22
30	1,6	1,4	7
35	1,7	1,6	23

Tabulka 7

v příčném a podélném směru zjistíme, že největší rozdíl mezi těmito hodnotami je právě při velikosti přídavku $GAP=20\mu\text{m}$. Při větším a menším přídavku se obě hodnoty sbližují.

Závislost drsnosti povrchu na velikosti posuvu, znázorněná na obr.5.2, má podobný charakter. Minimální dosažitelná drsnost povrchu je při $v_f = 10 \text{ mm/min.}$, kdy R_a v příčném směru je $1,4 \mu\text{m}$ a v podélném směru $1,0 \mu\text{m}$. U jiných velikostí posuvu má drsnost větší hodnoty, avšak klesání a stoupání křivky je mírnější než v předcházejícím případě. O vztahu mezi R_a v příčném a podélném směru platí zhruba totéž, co v předcházejícím hodnocení.

6. Diskuse

Jedním z cílů diplomové práce bylo ověřit u dvou, v současné době při výrobě jednoúčelových strojů nejpoužívanějších slitin 424201 a 424254, zda lze elektroerozivní řezání drátovou elektrodou použít jako náhradu za frézování a s jakou efektivností. Požadavek byl pro toleranci rozměru $\pm 0,1 \text{ mm}$ a pro drsnost povrchu $3,2 \div 6,3 \mu\text{m } R_a$.

Jelikož je to možné, viz.kap.5.3., zbývá posoudit, jaké výhody má tento způsob oproti frézování. Velikým přínosem je již to, že část odříznutá elektroerozivním obráběním se nestává automaticky odpadem, ale může dokonce posloužit jako další základ pro odlití tvaru rybiny do ocelového protikusu. To zpravidla, neboť je při řezání předtvaru (široká drážka "T") respektován úhel 55° pro odskoky. Jinak může tato odříznutá část sloužit též jako polotovar pro další výrobek. V porovnání s frézováním, kde je veškerý odebraný materiál přeměněn v třísky, zde dochází bezpochyby k úspoře materiálu. Další úsporou je i možnost při drátovém řezání vyrobit celý profil (nejlépe složitější) součásti z uříznuté tyčoviny (se zarovnaným čelem na potřebnou velikost rozměru výrobku). Výrobek je pak možno zhotovit bez jakýchkoliv příprav spočívajících v předfrézování. Stačí pouze vyvrtat startovací otvor a někdy ani to není zapotřebí.

Druhý cíl diplomové práce, dosáhnout drsnosti povrchu $0,4 \mu\text{m } R_a$ u těch samých slitin jako v předcházející části, se nepodařilo splnit. Nejmenší hodnota drsnosti povrchu,

které se mi podařilo dosáhnout byla $1,4 \mu\text{m Ra}$.

To, že drsnost povrchu bude horší, se dalo předpokládat již při rozboru tabulky 2, protože mají tyto slitiny v porovnání se železem nízkou teplotu tavení (Fe- 1536°C , $424201 - 530 \div 640^\circ\text{C}$ a $424254 - 650^\circ\text{C}$), viz. kap. 4.2, a velkou tepelnou vodivost (Fe 73 a slitiny hliníku cca $150 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$) /14/, tudíž rozměry kráteru (obr. 2.3) budou větší.

Postup zpracování jsem volil v souladu s kapitolami 2.3 a 2.6. Průběh obrábění v prvním řezu tedy probíhal jako pro Al a ve druhém a třetím řezu technologií pro Cu, což je plně v souladu s kap. 2.6, neboť Cu je z materiálů, se kterými jsou nějaké zkušenosti při drátovém řezání, a tudíž jsou pro něj sestaveny tabulky technologických parametrů na více řezů, co se týče hodnocení fyzikálních vlastností nejvíce odovídající daným hliníkovým slitinám.

Technologické parametry ve čtvrtém řezu pak již byly jen kombinací parametrů pro ocel, měď a hliník s přihlédnutím ke zkušenostem z drátového řezání v a.s. LUSTRY. Tyto parametry jsou totiž téměř stejné pro jakýkoliv materiál (viz. kap. 2.3). Jediné, obsluhou ovlivnitelné parametry, mající význam na konečnou drsnost povrchu, byly velikost pracovní mezery (GAP) a rychlost posuvu stolu.

Z obou průběhů parametrů jsem sestavil křivky (graf 1 a 2), jejichž průběh názorně ukazuje, že existuje minimální drsnost $R_a = 1,4 \mu\text{m}$, které je možno dosáhnout. To za podmínky, že $GAP = 20 \mu\text{m}$ a velikost posuvu $v_f = 10 \text{ mm/min}$. Jakákoliv změna jednoho z těchto parametrů má za následek zhoršení drsnosti povrchu. Minimální drsnosti bylo dosaženo za stavu, kdy byly splněny současně obě minimální kritéria (viz. Průvodní list vzorku č. 6).

Lepších výsledků podle mého názoru nepůjde za současného stavu dosáhnout, neboť k tomu není ani technické vybavení pro řízení stroje (viz. kap. 4.1). Lze totiž dodatečně zakoupit od firmy Heidenreich & Harbeck (dodavatel strojů MAKINO) speciální zařízení pro řízení generátoru, umožňující jinak modulovat průběh elektrických veličin při procesu obrábění. Tento způsob dosažení menší drsnosti povrchu se nazývá "Krystalické opracování" (MODE 2a3) a používá se pro tvrdé materiály.

Jisté malé ovlivnění by ještě mohlo nastat mírnými korekcemi v parametrech technologií pro druhý a třetí řez, což je vlastně příprava pro řez čtvrtý, ale větší vliv by to na velikost konečné drsnosti zřejmě stejně nemělo. Vzhledem k tomu, že dosažená drsnost povrchu byla značně větší než požadovaná, jsem tyto drobné korekce považoval v dané situaci za nepodstatné. Celkový přínos práce by se podstatně neměnil a došlo by ke zbytečnému vynaložení finančních prostředků.

Celkově tedy hodnotím druhou část diplomové práce tak, že byly získány podklady k tomu, že nebude možné na stávajícím technickém zařízení (a zřejmě ani na nově nabízeném) vyrábět kluzná vedení ze slitiny 424261, neboť vzorky zhotovované na náhradním (podobném) materiálu, vykazují příliš vysokou drsnost povrchu vzhledem k požadavkům na výše uvedená vedení kladeným.

7. Ekonomická úvaha o využitelnosti zkušeností s drátovým řezáním hliníkových slitin

Otázka využití výše uvedených výhod však bude do značné míry souviset s ekonomickým efektem obrábění hliníkových slitin elektroerozivním obráběním drátovou elektrodou. Hodina provozu stroje MAKINO EC 3040 stojí totiž vnitropodnikově 110 Kčs (jinak 390 Kčs). Přičemž například vyrobení předtvaru rybinové drážky (na 1.řez), uplatňované na právě realizovaném stroji, do materiálu o hloubce 80 mm trvalo jak drátořezu, tak i frézaři asi 20 min, nepočítaje však v to předfrézování základního tvaru. Drátořez takovouto operaci nepotřebuje, neboť řeže celý obvod. Hodina práce frézaře na dílně nástrojárny přijde v současné době na 92 Kčs.

Proto bude nutné vždy předem zvážit složitost požadovaného tvaru. Jelikož bude znám obvod tvaru a hloubka materiálu, bude možno odečíst z tabulek technologických parametrů pro daný materiál rychlost posuvu a tedy i určit, jak dlouho by tento výrobek obráběl drátořez. Potom již bude vždy záležet na konkrétním posouzení situace při znalosti nákladovosti obou způsobů výroby. Je zřejmé, že čím bude požadovaný tvar plošně složitější, tím více bude výhodnější

jej zhotovit na drátořezu.

Při výrobě rybiny načisto (šířka 60 mm, výška 8 mm na kvádru šířky 80 mm a výšce 20 mm) byl tento tvar frézováním a broušením zhotoven za 145 minut (z KR \varnothing 105 mm materiál 424201.61). Drátovým řezáním by to však trvalo 160 minut při kombinaci jednoho a čtyř řezů. Z toho vyplývá, že i kdyby se podařilo drátovým řezáním dosáhnout drsnosti povrchu $R_a=0,4$ mm, nebylo by to v žádném případě efektivní ani při výrobě jednoho kusu. Výroba většího množství kusů pak po stránce ekonomické jednoznačně hovoří pro klasické obrábění.

IV. ZÁVĚR

Ze získaných výsledků je zřejmé, že lze frézování, nejlépe plošně složitých tvarů ze slitin 424201 a 424254, nahradit elektroerozivním obráběním drátovou elektrodou. Ekonomický efekt však závisí na stupni složitosti obráběné součásti, z jakého polotovaru ji budeme zhotovovat a kolik kusů je potřeba vyrobit. Velkou výhodou je úspora materiálu.

Požadavku na dosažení drsnosti povrchu $R_a=0,4$ μ m se pro účel výroby kluzných vedení z hliníkové slitiny 424261 se nepodařilo vyhovět. To proto, že stroj MAKINO EC 3040 nemá dostatečné technické vybavení pro lepší modulaci průběhu pracovního proudu výboje a též proto, že uvedená požadovaná hodnota drsnosti povrchu odpovídá získaným výsledkům při elektroerozivním obrábění materiálů s jinými fyzikálními vlastnostmi, zejména vyšší teplotou tání.

Doporučuji tedy využít výsledky této práce pouze při výrobě tvarově složitějších dílů v 1.řezu. Dosažením požadované drsnosti povrchu se již dále nezabývat, neboť náklady nutné ještě vynaložit na tento úkol by nepřinesly žádný efekt. Podstatně lepších ekonomických výsledků se dá případně dosáhnout kombinací prostého elektroerozivního řezání s následným zalitím (materiálu 110 BG 15) do rybinovitého tvaru ocelového vedení.

Seznam použité literatury

- /1/. BRENÍK,P.: Obráběcí stroje,1.vyd.,SNTL Praha 1982
- /2/. ČSN 02 3092
- /3/. DRÁB,V.: Technologie I.,2.vyd.,VŠST Liberec 1985
- /4/. BARCAL,J.: Nekonenční metody obrábění, 1.vyd., ČVUT
Praha 1989
- /5/. ZOLOTYCH,B.N.: Fyzikální základy elektrojiskrového ob-
rábění kovů, 1.vyd., SNTL Praha 1954
- /6/. OEL-HELD GmbH, Stuttgart, Wissenswertes zur senkerosi-
on, 1990
- /7/. SENECKÝ,L.: TREND VUMA,19.roč.,1/88,str.48
- /8/. ČSN 42 4201
- /9/. ČSN 42 4254
- /10/. ČSN 42 4261
- /11/. AGIE,Losone Schweiz,Schneiderodieren erstaunlich ge-
nau, 1986
- /12/. ŽÍŽALA,J.: Elektrické metody obrábění,Technické pro-
blémy a praktické zavádzanie elektroerozív-
neho a ultrazvukového obrábania,VÚMA Nové
Mesto n.Váhom 1955
- /13/. ŠACHRAJ,M.L.: Pokrokové výrobní způsoby ve strojíren-
ství, 1.vyd., Průmyslové vydavatelství
Praha 1952
- /14/. KLEPŠ,Z.: Technické tabulky,2.vyd.,SNTL Praha 1986
- /15/. HEIDENREICH & HARBECK,Hamburg,Benutzerhandbuch für
MAKINO EC 3040,1988

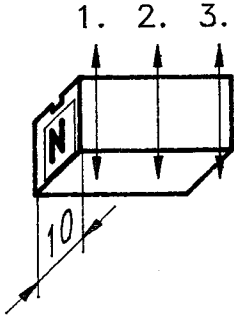
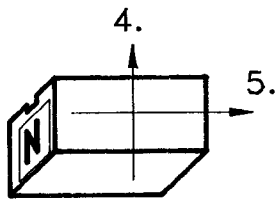
Seznam příloh

	str.
Tabulka rozsahů pracovních parametrů stroje MAKI- NO EC 3040	1
Průvodní listy vzorků (1 až 28) s technologickými parametry při jejich obrábění a naměřenými hodnotami přesnosti a drsnosti	2 až 29

Tabulka rozsahů pracovních parametrů stroje MAKINO EC 3040

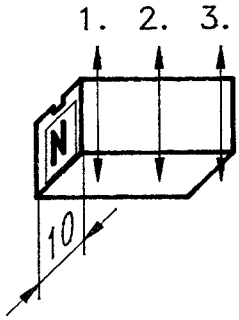
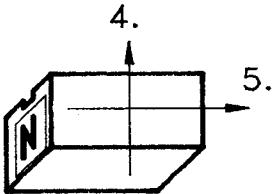
	Thickness	Tloušťka	
	Process		
1	E No.		0-9999
2	W.Dia	Číslo technologie	0-9999
3	MODE	Průměr drátu [μm]	0-4
4	ON TIME	Postup zpracování [kód]	1-64
5	OFF TIME	Doba impulzu [μs]	1-128
6	CURRENT	Odstup impulzu [μs]	1-39
7	I - C	Hlavní obráběcí proud [A]	00-77
8	VOLTAGE	Odporový/kondenzátorový proud [A]	1-60
9	SERVO	Zapalovací napětí [V]	0-100
10	FEED RATE	Citlivost [%]	0-50,000
11	A D C	Maximální posuv [mm/min]	0000-9999
12	DIELECTRIC	Sledování zkratu [kód]	0-5
13	W.FEED	Tlak vody [kg/cm ²]	0-25
14	FLOW RATE	Posuv drátu [cm/s]	0-77
15	TENZION	Tlak vody EC 3141(S)	0-16
16	CONDUKTIVITY	Přítlačný tlak drátu EC3141(S)	1-200
17	H-VALUE	Vodivost vody [μS/cm]	
18	D-VALUE	H-faktor - korekce rohů	
19	NEXT E NO.	D-offset - korekce dráhy	
20	REFER	Není použito	
		Reálný posuv [mm/min]	

Průvodní list vzorku

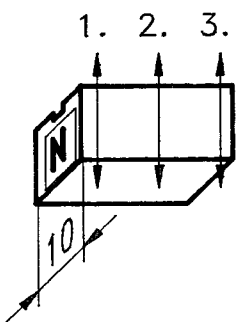
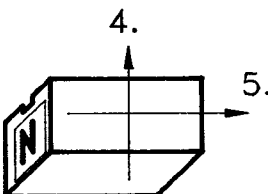
Pořad.č.vzorku	1				
Označení desky	01/020				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	0	0	0
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	0
	4 P.EIN	8	0	0	0
	5 P.AUS	25	0	0	0
	6 STROM	27	0	0	0
	7 I - C	30	0	0	0
	8 SPNG	40	0	0	0
	9 SERVO	45	0	0	0
	10 VORS.	8.2	0	0	0
	11 ADC	3023	0	0	0
	12 WDRUCK	1	0	0	0
	13 D.LAUF	12	0	0	0
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	0	0	0
	17 H-FAKTOR	34	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	147	0	0	0
	19				
20 MM/MIN	8.15	0	0	0	
Rozměry	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	-18 µm	-20 µm	-20 µm		
	-19 µm	-22 µm	-23 µm		
Drsnost	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm	
	4.	5.			
	R _m = 25.4 µm	R _m = 22.2 µm			
	R _a = 4.1 µm	R _a = 3.9 µm			

Průvodní list vzorku

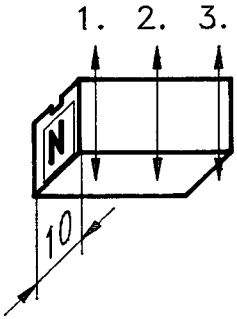
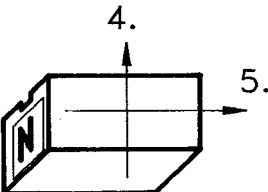
Pořad.č.vzorku	2				
Označení desky	54/020				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	0	0	0
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	0
	4 P.EIN	8	0	0	0
	5 P.AUS	25	0	0	0
	6 STROM	27	0	0	0
	7 I - C	30	0	0	0
	8 SPNG	40	0	0	0
	9 SERVO	45	0	0	0
	10 VORS.	8.2	0	0	0
	11 ADC	3023	0	0	0
	12 WDRUCK	1	0	0	0
	13 D.LAUF	12	0	0	0
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	0	0	0
	17 H-FAKTOR	34	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	147	0	0	0
	19				
20 MM/MIN	8.15	0	0	0	

Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET
	1.	2.	3.	
	-57 µm	-49 µm	-39 µm	
	-60 µm	-49 µm	-40 µm	
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech		Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm	
	4.	5.		
	R _m = 24.5 µm	R _m = 21.5 µm		
	R _a = 4.2 µm	R _a = 3.8 µm		

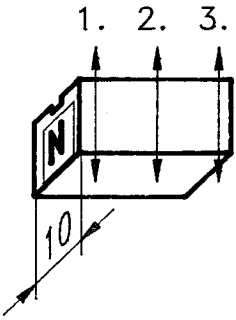
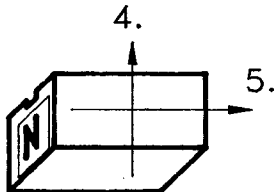
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	3				
Označení desky	01/020				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	3202	3203	3204
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	1
	4 P.EIN	8	2	2	1
	5 P.AUS	25	53	50	3
	6 STROM	27	7	5	1
	7 I - C	30	30	30	40
	8 SPNG	40	30	30	60
	9 SERVO	45	60	80	0
	10 VORS.	8.2	10.00	10.00	10.00
	11 ADC	3023	1093	1093	0093
	12 WDRUCK	1	3	3	3
	13 D.LAUF	12	10	10	10
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	28	28	28
	17 H-FAKTOR	34	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	195	135	125	115
	19				
20 MM/MIN	8.25	9.52	6.67	10.05	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	+31 µm	+30 µm	+28 µm		
	+27 µm	+28 µm	+27 µm		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 0.75 mm L=2 mm	
	4.	5.			
	R _m = 9.5 µm	R _m = 10.0 µm			
	R _a = 1.7 µm	R _a = 1.2 µm			

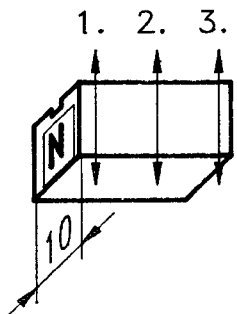
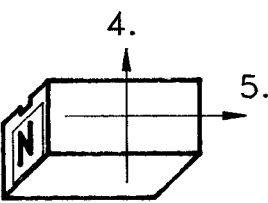
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	4				
Označení desky	54/020				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	3202	3203	3204
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	1
	4 P.EIN	8	2	2	1
	5 P.AUS	25	53	50	3
	6 STROM	27	7	5	1
	7 I - C	30	30	30	40
	8 SPNG	40	30	30	60
	9 SERVO	45	60	80	0
	10 VORS.	8.2	10.00	10.00	10.00
	11 ADC	3023	1093	1093	0093
	12 WDRUCK	1	3	3	3
	13 D.LAUF	12	10	10	10
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	28	28	28
	17 H-FAKTOR	34	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	195	135	125	115
	19				
20 MM/MIN	8.25	10.05	8.40	10.05	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	+24 µm	+27 µm	+23 µm		
	+23 µm	+24 µm	+22 µm		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 0.75 mm L= 2 mm	
	4.	5.			
	R _m = 10.0 µm	R _m = 10.0 µm			
	R _a = 1.7 µm	R _a = 1.3 µm			

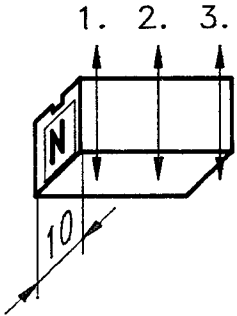
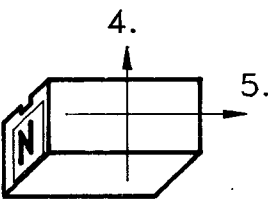
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	5				
Označení desky	54/020				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	3202	3203	3204
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	1
	4 P.EIN	8	2	2	1
	5 P.AUS	25	53	50	3
	6 STROM	27	7	5	1
	7 I - C	30	30	30	40
	8 SPNG	40	30	30	60
	9 SERVO	45	60	80	0
	10 VORS.	8.2	10.00	10.00	10.00
	11 ADC	3023	1093	1093	0093
	12 WDRUCK	1	3	3	3
	13 D.LAUF	12	10	10	10
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	28	28	28
	17 H-FAKTOR	34	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	215	140	120	100
	19				
20 MM/MIN	8.25	6.67	6.15	10.05	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	+16 µm	+18 µm	+15 µm		
	+14 µm	+15 µm	+12 µm		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 0.75 mm L= 2 mm	
	4.	5.			
	R _m = 8.5 µm	R _m = 6.5 µm			
	R _a = 1.3 µm	R _a = 1.2 µm			

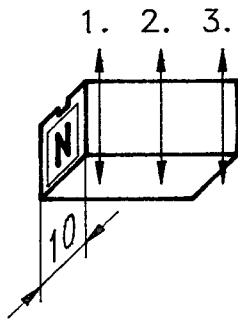
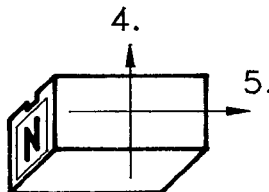
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	6				
Označení desky	01/020				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	3202	3203	3204
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	1
	4 P.EIN	8	2	2	1
	5 P.AUS	25	53	50	3
	6 STROM	27	7	5	1
	7 I - C	30	30	30	40
	8 SPNG	40	30	30	60
	9 SERVO	45	60	80	0
	10 VORS.	8.2	10.00	10.00	10.00
	11 ADC	3023	1093	1093	0093
	12 WDRUCK	1	3	3	3
	13 D.LAUF	12	10	10	10
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	28	28	28
	17 H-FAKTOR	34	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	215	140	120	100
	19				
20 MM/MIN	8.25	9.82	6.52	10.05	
Rozměry	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka:	
	1.	2.	3.	ORTHOTEST SOMET	
	+14 µm	+18 µm	+15 µm		
	+10 µm	+14 µm	+11 µm		
Drsnost	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka:	
	4.	5.		HOMMEL TESTER T3	
	R _m = 9.6 µm	R _m = 6.4 µm		Cut-off=	
	R _a = 1.4 µm	R _a = 1.0 µm		0.75 mm	
				L= 2 mm	

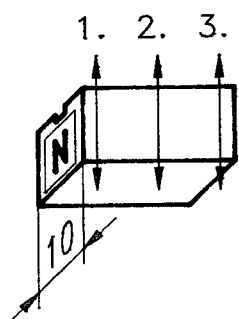
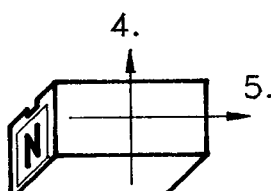
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	7				
Označení desky	01/020				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	3202	3203	3204
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	1
	4 P.EIN	8	2	2	1
	5 P.AUS	25	53	50	3
	6 STROM	27	7	5	1
	7 I - C	30	30	30	40
	8 SPNG	40	30	30	60
	9 SERVO	45	60	80	0
	10 VORS.	8.2	15.00	20.00	30.00
	11 ADC	3023	1093	1093	0093
	12 WDRUCK	1	3	3	3
	13 D.LAUF	12	10	10	10
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	28	28	28
	17 H-FAKTOR	34	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	215	140	120	100
	19				
20 MM/MIN	8.25	12.87	7.55	28.91	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	+20 µm	+25 µm	+22 µm		
	+17 µm	+22 µm	+20 µm		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 0.75 mm L= 2 mm	
	4.	5.			
	R _m = 10.0 µm	R _m = 9.7 µm			
	R _a = 1.6 µm	R _a = 1.4 µm			

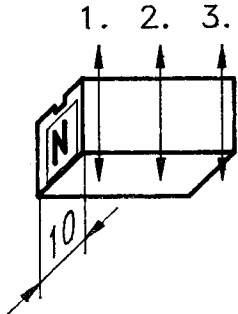
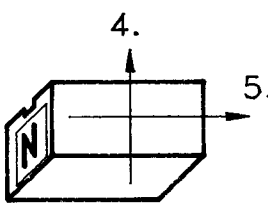
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	8				
Označení desky	01/100				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0019	0	0	0
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	0
	4 P.EIN	8	0	0	0
	5 P.AUS	25	0	0	0
	6 STROM	33	0	0	0
	7 I - C	30	0	0	0
	8 SPNG	40	0	0	0
	9 SERVO	40	0	0	0
	10 VORS.	1.7	0	0	0
	11 ADC	3023	0	0	0
	12 WDRUCK	1	0	0	0
	13 D.LAUF	16	0	0	0
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	0	0	0
	17 H-FAKTOR	45	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	173	0	0	0
	19				
20 MM/MIN	1.65	0	0	0	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	- 8 µm	-18 µm	+13 µm		
	-12 µm	-24 µm	+ 7 µm		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm	
	4.	5.			
	R _m = 30.0 µm	R _m = 27.5 µm			
	R _a = 6.2 µm	R _a = 4.0 µm			

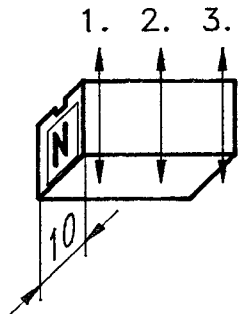
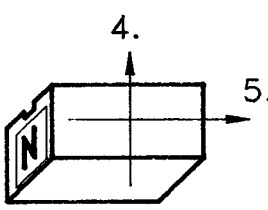
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	9					
Označení desky	01/080					
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez	
	1 E.NR	0809	0	0	0	
	2 ø	200	200	200	200	
	3 MODE	0	0	0	0	
	4 P.EIN	8	0	0	0	
	5 P.AUS	25	0	0	0	
	6 STROM	34	0	0	0	
	7 I - C	30	0	0	0	
	8 SPNG	40	0	0	0	
	9 SERVO	40	0	0	0	
	10 VORS.	2.4	0	0	0	
	11 ADC	3023	0	0	0	
	12 WDRUCK	1	0	0	0	
	13 D.LAUF	15	0	0	0	
	14 FLUSS					
	15 DRAHTD					
	16 L-WERT	28	0	0	0	
	17 H-FAKTOR	45	0	0	0	
	18 D ₁ -FAKTOR	170	0	0	0	
	19					
20 MM/MIN	2.32	0	0	0		
Rozměry				Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech		Poznámka: ORTHOTEST SOMET
		1.	2.	3.		
		+16 µm	- 1 µm	+12 µm		
		+13 µm	- 6 µm	+ 8 µm		
Drsnost				Drsnost povrchu v jednotlivých směrech		Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm
		4.	5.			
		R _m = 26.0 µm	R _m = 23.0 µm			
		R _a = 4.5 µm	R _a = 4.1 µm			

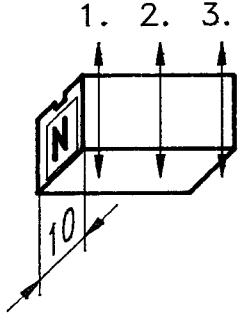
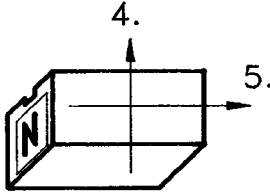
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	10				
Označení desky	01/010				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	0	0	0
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	0
	4 P.EIN	8	0	0	0
	5 P.AUS	25	0	0	0
	6 STROM	25	0	0	0
	7 I - C	30	0	0	0
	8 SPNG	40	0	0	0
	9 SERVO	50	0	0	0
	10 VORS.	12.0	0	0	0
	11 ADC	3023	0	0	0
	12 WDRUCK	1	0	0	0
	13 D.LAUF	10	0	0	0
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	0	0	0
	17 H-FAKTOR	32	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	140	0	0	0
	19				
20 MM/MIN	12.3	0	0	0	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	-13 µm	-16 µm	-15 µm		
	-17 µm	-19 µm	-20 µm		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm	
	4.	5.			
	R _m = 26.5 µm	R _m = 21.1 µm			
	R _a = 4.8 µm	R _a = 3.9 µm			

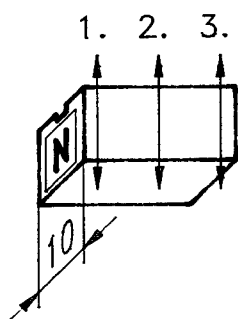
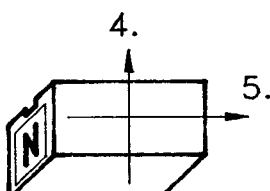
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	11				
Označení desky	01/060				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0609	0	0	0
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	0
	4 P.EIN	8	0	0	0
	5 P.AUS	25	0	0	0
	6 STROM	35	0	0	0
	7 I - C	30	0	0	0
	8 SPNG	40	0	0	0
	9 SERVO	40	0	0	0
	10 VORS.	3.4	0	0	0
	11 ADC	3023	0	0	0
	12 WDRUCK	1	0	0	0
	13 D.LAUF	15	0	0	0
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	0	0	0
	17 H-FAKTOR	45	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	168	0	0	0
	19				
20 MM/MIN	3.3	0	0	0	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	+15 µm	- 3 µm	+ 6 µm		
	+ 8 µm	- 8 µm	+ 1 µm		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm	
	4.	5.			
	R _m = 25.5 µm	R _m = 25.5 µm			
	R _a = 4.0 µm	R _a = 3.6 µm			

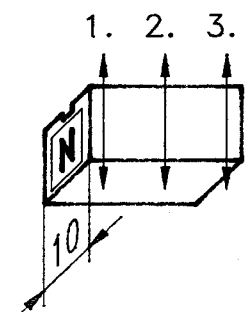
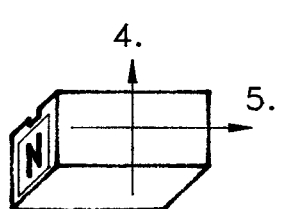
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	12					
Označení desky	01/005					
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez	
	1 E.NR	0209	0	0	0	
	2 ø	200	200	200	200	
	3 MODE	0	0	0	0	
	4 P.EIN	8	0	0	0	
	5 P.AUS	25	0	0	0	
	6 STROM	23	0	0	0	
	7 I - C	30	0	0	0	
	8 SPNG	40	0	0	0	
	9 SERVO	50	0	0	0	
	10 VORS.	20.0	0	0	0	
	11 ADC	3023	0	0	0	
	12 WDRUCK	1	0	0	0	
	13 D.LAUF	9	0	0	0	
	14 FLUSS					
	15 DRAHTD					
	16 L-WERT	28	0	0	0	
	17 H-FAKTOR	30	0	0	0	
	18 D ₁ -FAKTOR	160	0	0	0	
	19					
20 MM/MIN	20.10	0	0	0		
Rozměry				Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech		Poznámka: ORTHOTEST SOMET
	1.	2.	3.	1.	2.	
	neměřeno	+42 µm +37 µm	neměřeno			
Drsnost				Drsnost povrchu v jednotlivých směrech		Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm
	4.	5.	4.	5.		
	R _m = 25.0 µm R _a = 3.8 µm	neměřeno				

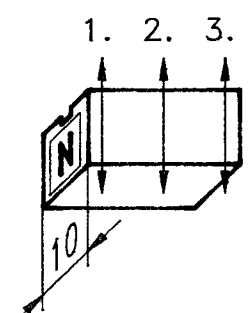
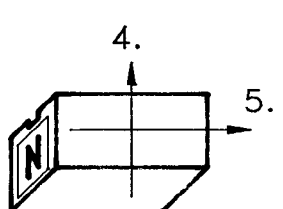
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku		13			
Označení desky		01/040			
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0409	0	0	0
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	0
	4 P.EIN	8	0	0	0
	5 P.AUS	25	0	0	0
	6 STROM	32	0	0	0
	7 I - C	30	0	0	0
	8 SPNG	40	0	0	0
	9 SERVO	40	0	0	0
	10 VORS.	5.0	0	0	0
	11 ADC	3023	0	0	0
	12 WDRUCK	1	0	0	0
	13 D.LAUF	14	0	0	0
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	0	0	0
	17 H-FAKTOR	40	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	155	0	0	0
	19				
20 MM/MIN	4.95	0	0	0	
Rozměry		Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET
		1.	2.	3.	
		- 8 µm	- 9 µm	-13 µm	
		-14 µm	-20 µm	-22 µm	
Drsnost		Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm
		4.	5.		
		R _m = 25.5 µm	R _m = 25.5 µm		
		R _a = 4.2 µm	R _a = 4.2 µm		

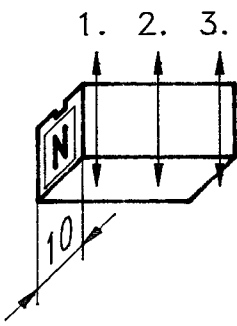
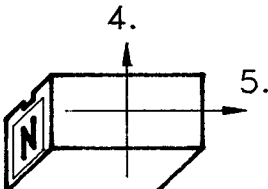
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	14				
Označení desky	01/003				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	0	0	0
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	0
	4 P.EIN	8	0	0	0
	5 P.AUS	25	0	0	0
	6 STROM	23	0	0	0
	7 I - C	30	0	0	0
	8 SPNG	40	0	0	0
	9 SERVO	50	0	0	0
	10 VORS.	20	0	0	0
	11 ADC	3023	0	0	0
	12 WDRUCK	1	0	0	0
	13 D.LAUF	9	0	0	0
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	0	0	0
	17 H-FAKTOR	30	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	170	0	0	0
	19				
20 MM/MIN	20.10	0	0	0	
Rozměry	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	1.	2.	3.	Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm	
	neměřeno	+22 µm +14 µm	neměřeno		
Drsnost	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm	
	4.	5.			
	4.	5.		Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm	
	R _m = 30.0 µm R _a = 3.2 µm	neměřeno			

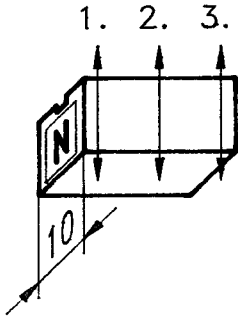
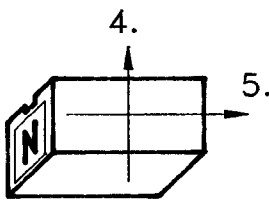
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	15				
Označení desky	54/100				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0019	0	0	0
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	0
	4 P.EIN	8	0	0	0
	5 P.AUS	25	0	0	0
	6 STROM	33	0	0	0
	7 I - C	30	0	0	0
	8 SPNG	40	0	0	0
	9 SERVO	40	0	0	0
	10 VORS.	1.7	0	0	0
	11 ADC	3023	0	0	0
	12 WDRUCK	1	0	0	0
	13 D.LAUF	16	0	0	0
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	0	0	0
	17 H-FAKTOR	45	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	173	0	0	0
	19				
20 MM/MIN	1.65	0	0	0	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	+14 µm	-11 µm	+13 µm		
	+ 9 µm	-17 µm	+12 µm		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm	
	4.	5.			
	R _m = 27.0 µm	R _m = 26.6 µm			
	R _a = 4.2 µm	R _a = 4.4 µm			

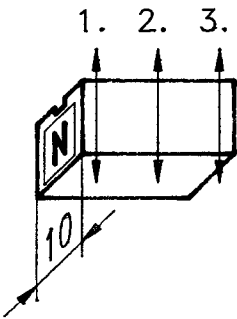
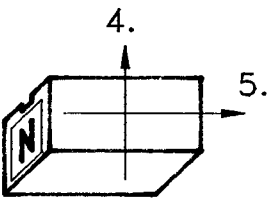
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	16				
Označení desky	01/020				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	3202	3203	3204
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	1
	4 P.EIN	8	2	2	1
	5 P.AUS	25	53	50	3
	6 STROM	27	7	5	1
	7 I - C	30	30	30	40
	8 SPNG	40	30	30	60
	9 SERVO	45	60	80	0
	10 VORS.	8.2	10.00	10.00	10.00
	11 ADC	3023	1093	1093	0093
	12 WDRUCK	1	3	3	3
	13 D.LAUF	12	10	10	10
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	28	28	28
	17 H-FAKTOR	34	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	215	140	120	90
	19				
20 MM/MIN	8.25	9.15	6.22	10.05	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	+22 µm	+22 µm	+18 µm		
	+18 µm	+17 µm	+16 µm		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 0.75 mm L= 2 mm	
	4.	5.			
	R _m = 10.0 µm	R _m = 10.6 µm			
	R _a = 1.6 µm	R _a = 1.3 µm			

Průvodní list vzorku

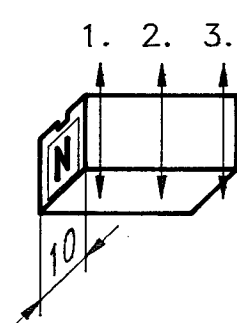
Pořad.č.vzorku	17				
Označení desky	01/020				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	3202	3203	3204
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	1
	4 P.EIN	8	2	2	1
	5 P.AUS	25	53	50	3
	6 STROM	27	7	5	1
	7 I - C	30	30	30	40
	8 SPNG	40	30	30	60
	9 SERVO	45	60	80	0
	10 VORS.	8.2	10.00	10.00	10.00
	11 ADC	3023	1093	1093	0093
	12 WDRUCK	1	3	3	3
	13 D.LAUF	12	10	10	10
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	28	28	28
	17 H-FAKTOR	34	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	215	140	120	85
	19				
20 MM/MIN	8.25	9.15	6.22	10.05	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	+17 µm	+22 µm	+18 µm		
	+12 µm	+18 µm	+16 µm		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 0.75 mm L= 2 mm	
	4.	5.			
R _m = 12.5 µm	R _m = 10.0 µm				
R _a = 1.7 µm	R _a = 1.5 µm				

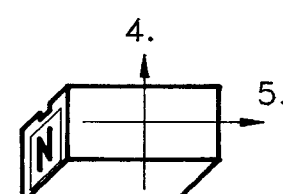
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	18				
Označení desky	01/020				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	3202	3203	3204
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	1
	4 P.EIN	8	2	2	1
	5 P.AUS	25	53	50	3
	6 STROM	27	7	5	1
	7 I - C	30	30	30	40
	8 SPNG	40	30	30	60
	9 SERVO	45	60	80	0
	10 VORS.	8.2	10.00	10.00	10.00
	11 ADC	3023	1093	1093	0093
	12 WDRUCK	1	3	3	3
	13 D.LAUF	12	10	10	10
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	28	28	28
	17 H-FAKTOR	34	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	215	140	120	110
	19				
20 MM/MIN	8.25	9.15	6.22	10.05	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	+21 µm	+22 µm	+20 µm		
	+19 µm	+19 µm	+18 µm		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 0.75 mm L= 2 mm	
	4.	5.			
	R _m = 10.0 µm	R _m = 10.0 µm			
	R _a = 2.1 µm	R _a = 1.8 µm			

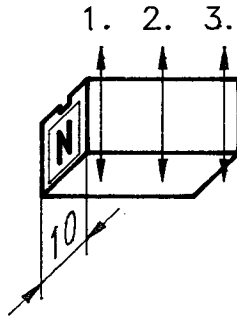
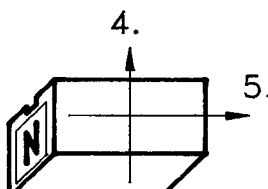
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	19				
Označení desky	54/080				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0809	0	0	0
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	0
	4 P.EIN	8	0	0	0
	5 P.AUS	25	0	0	0
	6 STROM	34	0	0	0
	7 I - C	30	0	0	0
	8 SPNG	40	0	0	0
	9 SERVO	40	0	0	0
	10 VORS.	2.4	0	0	0
	11 ADC	3023	0	0	0
	12 WDRUCK	1	0	0	0
	13 D.LAUF	15	0	0	0
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	0	0	0
	17 H-FAKTOR	45	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	170	0	0	0
	19				
20 MM/MIN	2.32	0	0	0	

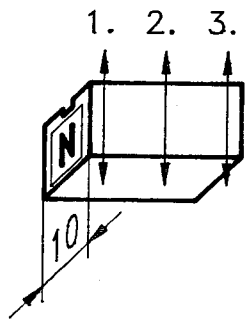
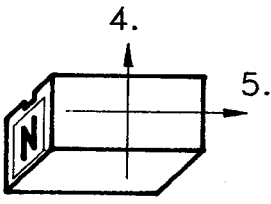
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET
	1.	2.	3.	
	+ 6 µm	+10 µm	+ 4 µm	
	+ 2 µm	+ 4 µm	+ 1 µm	

Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech		Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm
	4.	5.	
	R _m = 24.0 µm	R _m = 21.1 µm	
	R _a = 4.1 µm	R _a = 3.9 µm	

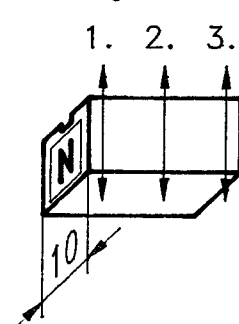
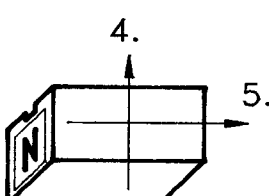
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	20				
Označení desky	54/010				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	0	0	0
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	0
	4 P.EIN	8	0	0	0
	5 P.AUS	25	0	0	0
	6 STROM	25	0	0	0
	7 I - C	30	0	0	0
	8 SPNG	40	0	0	0
	9 SERVO	50	0	0	0
	10 VORS.	12.0	0	0	0
	11 ADC	3023	0	0	0
	12 WDRUCK	1	0	0	0
	13 D.LAUF	10	0	0	0
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	0	0	0
	17 H-FAKTOR	32	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	140	0	0	0
	19				
20 MM/MIN	12.07	0	0	0	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	- 6 µm	- 5 µm	-10 µm		
	-11 µm	-11 µm	-14 µm		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm	
	4.	5.			
	R _m = 25.1 µm	R _m = 27.5 µm			
	R _a = 4.1 µm	R _a = 4.1 µm			

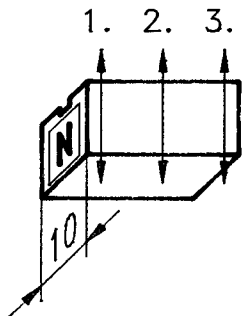
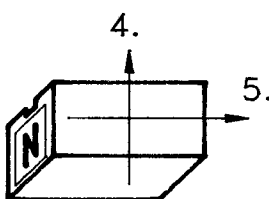
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	21				
Označení desky	01/020				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	3202	3203	3204
	2 \emptyset	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	1
	4 P.EIN	8	2	2	1
	5 P.AUS	25	53	50	3
	6 STROM	27	7	5	1
	7 I - C	30	30	30	40
	8 SPNG	40	30	30	60
	9 SERVO	45	60	80	0
	10 VORS.	8.2	13.00	5.5	5.0
	11 ADC	3023	1093	1093	0093
	12 WDRUCK	1	3	3	3
	13 D.LAUF	12	10	10	10
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	28	28	28
	17 H-FAKTOR	34	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	215	140	120	100
	19				
20 MM/MIN	8.25	12.67	5.62	5.02	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1. +14 μm + 7 μm	2. +15 μm + 9 μm	3. +14 μm + 8 μm		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 0.75 mm L= 2 mm	
	4. $R_m = 8.5 \mu\text{m}$ $R_a = 1.5 \mu\text{m}$	5. $R_m = 6.0 \mu\text{m}$ $R_a = 1.0 \mu\text{m}$			

Průvodní list vzorku

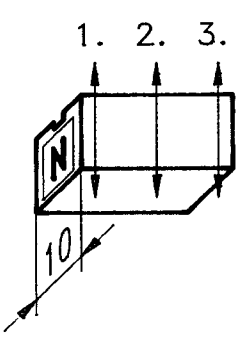
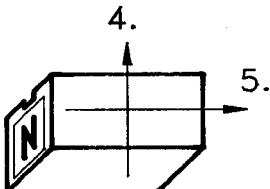
Pořad.č.vzorku	22				
Označení desky	01/020				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	3202	3203	3204
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	1
	4 P.EIN	8	2	2	1
	5 P.AUS	25	53	50	3
	6 STROM	27	7	5	1
	7 I - C	30	30	30	40
	8 SPNG	40	30	30	60
	9 SERVO	45	60	80	0
	10 VORS.	8.2	13.00	7.5	20.0
	11 ADC	3023	1093	1093	0093
	12 WDRUCK	1	3	3	3
	13 D.LAUF	12	10	10	10
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	28	28	28
	17 H-FAKTOR	34	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	215	140	120	100
	19				
20 MM/MIN	8.25	9.82	5.55	20.10	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	+12 µm	+17 µm	+14 µm		
	+ 9 µm	+14 µm	+11 µm		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 0.75 mm L= 2 mm	
	4.	5.			
	R _m = 10.0 µm	R _m = 7.7 µm			
	R _a = 1.5 µm	R _a = 1.2 µm			

Průvodní list vzorku

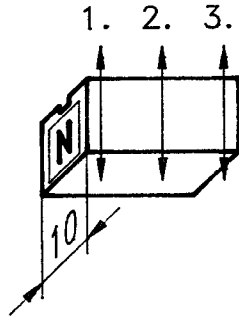
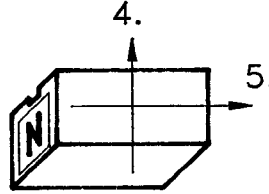
Pořad.č.vzorku	23				
Označení desky	01/020				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	3202	3203	3204
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	1
	4 P.EIN	8	2	2	1
	5 P.AUS	25	53	50	3
	6 STROM	27	7	5	1
	7 I - C	30	30	30	40
	8 SPNG	40	30	30	60
	9 SERVO	45	60	80	0
	10 VORS.	8.2	13.00	7.5	35.0
	11 ADC	3023	1093	1093	0093
	12 WDRUCK	1	3	3	3
	13 D.LAUF	12	10	10	10
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	28	28	28
	17 H-FAKTOR	34	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	215	140	120	100
	19				
20 MM/MIN	8.25	9.82	5.55	35.20	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	+16 µm	+16 µm	+13 µm		
	+13 µm	+14 µm	+12 µm		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 0.75 mm L= 2 mm	
	4.	5.			
	R _m = 8.6 µm	R _m = 9.1 µm			
	R _a = 1.7 µm	R _a = 1.6 µm			

Průvodní list vzorku

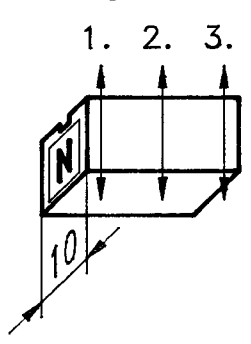
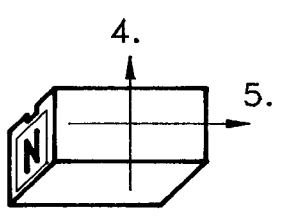
Pořad.č.vzorku	24				
Označení desky	54/060				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0609	0	0	0
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	0
	4 P.EIN	8	0	0	0
	5 P.AUS	25	0	0	0
	6 STROM	35	0	0	0
	7 I - C	30	0	0	0
	8 SPNG	40	0	0	0
	9 SERVO	40	0	0	0
	10 VORS.	3.4	0	0	0
	11 ADC	3023	0	0	0
	12 WDRUCK	1	0	0	0
	13 D.LAUF	15	0	0	0
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	0	0	0
	17 H-FAKTOR	45	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	168	0	0	0
	19				
20 MM/MIN	3.3	0	0	0	

Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET
	1.	2.	3.	
	+ 4 µm	+ 9 µm	+12 µm	
	- 6 µm	+ 4 µm	+ 4 µm	
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech		Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm	
	4.	5.		
	R _m = 26.5 µm	R _m = 23.0 µm		
	R _a = 4.5 µm	R _a = 4.2 µm		

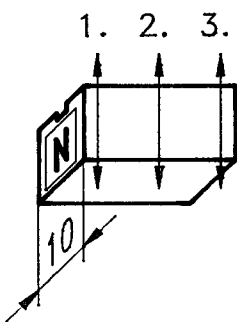
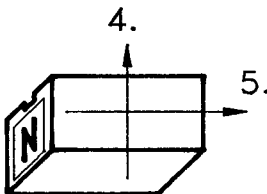
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	25				
Označení desky	54/005				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	0	0	0
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	0
	4 P.EIN	8	0	0	0
	5 P.AUS	25	0	0	0
	6 STROM	23	0	0	0
	7 I - C	30	0	0	0
	8 SPNG	40	0	0	0
	9 SERVO	50	0	0	0
	10 VORS.	20.0	0	0	0
	11 ADC	3023	0	0	0
	12 WDRUCK	1	0	0	0
	13 D.LAUF	9	0	0	0
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	0	0	0
	17 H-FAKTOR	30	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	140	0	0	0
	19				
20 MM/MIN	20.10	0	0	0	
Rozměry	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	1.	2.	3.	Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm	
	neměřeno	+ 7 µm - 1 µm	neměřeno		
Drsnost	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm	
	4.	5.			
	4.	5.		Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm	
	R _m = 25.0 µm R _a = 4.1 µm	neměřeno			

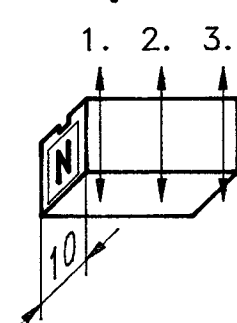
Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	26				
Označení desky	54/040				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0409	0	0	0
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	0
	4 P.EIN	8	0	0	0
	5 P.AUS	25	0	0	0
	6 STROM	32	0	0	0
	7 I - C	30	0	0	0
	8 SPNG	40	0	0	0
	9 SERVO	40	0	0	0
	10 VORS.	5.0	0	0	0
	11 ADC	3023	0	0	0
	12 WDRUCK	1	0	0	0
	13 D.LAUF	14	0	0	0
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	0	0	0
	17 H-FAKTOR	40	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	155	0	0	0
	19				
20 MM/MIN	4.95	0	0	0	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1.	2.	3.		
	-21 µm	- 8 µm	- 9 µm		
	-26 µm	-15 µm	-12 µm		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm	
	4.	5.			
	R _m = 24.5 µm	R _m = 28.4 µm			
	R _a = 4.0 µm	R _a = 4.5 µm			

Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	27				
Označení desky	54/003				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	0	0	0
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	0
	4 P.EIN	8	0	0	0
	5 P.AUS	25	0	0	0
	6 STROM	23	0	0	0
	7 I - C	30	0	0	0
	8 SPNG	40	0	0	0
	9 SERVO	50	0	0	0
	10 VORS.	20.0	0	0	0
	11 ADC	3023	0	0	0
	12 WDRUCK	1	0	0	0
	13 D.LAUF	9	0	0	0
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	0	0	0
	17 H-FAKTOR	30	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	170	0	0	0
	19				
20 MM/MIN	20.10	0	0	0	
Rozměry 	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka: ORTHOTEST SOMET	
	1. neměřeno	2. +41 µm +36 µm	3. neměřeno		
Drsnost 	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka: HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 2.5 mm L=6.3 mm	
	4. R _m = 26.5 µm R _a = 4.5 µm	5. neměřeno			

Průvodní list vzorku

Pořad.č.vzorku	28				
Označení desky	01/020				
Technologické parametry	Proces	1.řez	2.řez	3.řez	4.řez
	1 E.NR	0209	3202	3203	3204
	2 ø	200	200	200	200
	3 MODE	0	0	0	1
	4 P.EIN	8	2	2	1
	5 P.AUS	25	53	50	3
	6 STROM	27	7	5	1
	7 I - C	30	30	30	40
	8 SPNG	40	30	30	60
	9 SERVO	45	60	80	0
	10 VORS.	8.2	10.00	10.00	10.00
	11 ADC	3023	1093	1093	0093
	12 WDRUCK	1	3	3	3
	13 D.LAUF	12	10	10	10
	14 FLUSS				
	15 DRAHTD				
	16 L-WERT	28	28	28	28
	17 H-FAKTOR	34	0	0	0
	18 D ₁ -FAKTOR	215	140	120	105
	19				
20 MM/MIN	8.25	9.82	6.52	10.05	
Rozměry	Úchylka od jmenovitého rozměru v jednotlivých místech			Poznámka:	
	1.		2.		ORTHOTEST SOMET
	+18 µm		+20 µm		
	+16 µm		+17 µm		
Drsnost	Drsnost povrchu v jednotlivých směrech			Poznámka:	
	4.		5.		HOMMEL TESTER T3 Cut-off= 0.75 mm L= 2 mm
	R _m = 8.0 µm		R _m = 6.5 µm		
R _a = 1.5 µm		R _a = 1.0 µm			
