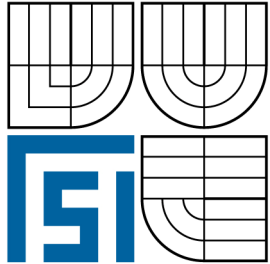




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**TRENDY POUŽITÍ NEKONVENČNÍ TECHNOLOGIE
ELEKTROEROZIVNÍHO DRÁTOVÉHO ŘEZÁNÍ.**
TRENDS IN USE OF NON-CONVENTIONAL TECHNOLOGY FOR
ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Kateřina Mouralová

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Karel Osička, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Kateřina Mouralová

který/která studuje v magisterském navazujícím studijním programu

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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

Trendy použití nekonvenční technologie elektroerozivního drátového řezání.

v anglickém jazyce:

**Trends in use of non-conventional technology
for electrical discharge machining.**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Trendy využití elektroerozivní technologie drátového řezání z hlediska požadavků na produktivitu a přesnost obrábění v podmínkách firmy charakteru malé nástrojárny.

Cíle diplomové práce:

Stávající úroveň elektroerozivní technologie drátového řezání.

Využití elektroerozivní technologie v podmínkách malé nástrojárny.

Porovnání vůdčích světových výrobců elektroerozivních strojů.

Úroveň ostatních výrobců elektroerozivních strojů.

Trendy dalšího vývoje elektroerozivní technologie a jejího využití v podmínkách malé nástrojárny.

Seznam odborné literatury:

1. BARCAL, J. Nekonvenční metody obrábění, Skriptum FSI ČVUT, Praha : Vydavatelství ČVUT, 1989.
2. KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. MAŇKOVÁ, I. Progresivní technologie, 1 vyd. Košice: Viena, 2000. 275 s. ISBN 80-7099-430-4.
4. OBERG, E., JONES, F.D., HORTON, H.L., RYFFEL, H.H. Machinery's hand-book. 25th Edition. New York: Industrial Press Inc., 1996. 2547 s. ISBN 0-8311-2595-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Osička, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne

L.S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce jsou budoucí trendy elektroerozivního drátového řezání v podmínkách malé nástrojárny. V úvodu je zpracována teorie této metody nekonvenčního obrábění. Praktická část je zaměřena na zhodnocení stávající úrovně elektroerozivního drátového řezání, důležitost využití elektroerozivního drátového řezání ve firmě Nástrojárna Ryšavý, porovnání a úroveň vůdčích světových výrobců elektroerozivních strojů a na trendy dalšího vývoje elektroerozivní technologie.

Klíčová slova

Elektroerozivní obrábění, elektroerozivní drátové řezání, WEDM, EDM.

ABSTRACT

The aim of this dissertation are future trends of electrical discharge machining in conditions of a small tool factory. In the introduction is presented the theory of non-conventional machining. The practical part is focused on valuation the current level of electrical discharge machining, the importance of the use in a tool Nástrojárna Ryšavý. It also compares the level of leading global manufacturers of electrical discharge machines and future trends of electro-discharge technology.

Key words

Electrical discharge machining, wire electrical discharge machining, WEDM, EDM.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MOURALOVÁ, K. *Trendy použití nekonvenční technologie elektroerozivního drátového řezání*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 53 s. Vedoucí diplomové práce
Ing. Karel Osička, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Trendy použití nekonvenční technologie elektroerozivního drátového řezání vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Podpis diplomanta

.....
Jméno a příjmení diplomanta

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Karlu Osičkovi, Jaroslavu Kohoutovi z firmy Penta Trading, spol. s r.o. a firmě Nástrojárna Ryšavý za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

ABSTRAKT.....	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ.....	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	8
1 NEKONVENČNÍ TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ.....	9
1.1 Vysvětlení pojmu nekonvenční technologie obrábění.....	9
1.2 Rozdělení nekonvenčních metod obrábění.....	9
1.3 Historie elektroeroze.....	10
1.4 Historie elektroerozivního obrábění.....	11
1.5 Princip elektroeroze.....	12
1.6 Elektroerozivní drátové řezání.....	14
1.7 Princip technologie.....	14
2 STÁVAJÍCÍ ÚROVEŇ ELEKTROEROZIVNÍ TECHNOLOGIE DRÁTOVÉHO ŘEZÁNÍ.....	16
2.1 Generátor.....	18
2.2 Povrch.....	19
2.3 Výplach.....	19
2.4 Automatické navlékání drátu.....	20
2.5 Přesnost.....	23
3 VYUŽITÍ ELEKTROEROZIVNÍ TECHNOLOGIE V PODMÍNKÁCH MALÉ NÁSTROJÁRNY.....	25
3.1 Popis výroby v malé nástrojárně.....	25
3.2 Konkrétní údaje o firmě.....	25
3.2.1 Strojní vybavení.....	26
3.2.2 Strojní obsluha.....	27
3.2.3 Využití strojů a organizace práce.....	27
3.2.4 Náklady na provoz elektroerozivních strojů.....	28
3.2.5 Příklad výpočtu ceny a času potřebného pro výrobu jednoduchých součástí nástroje.....	29
3.2.6 Závěr a zhodnocení.....	32
4 TRENDY DALŠÍHO VÝVOJE ELEKTROEROZIVNÍ TECHNOLOGIE A JEJÍHO VYUŽITÍ V PODMÍNKÁCH MALÉ NÁSTROJÁRNY.....	33
4.1 Zjednodušení obsluhy.....	33
4.2 Dohledové systémy.....	33
4.3 Automatizace - budoucnost.....	34
4.4 Technická úroveň strojů.....	35
4.4.1 Generátor.....	36
4.4.2 Sledování stavu jiskry a jiskrové mezery.....	36
4.4.3 Kvalita povrchu.....	37
4.4.4 Software.....	38
4.4.5 Mechanická konstrukce.....	38
5 POROVNÁNÍ A ÚROVEŇ VŮDČÍCH SVĚTOVÝCH VÝROBCŮ ELEKTROEROZIVNÍCH STROJŮ.....	40
5.1 Kvalita.....	40
5.2 Země původu.....	41

5.3 Jednotlivé značky výrobců.....	41
5.3.1 FANUC.....	41
5.3.2 MAKINO.....	42
5.3.3 SODICK.....	44
5.3.4 MITSUBISHI.....	45
5.3.5 AGIE / CHARMILLES.....	46
5.3.6 CHMER.....	48
5.3.7 ONA.....	49
ZÁVĚR.....	50
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	51
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	53

ÚVOD

V dnešním obrovskou rychlostí se rozvíjejícím technickém prostředí, které je bohužel poznamenané ekonomickou krizí, jsou neustále kladeny pořád vyšší požadavky na snižování výrobních nákladů, nicméně také s důrazem na stálý růst kvality a toto určuje trendy vývoje elektroerozivního drátového řezání.

Technologie elektroerozivního drátového řezání (WEDM) má již více než 50 letou tradici. Její rychlý a strmý nárůst v používání je zpomalován pouze jedním limitujícím faktorem, kterým je nutnost elektrické vodivosti obráběné součásti. Kromě tohoto omezení zde nejsou žádné další limitující aspekty, které by bránily nepřebornému množství možností, které nám tento druh nekonvenčního obrábění nabízí, mimo jiné i snížení zmetkovitosti a zvýšení produktivity výroby.

V této ekonomické krizi, kdy nemalý počet strojírenských podniků a firem uzavřel své pracoviště z důvodu klesajících zisků a snižující se poptávky po jejich výrobcích, je velmi důležité zamýšlet se nad trendy dalšího vývoje, který může společnosti pomoci ušetřit nezanedbatelné prostředky a to konkrétně v oblasti elektroerozivního drátového řezání. Nyní zaujímá elektroerozivní drátové obrábění čtvrté místo, hned za soustružením, frézováním a broušením, a to z hlediska celkového množství obráběných součástí. Proto snížení nákladů např. na obsluhu elektroerozivního stroje a školení, servis, nebo snížení nákladů na pracovní materiál jako je drát, je velmi podstatné, a to nejen pro malou nástrojárnu. Dále můžeme snížit pracovní čas stroje potřebný na obrobení určitého výrobku tím, že odstraníme rušivé aspekty při práci stroje, jako jsou např. vibrace, tím zlepšíme kvalitu obráběného povrchu a snížíme počet řezů potřebných k dosažení požadované střední aritmetické úchylky profilu.

1 NEKONVENČNÍ TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

Tato kapitola se bude zabývat technologií nekonvenčního obrábění a definicí používaných pojmů. Velmi okrajově se také seznámíme s dalšími NMO, jejich rozdělením a charakteristikami těchto technologií.

1.1 Vysvětlení pojmu nekonvenční technologie obrábění

Nekonvenční technologie obrábění představují soubor technologií, které nevyužívají pro obrábění a dělení materiálu klasických nástrojů, ale procesů zakládajících se na především přírodních zákonitostech o erozi materiálu. Při těchto metodách nikdy nedochází ke kontaktu „nástroje“, který bývá obvykle ve formě trysek, drátků, elektrod atd., s materiálem. Tyto nástroje následně mají za úkol produkovat určitou formu energie, která podporuje v obráběném materiálu erozivní účinky, a tím dochází k obrušování anebo dělení materiálu.

1.2 Rozdělení nekonvenčních metod obrábění

Všechny nekonvenční technologie obrábění lze podle své podstaty obrábění rozdělit do těchto skupin:

a) oddělování materiálu mechanickým účinkem:

- ultrazvukové obrábění - USM,
- obrábění paprskem vody - WJM,
- obrábění abrazivním vodním paprskem - AWJ.

b) oddělování materiálu tepelným účinkem:

- elektroerozivní obrábění - EDM,
- obrábění paprskem plazmy - PBM,
- obrábění paprskem laseru - LBM,
- obrábění paprskem elektronů - EBM.

c) oddělování materiálu elektrochemickým nebo chemickým účinkem:

- elektrochemické obrábění - ECM,
- chemické obrábění - CM.

Uvedené NMO jsou charakterizovány velkým rozsahem parametrů, ať už z hlediska technologických podmínek, tak z hlediska výstupů procesů. Některé z výstupních parametrů jsou uvedeny v tabulce 1.1.⁴

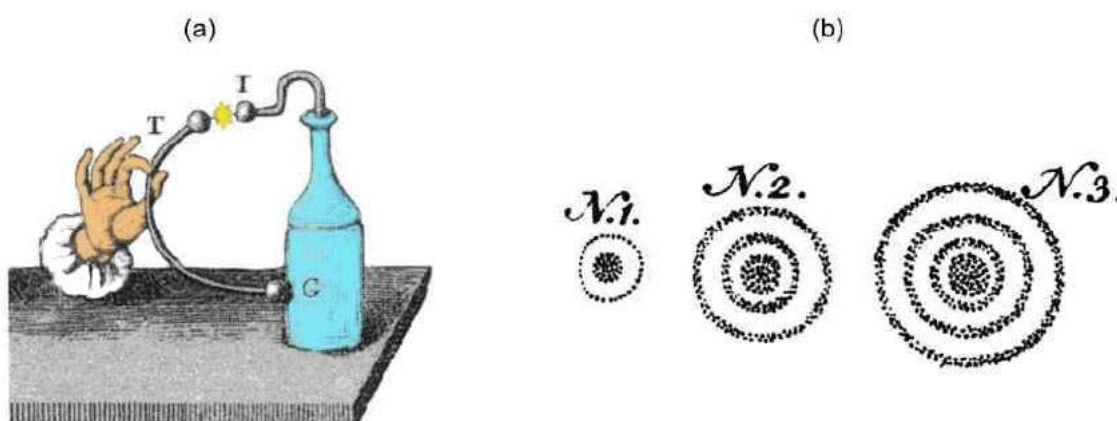
Tab. 1.1 Výstupní technologické parametry vybraných NMO⁴

Metoda	Drsnost Ra [μm]	Stupeň přesnosti IT	Hloubka ovlivněné vrstvy [μm]	Úběr cm ³ .min ⁻¹	Měrná spotřeba energie kWh.cm ⁻³
Elektrojiskrové obrábění	50 - 0,2	6 – 12	10 – 300	10 ⁻⁴ – 0,6	0,1 – 1
Obrábění paprskem laseru	50 - 6,3	6 – 12	6 – 12	10 ⁻² – 0,4	8 – 12
Obrábění paprskem elektronů	50 - 6,3		Beze změn	10 ⁻² – 0,4	
Obráb. paprskem plazmy	50 - 6,3		500 – 800	100	
Elektrochemické obrábění	2,5 - 1,6	9 – 12	Beze změn	0,05 – 0,5	0,1 – 0,3
Elektrochemické broušení	0,8 - 0,2	6 – 9	Beze změn	2 – 10	0,04 – 0,08
Ultrazvukové obrábění	6,3 - 0,4	7 – 9	Beze změn	10 ⁻² - 10	0,07 – 0,8
Obrábění vodním paprskem	3,2	7 - 9	Beze změn		

1.3 Historie elektroeroze

Historické počátky elektroeroze se datují až k objevu elektrických výbojů. Vedle výbojů vytvářených přírodními silami, především blesky, byly uměle vytvořené výboje závislé na vývoji zdroje elektrické energie. První výzkumy elektrostatického jevu byly pozorovány při tření, už v průběhu první poloviny 18. století. Potom byly první jiskry a pulzní oblouky elektrických výbojů vytvářeny s pomocí Leydenovy nádoby, která je ranou formou kondenzátoru vynalezeného v Německu roku 1745. Silnějšího výboje mohlo být dosaženo při spojení několika Leydenových nádob do paralely a tím vznikla baterie.

Joseph Priestley (1733-1804), anglický vědec a chemik, který jako první objevil v roce 1766 erozivní krátery zanechané po elektrickém výboji na povrchu katody.³

Obr. 1.1 Leydenova nádoba³

(a) Vznik elektrického výboje na Leydenove Nádobě

(b) Nákresy erozivních kráterů na katodě.

1.4 Historie elektroerozivního obrábění

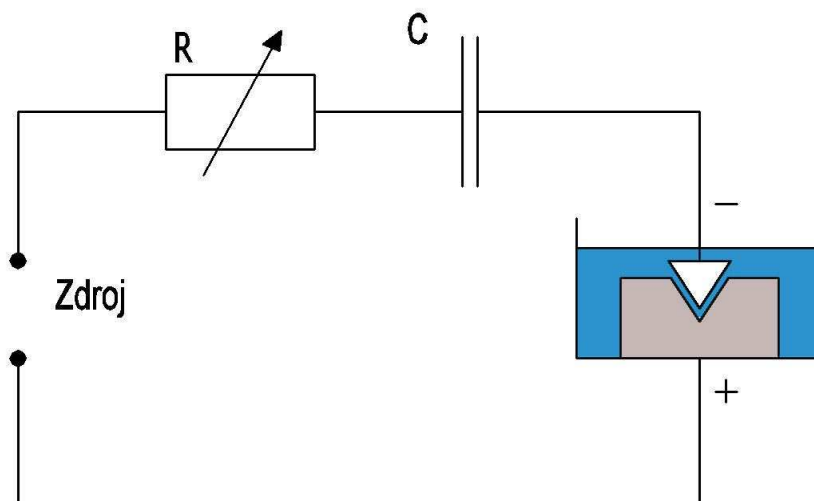
Principem elektrotelného úběru materiálu je fyzikální jev, obecně zvaný jako elektroeroze. Již roku 1766 anglický vědec J. Priestley při zkoumání chování plynů zjistil, že na plochách, které jsou vodivé, a to většinou na kovech, při elektrickém výboji v plynu vznikají tzv. krátery. Tento jev, který byl v pozdějších dobách nazývaný jako elektroeroze, se stal předmětem dalšího výzkumu v oblasti, jako je fyzika plynných a kapalných fází.

Elektroerozivní obrábění má své určité vlastnosti, protože se zaměřuje na sledování výbojů mezi elektrodami ve velmi nepatrné vzdálenosti (5 až 100) μm a to většinou v podmínkách kapalného nebo i znečištěného dielektrika. Z pohledu průmyslového využití bylo prováděno zkoumání elektroeroze především v oblasti konstrukce kontaktních spínacích zařízení, kde se bohužel stává nežádoucím jevem a vyvolává tak i větší opotřebení kontaktů.

Zakladateli prvního technologického využití jsou považováni manželé Lazarenkovi z Ruska, kteří v období 1938 až 1944 prováděli velmi intenzivní výzkum elektrických výbojů pro obrábění kovů, na základě kterého definovali následující zákonitosti elektroeroze:

- všechny elektricky vodivé materiály podléhají elektrické erozi,
- materiály podléhají elektrické erozi jak v plynném tak kapalném prostředí (dielektriku).

vhodným zapojením a volbou parametrů obvodu lze docílit přeměny stacionárního výboje (oblouku) na opakované nestacionární výboje umožňující výrazně přesnější rozrušování materiálu. Jimi navržené zapojení použitého generátoru, označované také jako Lazarenkovo zapojení, bylo po velmi dlouhou dobu používáno jako zdroj elektrických výbojů v oblasti elektroerozivního obrábění.²

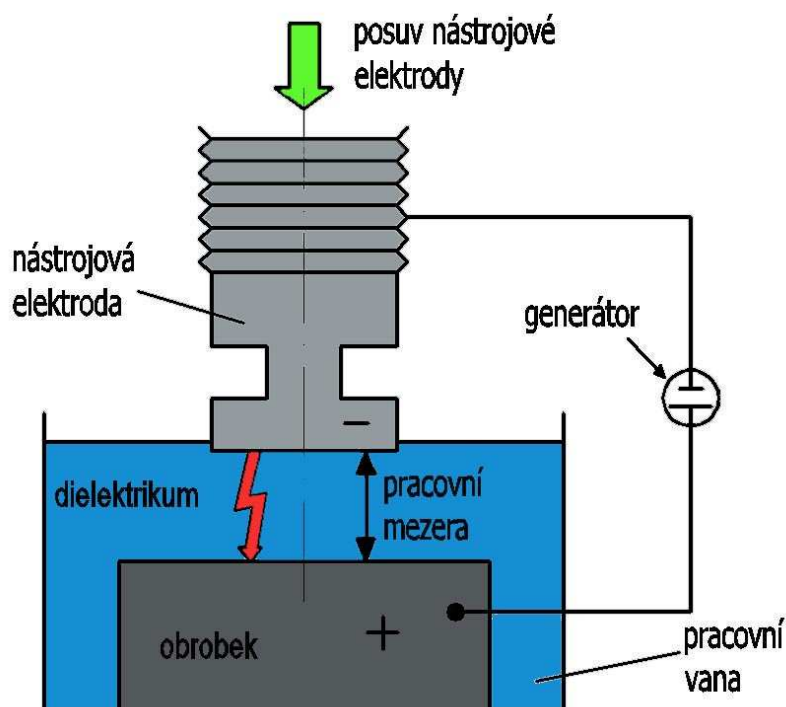


Obr. 1.2 Lazarenkovo zapojení².

1.5 Princip elektroeroze

Fyzikální pochod úběru materiálu je značně kompaktní jev. Jak můžeme vidět na obr. 1.3 obrábění probíhá na dvou elektrodách současně při ponoření do pracovního média. Tímto médiem je vždy dielektrikum, což je kapalina s vysokým elektrickým odporem. Vznik elektrického výboje mezi elektrodami je vždy vyvolán přivedením napětí na elektrody. Výše tohoto napětí závisí hlavně na následujících faktorech:

- vzdálenost mezi elektrodami,
- vodivost dielektrické kapaliny,
- znečištění dielektrika.

Obr. 1.3 Schéma elektroeroze².

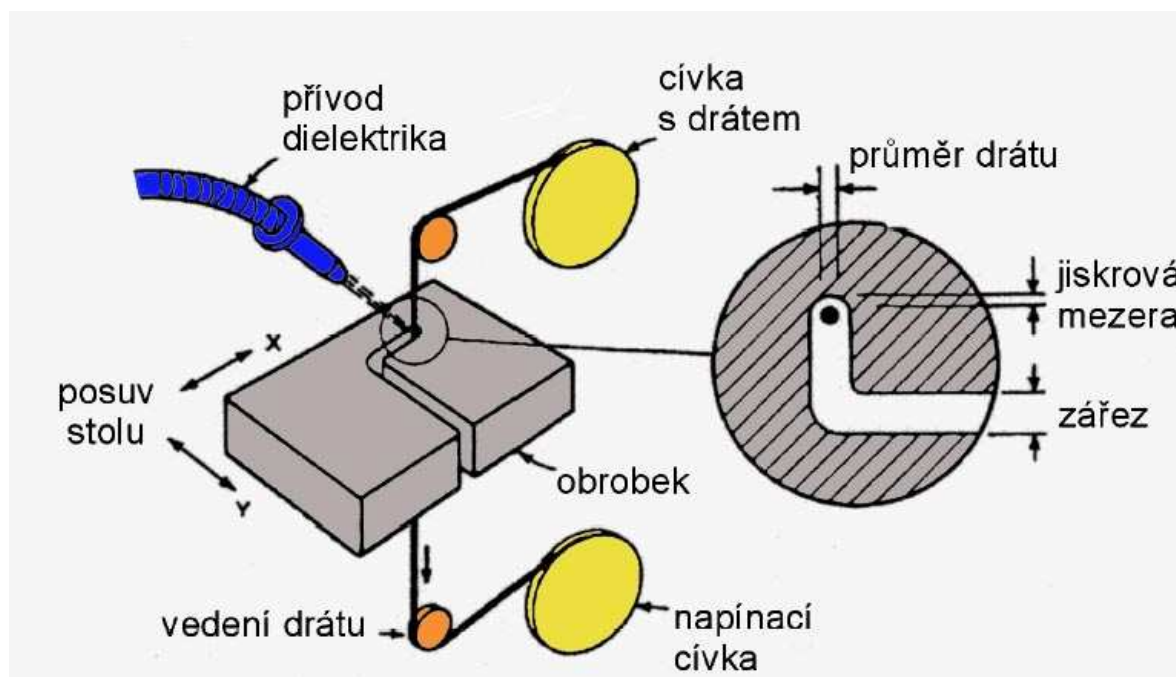
Výboj vzniká v místě nejsilnějšího elektrického napětového pole. Elektrické pole tak uvádí do pohybu kladné a záporné ionty, které se neustále zrychlují a nabývají značné rychlosti. Tento jev vede k vytvoření ionizovaného vodivého kanálu. V tomto stádiu začíná mezi elektrodami protékat elektrický proud a mezi elektrodami vzniká elektrický výboj, který následně vyvolává řadu dalších srážek částic. Vzniká tak plasmové pásmo, které dosahuje velice vysoké teploty (podle typu výboje 3000 až 12000) °C. Toto způsobuje tavení a odpaření nemalého množství materiálu na elektrodách. Zároveň v důsledku velmi vysokých teplot dochází k odpařování dielektrika, následně vzniká plynová bublina, jejíž tlak dosahuje rovněž vysokých hodnot. V okamžiku přerušení proudu vyvolá pokles teploty implozi (zhroucení do sebe) této bubliny. Do uzavřeného prostoru proniká dielektrikum a značné dynamické síly vymrští roztavený materiál z kráteru. V důsledku chladícího účinku dielektrika pak tento materiál tuhne a je odváděn proudem dielektrika ve formě drobných kuliček.²

1.6 Elektroerozivní drátové řezání

Elektroerozivní drátové řezání (mezinárodní označení WEDM) je progresivní modifikací elektrojiskrového obrábění. Tato metoda se vyznačuje minimální šířkou řezu a používá se hlavně pro výrobu střížných a lisovacích nástrojů a k obrábění kalených a těžkoobrobitelných materiálů.¹

1.7 Princip technologie

Technologie se přesně řídí zákonitostmi popsány výše při procesu elektrické eroze. Princip drátového řezání je popsán na obr. 1.4 a 1.5. Nástrojovou elektrodou je tenký drát, který musí být napínán a právě toto napínání ovlivňuje přesnost řezu. Drát je použitelný pouze jedinkrát, protože v důsledku řezného procesu dochází k jeho opotřebování. Je tedy nezbytné zajistit pohyb elektrody během řezu. Drát se postupně odvíjí pomocí pohonu a systému kladek ze svého zásobníku, kterým bývá ve většině případů cívka. Pohyb drátu je velmi pomalý, je řízen systémem stroje, dle požadovaného tvaru a vlastností materiálu a celého systému.¹

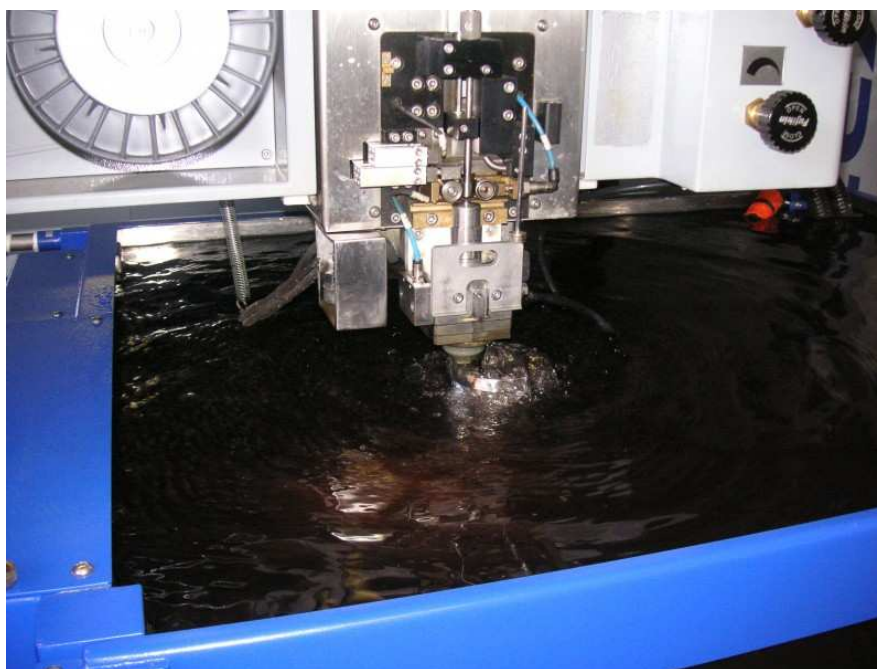


Obr. 1.4 Princip elektroerozivního drátového řezání¹.

Obráběný předmět tvoří elektrodu opačné polarity než je drát. Způsob zapojení závisí na typu použitého výboje a druhu konstrukce stroje. Obrobek je upnut na stole stroje, může se pohybovat, a nebo nevykonává žádný pohyb. Drát se odvíjí a pohybuje se ve vertikálním směru dle předem určené dráhy.

Rychlost úběru materiálu se uvádí jako objemový úběr za jednotku času. Pro starší stroje jsou hodnoty úběru řádově okolo $1300 \text{ mm}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$, u novějších a výkonnějších strojů jsou tyto hodnoty až desetinásobně vyšší. Rychlost úběru nejvíce závisí na druhu obráběného materiálu a jeho vodivosti. Vlastnosti materiálu jako tvrdost a houževnatost nemají významný účinek. Dosahovaná pracovní přesnost se pohybuje okolo $0,013 \text{ mm}$, podle druhu zařízení. Přesnost polohování drátu je až $0,003 \text{ mm}$. Pro přesné obrábění je také důležité přesné dodržení vzdálenosti mezi elektrodami. Tato vzdálenost bývá okolo $0,03 \text{ mm}$.

Povrch materiálů po opracování vykazuje typické stopy po tepelném odpaření. Dosahuje se drsnosti v rozmezí $(18 \text{ až } 0,8) \mu\text{m}$, v závislosti na technologických parametrech daného procesu a počtu řezů.¹



Obr. 1.5 Princip elektroerozivního drátového řezání¹⁵.

2 STÁVAJÍCÍ ÚROVEŇ ELEKTROEROZIVNÍ TECHNOLOGIE DRÁTOVÉHO ŘEZÁNÍ

Elektroerozivní technologie prochází za posledních 30 let obrovským zlepšením. Faktorů, které to způsobují je mnoho a lze je shrnout do několika zásadních bodů.

1. Elektronika – významný podíl mají elektronické součástky. Porovnáme-li elektronické součástky v tomto období, zjistíme, že spínací rychlost křemíkových prvků se několikanásobně zvětšila, výkonová hustota se také mnohokrát zlepšila. To způsobuje, že dnešní generátory puslu jsou nejen menší, ale i mnohem spolehlivější, méně energeticky náročné a jejich účinnost je mnohem vyšší.

2. Mechanika – při současné konstrukci těl strojů je využíváno mnoha nejmodernějších poznatků z mechaniky a kinematiky. Při zachování vlastní hmotnosti konstrukce se zlepšují mechanické vlastnosti a stroje jsou více odolné proti vibracím. Díky využití CAD systémů se vypočítávají mechanická namáhání v jednotlivých částech strojů, což vede k mnohem efektivnějšímu návrhu konstrukce.

3. Software – vybavení, kterými dnes disponují moderní řídicí systémy jsou mnohdy hodně vzdálené tomu, co uměly stroje před několika mnoha lety. V prvopočátcích drátového řezání se stroj věnoval pouze výpočtům interpolace dráhy během obráběcího procesu. V současné době se kromě výpočtu korekční dráhy vypočítávají mnohem složitější algoritmy např. patentované algoritmy průjezdu vnitřním a vnějším rohem, obloukem, korekce přímosti pohybem os náklonu (UV) atd. Navíc lze upínat obrobky libovolně na upínací stůl, a stroj provádí korekci souřadného systému až během práce.

4. Řídicí systémy a HMI – vývoj řídicích systémů jde za poslední roky obrovským tempem. Již díky uvedeným pokrokovým technologiím je řídicí systém stále menší a menší, jeho možnosti a užitná hodnota se výrazně zvyšuje. To, čemu říkáme HMI (Human-Machine Interface), rozhraní mezi člověkem a strojem, se mnohonásobně zlepšilo. Obrovská bedna s několika 7-segmentovými zobrazovači přes černé obrazovky se zeleným písmem, posléze barevným monitorem. Hitem poslední doby je velká, zpravidla 15“ dotyková LCD obrazovka, která zobrazuje vnitřní stavy barevnými zobrazovači. Vizualizace je

zaplněna množstvím ukazatelů a diagnostických prvků. Rovněž komunikační možnosti se výrazně posunuly. Od děrných štítků, přes děrné pásky, kazety, diskety, sériové komunikační terminály až po současný stav, kdy je stroj napojen na LAN (Local Area Network), lokální síť, s funkcemi DNC, kdy jsou soubory nahrávány do stroje přímo z CAD/CAM systémů. Nespornou výhodou dnešních moderních servosystémů je fakt, že zpracování informace o poloze je prováděno na první pohled v řádech převyšujících skutečnou potřebu. Avšak z pohledu plynulosti a reakce polohy je velmi důležité tuto přesnost zachovat. Aktuální servosystémy zpracovávají polohu motoru na hřídeli v rozlišení několika milionů pulzů. To vede k tomu, že vypočtená poloha posunutí v řízení jiskry je mnohonásobně přesnější. Stabilita obrábění je tímto zvýšena.¹³

Díky uvedeným vlastnostem je obsluha těchto strojů mnohem jednodušší. To, co dříve řešil operátor stroje, dnes přebírá stroj samotný. Příkladem může být firma FANUC, světoznámý a největší výrobce řídicích systémů, která vyrábí elektroerozivní řezačky od roku 1975, kdy dodala svůj první stroj. Vývoj a historii řezaček vidíme na obrázku 2.1.¹¹



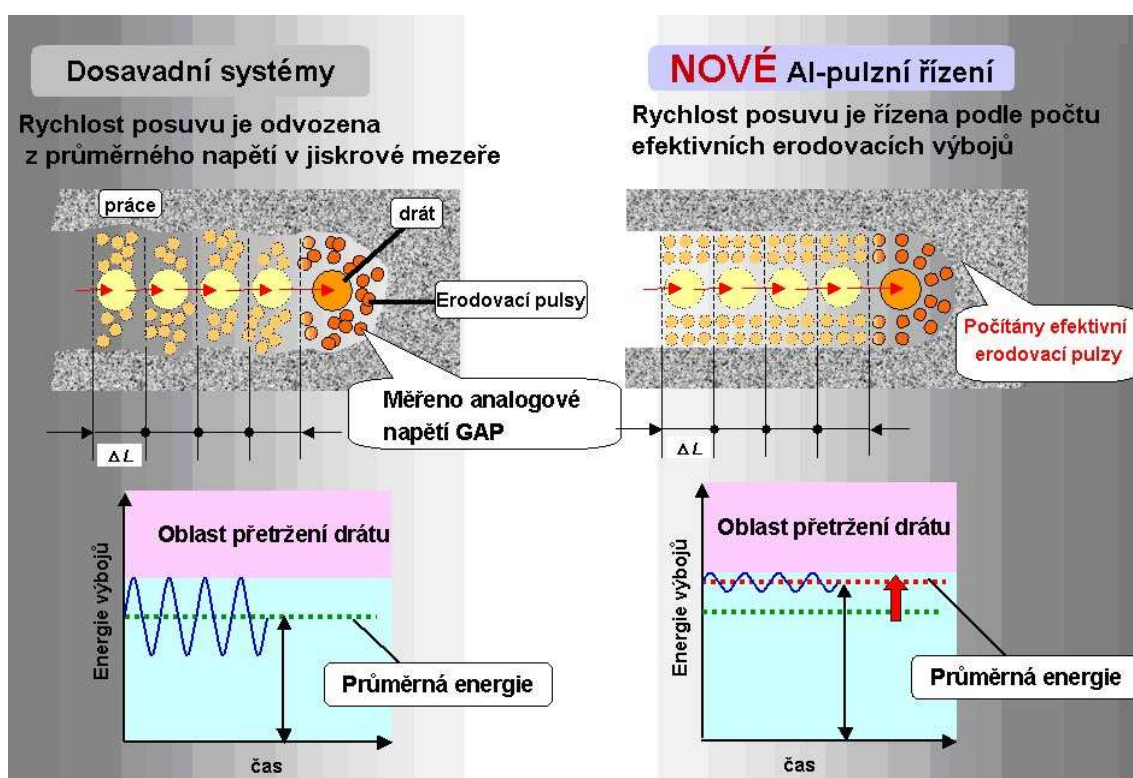
Obr. 2.1 Historie řezaček FANUC¹¹.

2.1 Generátor

Srovnáme-li práci generátoru, zde se situace vyvinula následovně. Díky podpoře řídicího systému, rychlým elektronickým součástkám na vyhodnocení jiskrové mezery se v dnešní době nevyhodnocuje řízení pulzu měřením efektivního napětí, ale měří se délka trvání každé jiskry, tyto doby se sčítají a z tohoto procesu se vyhodnocuje řízení jiskry. Tento údaj se zpracovává i pro řízení servosystému a tudíž reakční doba a velikost pohybu servosystému je přiměřená skutečnému stavu v jiskřišti, a tímto i proces řízení pohybu drátu je plynulejší.¹³

Velmi důležité je zde zmínit základní práci generátoru, zejména japonských výrobců. V poslední době se zásadně používá tzn. střídavý generátor. Jde o to, že pokud se přivede erodovací napětí mezi elektrodu (drát) a obrobek, dochází k nechtěnému přechodu iontů jedním směrem, což vede ke korozi erodovaného materiálu. Pokud však toto napětí stroj pravidelně střídá, tento efekt je potlačen a ke korozi neodchází. Navíc toto způsobuje i užší vyerodovanou pracovní mezeru, takže vlastně dochází k menšímu odběru materiálu, což zvyšuje životnost filtrů a deionizační pryskyřice. Zvláště je tento princip vhodný pro erodování tvrdokovových slitin, neboť jen v minimální míře dochází k odplavování pojiva, a tudíž se nesníží tvrdost materiálu na střižné hraně.

Jestliže se podíváme příčným řezem na materiál, pozorujeme 3 vrstvy. Horní vrstva je vyerodovaná a tvoří horní hranu materiálu, druhá vrstva je tvořená ztuhnutím již teplem roztaveného materiálu, třetí vrstva je tepelně netknutá. A právě tady mají střídavé generátory navrch oproti stejnosměrným. Zasažená vrstva je asi o 50% menší, což znamená delší životnost střižného nástroje.¹³

Obr. 2.2 AI-Kontrola pulzů¹³.

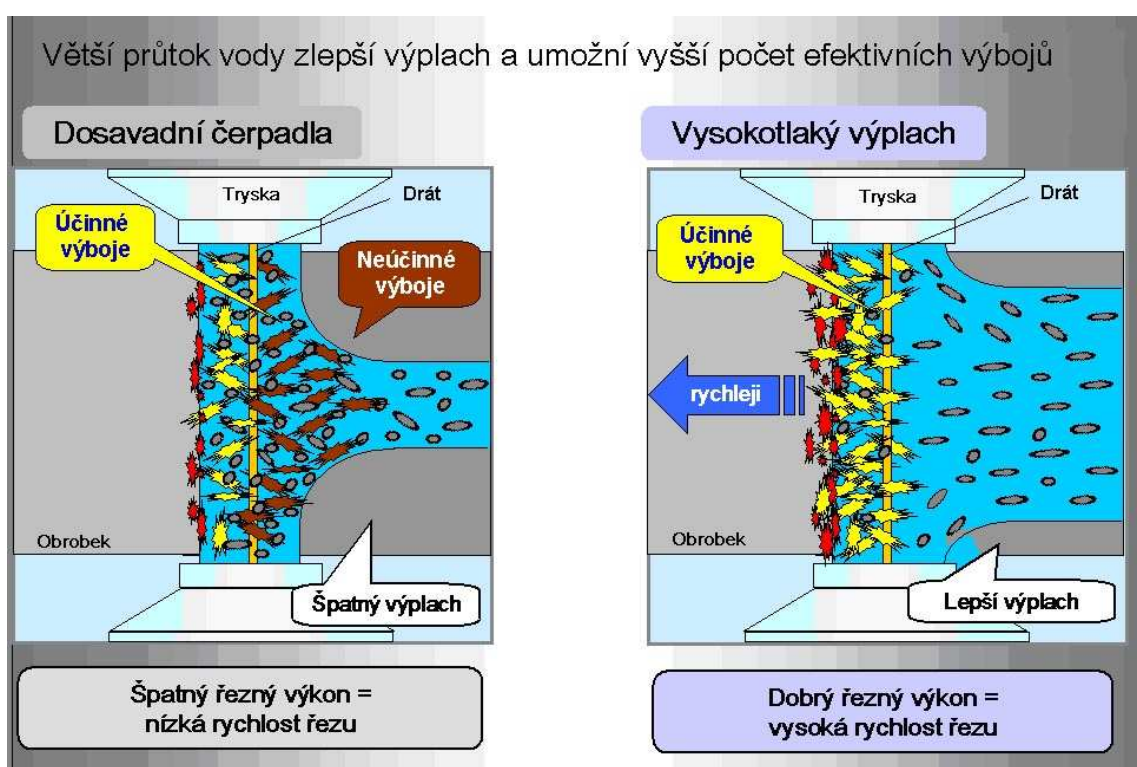
2.2 Povrch

Další zajímavé porovnání je maximální dosažený povrch současných řezacích strojů. V počáteční éře drátových řezaček se jednalo o skutečné „prskání“, které mělo pouze oddělit materiál. Teprve další generace strojů měly a za úkol po prvním oddělovacím řezu i zlepšit povrch vyerodované součásti. V současném stavu jsou stroje schopné mosazným drátem řezat povrch na oceli lepší než $0.1\mu\text{m Ra}$, a to již velmi efektivně při dodržení několika zásad.¹³

2.3 Výplach

Velmi zajímavým prvkem při sledování vývoje drátových řezaček je systém výplachu. V počátečních dobách byl zásadně výplach z konstrukčních důvodů řešen pomocí přídavných trysek. Následně přišel mnohem efektivnější koaxiální výplach, který vlastně stříkal vodu z horní a spodní trysky současně, ale hlavně přímo do jiskřiště. Tento způsob výplachu je používán dodnes. Avšak díky moderní mechanické konstrukci upínacích hlav s přispěním poznatků

z hydromechaniky je používáný tlak mnohem vyšší. Ale tady nastal problém, co s odstříkující vodou, která se odrážela od materiálu a měla negativní účinky na pracovní prostor stroje, který navíc bylo nutné nějak utěsnit. Toto se stalo značně limitujícím faktorem, proto téměř všichni výrobci přešli na vodní lázeň. Celý pracovní prostor je naplněn vodou a koaxiální výplach probíhá uvnitř této lázně. Při současné práci obou trysek je hladina již pouze zčeřená. Při těch nejjemnějších technologických operacích se pro dosažení co nejvyšší kvality povrchu úplně vypíná koaxiální výplach a erodování probíhá pouze ve vodní lázni. Tímto se úplně potlačí vliv vody na drát a zmizí i ty nejjemnější vibrace.¹³



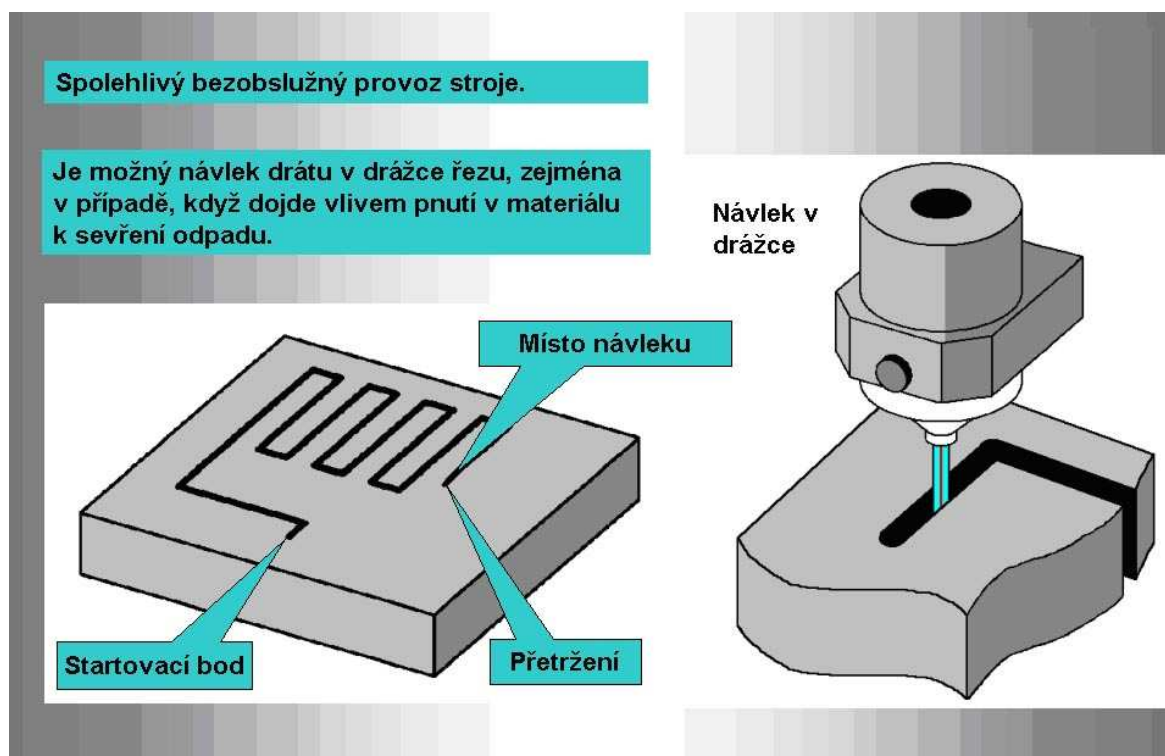
Obr. 2.3 Vysokotlaký výplach¹³.

2.4 Automatické navlékání drátu

Automatické navlékání drátu je také velmi zajímavá vlastnost moderních řezacích strojů. První stroje měly pouze ruční navlékání po celé dráze drátu. Pro obtížné navlečení zvláště do zadní částí stroje, kde se nacházejí odtahové systémy, byly vyvinuty některé navlékací způsoby, např. vodní tryska, řemeny apod. Následně bylo vyvinuto navlečení drátu skrze obrobek do hlavních vedení

drátu. Nejprve byla tato vodítka dělená, a při navlékání se otvírala. Poté byl systém natolik doladěn, že většina výrobců dnes používá kruhová vodítka s důmyslným systémem stříhu drátu, kterým se provede jeho příprava pro následné navlečení do kruhového otvoru, který má průměr jen o několik mikronů větší než průměr drátu. Dnešní moderní stroje používají systém elektronického stříhu proudovým impulzem a navlečení pomocí vodní trysky spolu s vytvořením podtlaku ve spodní trysce. Celý cyklus stříhu a navlečení dnes trvá do 10 sekund.

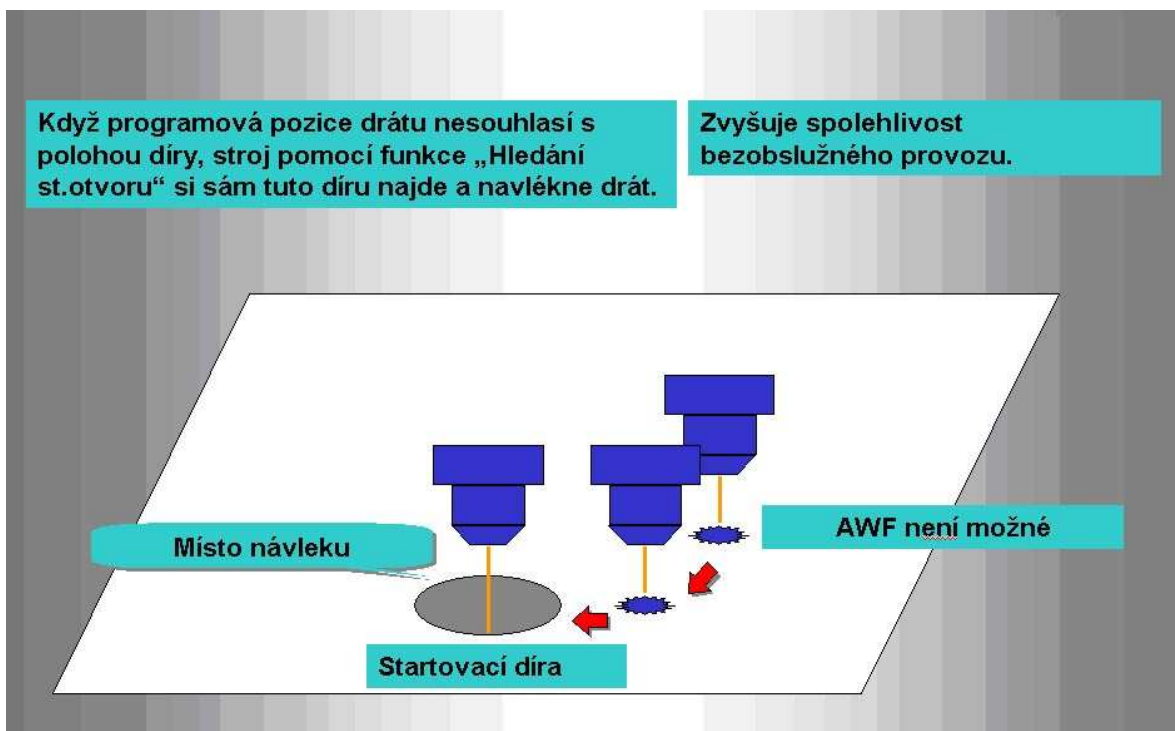
Samozřejmostí je oprava po přetržení drátu. Po přetržení drátu se poškozený drát musí odstranit. To se provádí kleštěmi nebo proudem vzduchu. Poté se připraví nový drát, jehož poškozená a opálená špička se musí poopravit a následně se spustí cyklus navlečení drátu. Moderní stroje umí navléknout drát přesně v místě přetržení drátu, kdy se pouze lehce posunou zpět ve vyřezané drážce. Starší systémy, nebo v případě, že navlečení v místě přetržení selže, provede stroj návrat do startovního bodu, kde začal řezat a v tomto místě provede navlečení.¹³



Obr. 2.4 Funkce návleku v drážce¹³.

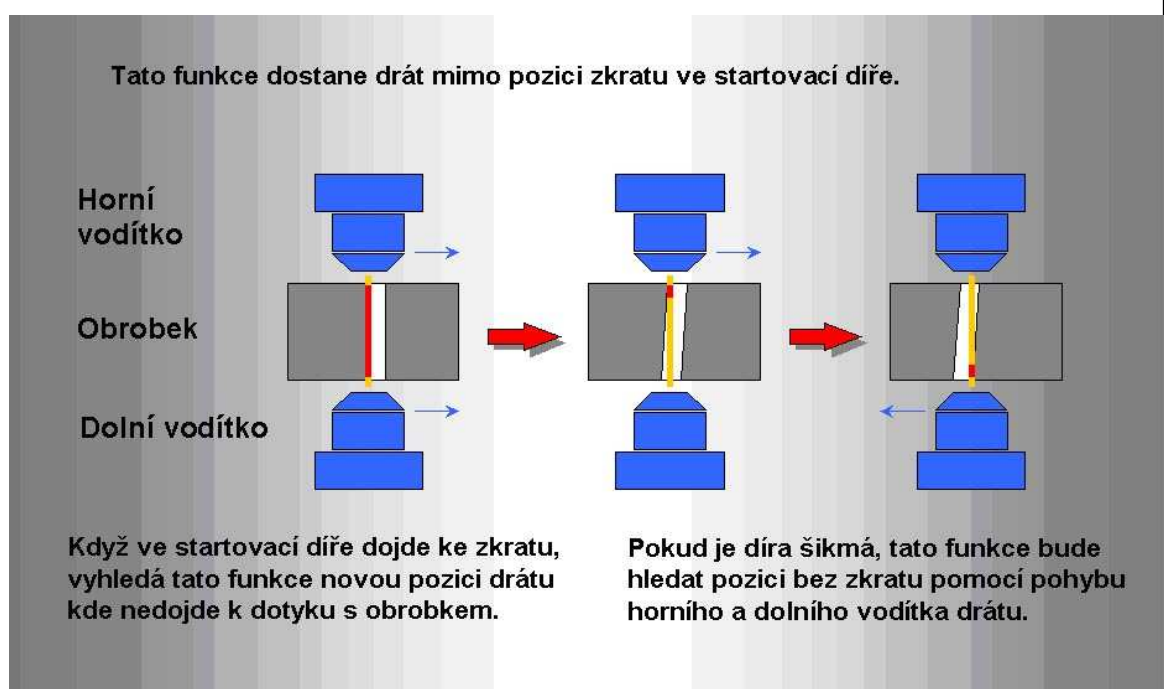
V systému navlékání drátu lze najít asi nejvíc rozdílů mezi jednotlivými výrobci. Díky množství patentů si každý výrobce musel vymyslet vlastní způsob

navlečení drátu. A vzhledem k velmi rozsáhlé problematice celého způsobu navlékání dnes můžeme na strojích vidět důmyslně propracované způsoby navlékání drátu a řešení nestandardních situací. Například, pokud stroj v místě startovního bodu drát nenačte, má se snad zastavit? Co takhle si startovní bod najít v určitém rozsahu.



Obr. 2.5 Funkce hledání startovací díry¹³.

Nebo po navlečení je drát ve zkratu. Navlékl se, otvor tedy je, ale uvnitř se nalézají patrně nějaké otřepy. Stroj se pokusí tedy nějakým způsobem - naklápěním, posouváním apod. vyjet ze zkratu a přežat se do původního startovního bodu.¹³

Obr. 2.6 Funkce odstranění zkratu ¹³.

Vše směřuje k jedinému - zajistit bezobslužný automatizovaný provoz a dát pravý význam spojení automatické navlékání drátu. ¹³

2.5 Přesnost

Elektroerozivní obrábění je založeno na principu oddělování materiálu po jeho lokálním zahřátí. Proto, že se používají různé materiály, složení apod. není tento proces vždy úplně stejný, ale existují zásadní rozdíly. Musí tedy existovat obsáhlá databáze pro řezání různých kombinací materiálů, dokonce i různých výšek. Vše se totiž mění a z tohoto důvodu je nutné mít zpracované a odzkoušené technologie, aby je operátor stroje mohl již jen vybrat a použít. I v tomto ohledu vývoj pokračoval a současné systémy takovouto databází disponují. K tomu se přidává zpravidla nějaký software, výběrový algoritmus, který na základě několika údajů vybere tu správnou řeznou technologii. Celkově lze říci, že elektroerozivní obrábění je kompromisem mezi přesností a rychlostí. Nicméně, oba tyto parametry se vývojem drátových řezaček posunují tím

správným směrem. V současné době tedy opakovatelná přesnost erodování dosahuje řádově opravdu jen několik mikronů.

V případě, že provádíte řez jedním řezem, vzniklý opal drátu způsobí nepřesnost ve vertikálním směru, která je v normálním případě opravena dalším objezdem. Pro zpřesnění právě tohoto řezu mají moderní stroje funkci, která naklápěním drátu ve vedení koriguje tuto nepřesnost v řádu několika desetin mm. Výsledkem je velmi přesné řezání zejména pro velké výšky obráběného materiálu.¹³

Zcela zásadním faktorem při řezání po kruhové dráze je zvlnění drátu vlivem proudu výplachu a energie jiskry. Největší působení těchto sil je na středu drátu mezi horním a spodním vodičkem drátu. Střed drátu je vlastně trochu vlečen za ideální drahou drátu. Proto všechny systémy řízení již několik let používají nějaký způsob, jak tento problém odstranit. Při řezání po přímce je situace téměř ideální, problém nastává v rozích a obloucích. Možné způsoby řešení a problémy jsou popsány dále.

V rohu je nutné trochu zpomalit posuv os a „počkat“ na střed drátu. Bohužel, v této chvíli horní a spodní části drátu mírně rozšiřují jiskrovou mezeru a vzniká zde další nepřesnost. Proto je nutné snížit energii jiskry. Míra úprav je dána úhlem napojení entit v rohu. Pokud se jedná o ostrý úhel, jsou tyto úpravy největší. Další možností kompenzace je změna trasy horního a spodního vodička, které vlastně lehce nadbíhají a výsledkem je mnohem rychlejší průjezd rohem bez nutnosti zpomalení. V praxi se jedná o velmi mnoho dílčích parametrů, které se v rohu upravují.

V oblouku je situace podobná jako v rohu. Potíž je v tom, že roh je velmi krátký úsek, který se přejede a dále se obnoví původní podmínky, takže časová ztráta je přijatelná. Naproti tomu oblouk je záležitost dlouhodobá, takže optimalizace ztráty v oblouku přináší nemalé časové úspory. Zde se naplno uplatňují moderní způsoby řízení jiskry, které přesným vyhodnocením situace poskytují velmi přesné údaje o stavu drátu v jiskřišti.¹³

3 VYUŽITÍ ELEKTROEROZIVNÍ TECHNOLOGIE V PODMÍNKÁCH MALÉ NÁSTROJÁRNY

3.1 Popis výroby v malé nástrojárně

Malá nástrojárna vyrábí menší střížné, ohýbací, tvářecí nástroje, jednoduché formy na plasty a jejich díly (např. tvarové vložky, vstřikovací trysky a podobně), dále různé jednoúčelové stoje např. pro výrobu stínících žaluzií (válcovací trať na plechové profily, automat na výrobu lamel žaluzií, pneumatické nebo ruční stroje na děrování plechových profilů), upínací a měřicí přípravky atd. Také vyrábí náhradní díly do těchto nástrojů (střížníky, střížnice, tvárníky a pod.). Svými výrobky obsluhuje okolní strojírenské firmy, z nichž podstatná část se zabývá výrobou dílů pro automobilový průmysl. Současná výroba nástrojů vyžaduje kvalitní zpracování speciálních nástrojových ocelí, aby se dosáhlo velké životnosti nástrojů při dostatečné kvalitě finálních výrobků. Požadovaná přesnost např. střížníků a střížnic je běžně 0,01 mm, střední aritmetická úchylka profilu menší než Ra 1. Výrobu takových dílů nejrůznějších tvarů a velikostí si v současné době nelze představit bez elektroerozivních obráběcích strojů, jako jsou drátové řezačky, hloubičky a vrtačky otvorů. Velkou výhodou např. drátových řezaček je jejich univerzálnost. Kromě řezacího drátu nepotřebují pro většinu prací žádné speciální nástroje jako např. frézy, vrtáky, výstružníky, a přitom se na nich dá vyrobit téměř všechno od kulatých děr přes tvarové střížníky až např. po ozubené kolo. Dostupnost těchto strojů na trhu, možnosti financování na úvěr nebo leasing způsobily, že si tyto stroje mohou dovolit nakoupit i malé firmy a nejsou tak odkázány na kooperaci s vlastníky těchto technologií. Taková kooperace není příliš výhodná, protože prodražuje a prodlužuje výrobu, a tím znevýhodňuje malé, ale pružné dodavatele proti velkým firmám.

3.2 Konkrétní údaje o firmě

Díky dlouholeté spolupráci s firmou Nástrojárna Ryšavý, Velké Němčice bylo možné zpracovat konkrétní údaje o firmě a posoudit důležitost využití elektroerozivního drátového řezání v podmínkách této malé nástrojárny. Je zde

zaměstnáno 13 dělníků, 1 mistr, 1 externí účetní a 1 majitel, který také jedná se zákazníky atd.

3.2.1 Strojní vybavení:

1 drátová řezačka MAKINO EU 64 (Obr. 3.1)

1 drátová řezačka MAKINO EE 6

1 mechanická hloubička KINGSPARK 432

1 elektroerozivní vrtačka otvorů SODIC E2

1 CNC soustruh ALPHA 1330

1 klasický soustruh SN 40

1 CNC frézka HAAS

2 klasické frézky FGV 32

1 klasická frézka FNA 25 (vyvrtávání)

1 bruska na kulato BK 25

2 brusky na plocho BPH 20

další běžné vybavení (sloupové vrtačky, pásová pila, pískovačka atd)

- Drátová řezačka MAKINO EU 64 (Obr. 3.1) byla zakoupena nová v roce 2002 za asi 5,5 mil Kč na úvěr s dobou splatnosti 5 let.

- Drátová řezačka MAKINO EE 6 byla zakoupena repasovaná v roce 2007 asi za 800 000 Kč spíše jako "pohotovostní stroj".

- Hloubička byla zakoupena nová v roce 2004 za asi 650 000 Kč s úvěrem na 2 roky.

- Vrtačka otvorů SODIC byla zakoupena starší v roce 2006 jako stroj pro občasné použití.



Obr. 3.1 MAKINO EU 64.

3.2.2 Strojní obsluha

Obsluhu elektroerozivních strojů tvoří 3 pracovníci. Jeden pracuje na hloubičce a vrtačce otvorů, druhý stabilně na stroji MAKINO EU 64, třetí na stroji MAKINO EE 6. Protože ovládá obsluhu všech čtyř strojů, v případě potřeby pracuje tam, kde je právě třeba.

3.2.3 Využití strojů a organizace práce

Vrtačka otvorů - několik hodin týdně podle potřeby

Hloubička - 8 až 12 hodin denně (část v automatickém režimu)

Řezačka MAKINO EU 64 - dlouhodobý průměr 17 hodin denně včetně sobot a nedělí - většinou v automatickém režimu

Řezačka MAKINO EE 6 - většinou 8 hodin denně, někdy až 24 hodin v automatickém režimu

Programy pro řezání vytváří sami pracovníci v době, kdy stroj pracuje. K tomu mají dispozici počítač s CAD - CAM systémem. Rovněž návrhy elektrod

a technologické postupy pro hloubení má na starosti sama obsluha, přičemž naprostou většinu elektrod vyrábí sama dílna bez nutnosti kooperace. Toto uspořádání je vhodné pro malou firmu s malým počtem strojů, protože k práci nepotřebuje technologa a programátora, ale obsluha strojů vyžaduje kvalitní pracovníky s poměrně vysokou kvalifikací.

S programováním drátových řezaček velmi úzce souvisí maximální využití možností práce v automatickém režimu, kdy stroj pracuje sám bez nutnosti přítomnosti obsluhy, to je v noci, v sobotu nebo v neděli. Vysoké využití stroje EU 64 je dáno tím, že v normální pracovní době se dělají drobné práce, které vyžadují neustálý dohled, a před koncem směny se nasadí jeden velký kus, který se pak řeže celou noc, nebo několik menších, které stroj dokáže obrábět sám bez nutnosti přítomnosti pracovníka. K tomu však musí mít vhodný program, který určuje např. přejezdy mezi obrobky a dokáže pokračovat v práci i v případě, že se nezdařilo obrábění jednoho kusu.

3.2.4 Náklady na provoz elektroerozivních strojů

1. Hloubička:

El. energie: průměrný příkon 3 kW, cena za 1 h = 3 kWh x 7 Kč = 21 Kč/1 h

Dielektrikum: cca 100 l/1 rok v ceně 3 600 Kč = 3 600 Kč / 2 400 h = 1,50 Kč/1h

Filtry dielektrika: 2 Ks v ceně 2 300 Kč, životnost 300 h = 2 300 / 300 = 7,70 Kč /1h

Údržba, servis : asi 10 000 Kč/rok = 10 000 / 2 400 = 4,2 Kč/1 h

Mzda pracovníka včetně pojištění atd., 220 Kč/1 h

Režijní náklady : 100 Kč/1 h

Splátky úvěru (pokud není splacen) : 27 000 / 1 měsíc = 27 000 / 180 = 150 Kč/1 h

Celkové náklady v době splácení úvěru - 504,40 Kč/1 h

Celkové náklady po splacení úvěru - 354,40 Kč/1 hodinu

Cena účtovaná zákazníkovi - 560 Kč/1 h + cena speciálních elektrod

Cena při zadání do kooperace obvyklá v brněnských firmách, pokud je objednáno jen hloubení: 850 - 1200 Kč/1 h a termín "až bude volný stroj".

2. Drátová řezačka:

El.energie: prům. příkon 5 kW, cena za 1 h = $5 \text{ kWh} \times 7 \text{ Kč} = 35 \text{ Kč/1 h}$

Destil. voda: cca 200 l/1měsíc v ceně 900 Kč = $900 \text{ Kč}/120 \text{ h} = 7,50 \text{ Kč/1 h}$

Filtry dielektrika: 2 Ks v ceně 3 200 Kč, životnost 300 h = $3\,200/300 = 10,70 \text{ Kč/1 h}$

Řezací drát :cívka 7 kg vydrží 50 h, cena asi 1400 Kč = $1400 / 50 = 28 \text{ Kč/1 h}$

Údržba, servis : asi 20 000 Kč/rok = $20\,000/5500 \text{ h} = 3,6 \text{ Kč/1 h}$

Mzda pracovníka včetně pojištění atd., 250 Kč/1 h

Režijní náklady : 100 Kč/1 h

Splátky úvěru (pokud není splacen) : $90\,000 \text{ Kč}/1 \text{ měsíc} = 90\,000/500 = 180 \text{ Kč/1h}$

Celkové náklady v době splácení úvěru: 614,80 Kč/1 h

Celkové náklady po splacení úvěru: 434,80 Kč/1 h

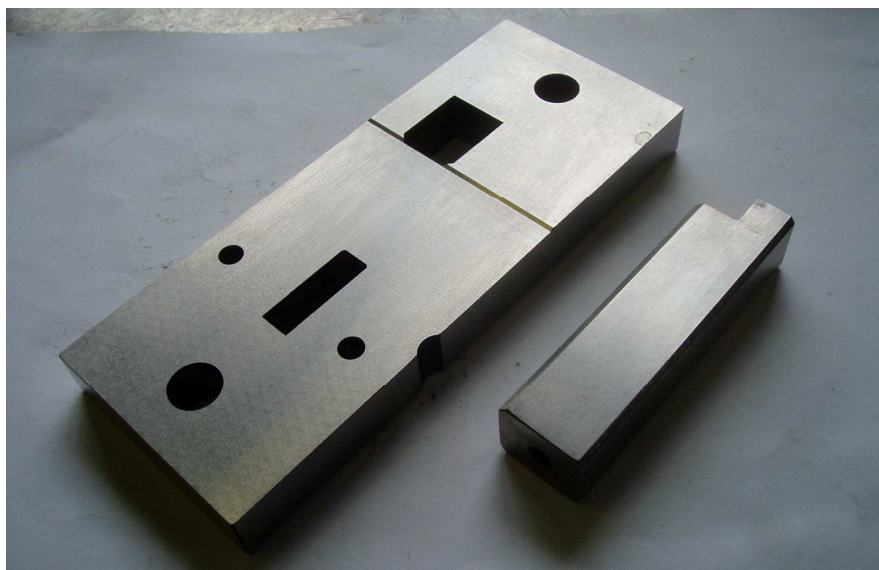
Cena účtovaná zákazníkovi EU 64: 660 Kč/1 h + cena spec.programů nebo drátu

Cena účtovaná zákazníkovi EE 6: 500 Kč /1 h (stroj má asi o 25% nižší výkon)

Cena při zadání do kooperace obvyklá v brněnských firmách, pokud je objednáno jen řezání : 850 - 1000 Kč /1 h termín stejný jako pro hloubení.

3.2.5 Příklad výpočtu ceny a času potřebného pro výrobu jednoduchých součástí nástroje

1. Střižník (Obr. 3.2) 15x20 mm, dolní úchylka je - 0,01 a horní úchylka je 0, h = 60 mm, na rozích radius R = 1, s upínacím závitem M8-6H, vyrobeno z oceli jakosti dle ČSN 41 9830, kaleno na 62 HRC.



Obr. 3.2 Střížník a střížnice.

Tab. 3.1 Shrnutí nákladů na výrobu střížníku (frézováním a broušením)

Klasický způsob frézováním a broušením:		
Operace	Náklady	Dodání [dny]
Materiál + řezání +doprava	60 Kč	2
Frézování	0,5 hx350 Kč/h = 175 Kč	
Vrtání + řezání závitu	10 minx350 Kč/h = 58 Kč	
Kalení v externí kalírně + doprava	80 Kč	2 - 5
Broušení BPH	2 hx400 Kč/h = 800 Kč	
	Celková cena 1173 Kč	4 – 8

Tab. 3.2 Shrnutí nákladů na výrobu střížníku (na drátové řezačce ze zvlášť vyrobeného polotovaru)

Výroba na drátové řezačce ze zvlášť vyrobeného polotovaru průměr 30 mm:		
Operace	Náklady	Dodání [dny]
Materiál + řezání +doprava	60 Kč	2
Soustruž. čel na délku, vrtání, řezání závitu	20 minx350 Kč/h = 117 Kč	
Kalení v externí kalírně + doprava	80 Kč	2 - 5
Řezání na drátové řezačce EU 64	1,5 hodx660 Kč/h = 990 Kč	
Zabroušení můstku po řezání	10 minx350 Kč/h = 58 Kč	
	Celková cena 1305 Kč	4 – 8

Tab. 3.3 Shrnutí nákladů na výrobu střížníku (na drátové řezačce ze zásobního polotovaru)

Výroba na drátové řezačce ze zásobního polotovaru příslušné jakosti a výšky, zakaleného a s vyřezanými závity :		
Operace	Náklady	Dodání [dny]
Materiál (část polotovaru)	80 Kč	dodání ihned
Řezání na drátové řezačce EU 64	1,5 hx660 Kč/h = 990 Kč	
Zabroušení můstku po řezání	10 minx350 Kč/h = 58 Kč	
	Celková cena 1128 Kč	2 - 3 hodiny

Tab. 3.4 Shrnutí nákladů na výrobu střížníku (vyhloubení závitu do polotovaru střížníku)

V případě, že není k dispozici polotovar se závitem, lze jej vyrobit hloubením:		
Operace	Náklady	Dodání [dny]
Hloubení díry pro závit \varnothing 6.4 do hloubky 16 mm	1 hx560 Kč = 560 Kč	1 hodina
Hloubení závitu M8 hl. 15 mm = 1 h	1 hx560 Kč = 560 Kč	1 hodina
	Celková cena 2248 Kč	1

2. Střížnice (Obr. 3.2) ,horní úchylka +0,01 a dolní úchylka je 0, rozměr 80x80 mm, h = 20 mm, se čtyřmi kolíkovými otvory \varnothing 6H7 a čtyřmi otvory pro šrouby \varnothing 6,5mm, vyrobeno z oceli jakosti dle ČSN 41 9573, kaleno na 62 HRC.

Tab. 3.5 Shrnutí nákladů na výrobu střížnice (frézováním a broušením)

Klasický způsob frézováním a broušením, střížnice dělená na 2 kusy :		
Operace	Náklady	Dodání [dny]
Materiál + řezání +doprava	100 Kč	2
Frézování	2,5 hx350 Kč/h = 875 Kč	
Vrtání + vystružení otvorů	1 hx350 Kč/h = 350 Kč	
Kalení v externí kalírně + doprava	100 Kč	2 - 5
Broušení BPH	: 5 hx400 Kč/h = 2000 Kč	
	Celková cena 3425 Kč	5 - 9

Tab. 3.6 Shrnutí nákladů na výrobu střížnice (na drátové řezačce ze zvlášť vyrobeného polotovaru)

Výroba na drátové řezačce ze zvlášť vyrobeného polotovaru 80x80x20 :		
Operace	Náklady	Dodání [dny]
Materiál + řezání +doprava	80 Kč	2
Frézování obvodu, vrtání	1,5 hx350 Kč/h = 475 Kč	
Řezání na drátové řezačce EU 64	2,5 hx660 Kč/h = 1650 Kč	
Kalení v externí kalírně + doprava	80 Kč	2 - 5
Broušení tl. 20 mm	0,5 hx400 Kč/h = 200 Kč	
Opískování, sražení hran	15 minx350 Kč/h = 88 Kč	
	Celková cena 2573 Kč	4 - 8

Tab. 3.7 Shrnutí nákladů na výrobu střížnice (na drátové řezačce ze zásobního polotovaru)

Výroba na drátové řezačce ze zásobního polotovaru (deska tl. 20 mm), zakaleného, bez otvorů :		
Operace	Náklady	Dodání [dny]
Materiál (část polotovaru)	120 Kč	ihned
Propálení startovacích děr Ø1,5 mm	1,5 hx350 = 475 Kč	
Řezání na drátové řezačce EU 64	6 hx660 Kč/h = 3960 Kč	
Opískování, sražení hran	15 minx350 Kč/h = 88 Kč	
	Celková cena 4643 Kč	1

3.2.6 Závěr a zhodnocení

Z uvedených příkladů vyplývá, že není příliš výhodné řezat na drátové řezačce jednoduché střížníky, zvlášť pokud se vyrábí víc stejných kusů najednou. Výhody vyniknou při výrobě složitějších tvarů a hlavně v případě, kdy je potřeba vyrobit co nejdříve náhradu za poškozený díl (střížník, střížnici) a kdy nezáleží ani tak ceně jako na rychlosti a kvalitě dodávky.

4 TRENDY DALŠÍHO VÝVOJE ELEKTROEROZIVNÍ TECHNOLOGIE A JEJÍHO VYUŽITÍ V PODMÍNKÁCH MALÉ NÁSTROJÁRNY

Základním požadavkem každé nástrojárny je zvýšit produkci, přesnost výroby a snížit náklady. Toto vede k navýšení zisku celé firmy. A existuje několik cest, jak toho dosáhnout.

4.1 Zjednodušení obsluhy

Jednou z největších položek nákladů jsou lidské zdroje, které jsou spojené se školením nutným pro provoz konkrétního stroje. Pokud obsluha pracuje s moderním strojem, předpokládá to několik základních požadavků. Komunikace v rodném jazyce. Tento požadavek je zcela zásadní pro obsluhu.

I v případě, že obsluha dostane jen minimální školení, orientaci v řídicím systému zvládne, pokud bude rozumět příkazům a popisům na obrazovce. Zvláště pak při řešení nestandardních situací a porozumění chybových hlášení je srozumitelnost nutností.¹²

1. On-line nápověda. Dnešní stroje disponují velikou pamětí pro vizualizaci (HMI), často s možností rozšiřování. Mnoho výrobců toho využilo a zařadilo do řídicího systému stroje nějakou formu nápovědy, která je k dispozici obsluze přímo při zadávání údajů, při čtení chybových zpráv a pod. Často tato nápověda nabízí i možnost on-line objednání náhradních dílů a spotřebního materiálu, nebo alespoň sestavení objednávky a zaslání na e-mailovou adresu.
2. Zázemí dodavatele. V případě jakéhokoliv nestandardního požadavku, neznámého chybového hlášení apod. je potřeba se dovolat odborné pomoci u servisní organizace.

4.2 Dohledové systémy

Moderní doba s sebou nese i moderní způsoby komunikace. V případě komunikace se strojem jde o velké barevné displeje nesoucí množství informací. Nicméně, toto je stále komunikace mezi operátorem a strojem v místě práce

zařízení. Pokud využijeme dnešní komunikační schopnosti, jsou stroje schopny nabídnout mnohem více. Díky bohaté diagnostice a propojení stroje na síť LAN a Internet, je možné, aby zařízení zasílalo své požadavky a chybové stavy přímo do servisního centra dodavatele. Takto se servisní organizace dozví o problému již mnohem dříve než operátor a dokáže reagovat i bez aktivní pomoci obsluhy stroje. V součinnosti s touto funkcí lze nabídnout i zpětný tok informací, což znamená, že se servisní organizace po obdržení požadavku připojí na stroj zvenčí, zjistí její vnitřní stavy a patřičně reaguje (vydá pokyn pracovníkovi, provede nastavení apod.). Dálkové diagnostiky se hlavně využívá při řešení servisních požadavků systémového charakteru. Vzhledem k tomu, že tento způsob komunikace zrychlí a hlavně zlevní náklady na servisní činnost, je využíván současnými servisními organizacemi. A díky tomu je odstraněna nákladová položka cestovních nákladů pro servisní techniky, čímž se zlevňuje servisní náklad na provoz stroje a celého zařízení.¹²

Takovýto způsob komunikace lze využít i ze strany operátora, či vedoucího pracovníka, který je mimo firmu. Stroj může zasílat své stavy na mobilní zařízení (mobilní telefon, PDA, notebook) pomocí SMS nebo je umisťovat na Internet pomocí některé komunikační služby, např. FTP. Tímto lze data dostat ven mimo prostředí firmy a kterýkoli autorizovaný operátor se může podívat na webové stránky a zjistit skutečný stav stroje. Rovněž pracovník může shlédnout stav obrazovky stroje, včetně historie provozu, aktuální chyby apod.

4.3 Automatizace - budoucnost

Velkou část nákladů spojenou s provozem strojů a zařízení nesou lidské zdroje. Navíc je s tím spojeno mnoho dalších činností jako organizace práce, organizace nočních provozů, dovolených, nemocí atp. Toto lze eliminovat automatizací a bezobslužným provozem jak vidíme na Obr. 4.1. Při pohledu na výrobní halu japonského výrobce servosystémů, firmy FANUC, zjistíte, že v celé hale jsou asi jen 2 systémoví inženýři, kteří se starají o provoz robotů. Navíc vás na první pohled překvapí, že roboti nepracují nijak úchvatně rychle. Jsou prostě optimalizováni na trvalý provoz a naladění na nejpomalejší stroj v řetězci. Ale jejich nespornou výhodou je, že pracují stále.¹¹



Obr. 4.1 Továrna FANUC electronic¹¹.

A toto je jistě cesta, jak eliminovat náklady lidských zdrojů. Je jasné, že to nelze udělat v každé nástrojárně, ale i nastavení stroje na noční bezobslužný provoz, využití výměníku nástrojů, výměníku palet je již počátek automatizace, na které lze stavět další kroky. A v tomto leží rozvoj soukromých nástrojáren. V této chvíli podobné systémy bezobslužného provozu pracují v mnoha velkých firmách, ale lze je použít i v malé nástrojárně. Samozřejmě, že problémem je zde velká počáteční investice do automatizovaného provozu, označování elektrod, palet (čipování), řídicí software atp. Avšak pomalými krůčky se lze dostat na vysokou úroveň automatizace.

4.4 Technická úroveň strojů

Postupným a nezadržitelným vývojem v celosvětovém měřítku a využití nejnovějších technologií si asi lze představit následující vývoj v oblasti elektroerozivních strojů. Jasným trendem je přesnější výroba za kratší čas a zvýšení přesnosti obrábění. Podívejme se detailněji, jak toho lze dosáhnout.

4.4.1 Generátor

Základním stavebním prvkem elektroerozivního stroje je určitě generátor. Využitím moderních výkonových spínacích prvků se rychlost taktu generátorových stupňů neustále zvyšuje a jistě bude dál zvyšovat. Trochu paradoxně se ale velikost odděleného zrna v jedné hořící jiskře zmenšuje, nicméně častější spínání obvodů generátoru způsobí ve výsledku mnohem rychlejší erodování a navíc použití jemnější jiskry znamená automaticky i jemnější povrch. Dříve se pro výkonové spínání používalo mnoho transistorů se stejným výkonem. Problémem bylo to, že každý z těchto transistorů spínal trochu jinak, v jiném časovém sledu. To ve výsledku způsobilo mnoho rušení a výsledný tvar pulzu byl velmi vzdálen od optimálního průběhu. Dnes tuto funkci přebírá méně výkonových prvků, které navíc dosahují rychlejších spínacích časů. Toto principiálně vede ke zrychlení a zpřesnění času hoření jiskry. A tento trend bude jistě dále pokračovat.

4.4.2 Sledování stavu jiskry a jiskrové mezery

Důležité je ale i sledování stavu jiskry a jiskrové mezery. Oproti staršímu řízení, kdy se vyhodnocovalo pouze efektivní napětí v jiskrové mezeře, se dnes využitím nejmodernějších metod řízení jiskry přistupuje ke každé jiskře zvlášť. Navíc se vyhodnocuje nejen délka trvání jiskry, ale i její průběh, který se dokonce u moderních strojů tvaruje do požadované křivky. Toto všechno dnes přebírá moderní elektronika vestavěná do zákaznických čipů miniaturní velikosti. Předpokládejme další využití zákaznických obvodů, takže lze aplikovat mnohem více logiky a mnohem více strojového času použít pro další optimalizování průběhu jiskry. I objemová velikost generátoru se výrazně snížila. Jediným problémem, i přes zlepšení celkové efektivity zařízení, zůstává energetická hustota, kterou je nutné ochladit. Některé moderní generátory jsou již dnes vybaveny chlazením průtokem erodovací kapaliny.

Následkem popsaných změn budou generátory schopny erodovat mnohem rychleji, budou moci lépe využít svých vlastností k efektivnímu řízení jiskry, které povede k méně častému trhání drátu. Dá se předpokládat i využití menších

průměrů drátů, které dále způsobí zlevnění procesu obrábění. Tento trend je již možné sledovat už dnes, kdy do určité výšky materiálu lze velmi efektivní a téměř bez omezení rychlosti použít mnohem tenčí drát, např. z běžného drátu 0,25mm použít drát 0,15mm. Užší pracovní mezera déle sníží vyerodovaný odpad a prodlouží životnost filtrů a deionizační pryskyřice.

4.4.3 Kvalita povrchu

Další cílový parametr je střední aritmetická úchylnka profilu. Ta souvisí i s mnoha dalšími faktory kromě vlastního generátoru, avšak bez tvorby stabilní a jemné jiskry si výsledek představit nelze. Dokončovací strategie generátoru je trochu jiná, než strategie hrubování. Při dokončování se používají několikanásobně vyšší frekvence jisker než při běžném hrubování. I tento trend bude asi nadále pokračovat, i když zde jsou zásadní limity, které budou bránit dalšímu rozvoji. Jedním z těchto limitů je dopravení takového signálu po drátech, a tedy vzdálenost generátoru od drátu. Elektrické vlastnosti kabelů neumožňují přenést tento signál bez omezení na dlouhou vzdálenost, proto se speciální dokončovací generátory budou stále více posouvat do erodovacího prostoru, což opět naznačuje i dosavadní vývoj u mnoha výrobců.

Jenže drsnost povrchu není jen o rychlosti spínání generátoru, ale o celkové stabilitě v jiskřišti a každé zadrnutí drátu udělá stopu na materiálu. Takového zadrnutí může způsobovat mnoho vlivů. Jeden z těchto vlivů je okolní prostředí a pracovní prostor stroje. Pokud se v blízkosti nachází nějaký zdroj vibrací (mechanický lis, kolejová trať apod.), mikronové vibrace se přenášejí do pozice drátu a vznikají stopy na erodovaném materiálu. Druhotně ovšem mohou způsobit chvění celé mechaniky, která musí být tímto způsobem lépe připravena na tlumení vibrací. Další přímý vliv na drsnost povrchu jsou vibrace způsobené vlastním provozem stroje. Jde o různé ventily a šoupátka, které v dorazových polohách způsobují vibrace, nebo pumpy, které také při rotaci značně vibrují. Moderní stroje například nepoužívají pro řízení výšky hladiny vůbec žádné ventily - zejména kvůli vibracím.

V neposlední řadě se vibrace mohou projevit vlastním řízením dráhy drátu, tzn. servosystémem. Servosystém a jeho celkové vlastnosti se neustále vyvíjejí

a zde je nutné klást opravdový důraz na stabilitu práce, přesnost chodu motorů, teplotní stabilitu a jemnost chodu. Odměřovací encodery a motory dnes již nepracují s přesností mikronu, ale s přesností nanometrů, které se sice vlivem mechanického přenosu nemohou dostat až do prostoru drátu, ale zejména jde právě o jemnost chodu a jemné přenášení točivého pole motorů.

Nakonec jde o vlastní vibrace drátu tvořené jeho odvíjením, napínáním a vedením. Vše musí být nastaveno velmi jemně a všechna kluzná i kuličková vedení musí pracovat hladce. Dříve používané třecí a magnetické brzdy dnes již výrobci nahrazují přesnými servomotory s jemným chodem.

4.4.4 Software

Dalším zásadním prvkem, který ovlivňuje nasazení, strojů je moderní software. Již dnes toho umí elektroerozivní stroje mnohem více, než dokáže běžný uživatel obvykle využít. Ale i zde jsou rezervy, které budou jistě brzy zaplněny. Především příprava výroby je stále o velké zkušenosti technologa. Proč na tuto činnost nevyužít specializovaný software elektroerozivních strojů? Se znalostmi vlastních technologických dat by návrh řezaných tvarů mohl sám vytáhnout např.z CAD-modelu výsledného tvaru apod. Tuto cestu již dnes naznačuje mnoho dodavatelů.

Přesto, že by si stroj mohl pomoci sám, se bude pravděpodobně uplatňovat klasické programování pomocí CAD/CAM systému na stolním PC. Vybavení každé nástrojárny, která vlastní elektroerozivní drátovou řezačku, je kvalitní programovací systém nutností. Bez takového CAM systému si programování dnes již nejde vůbec představit.

4.4.5 Mechanická konstrukce

I mechanická konstrukce elektroerozivních strojů je pod dohledem vývojových pracovníků a musí sledovat požadavky zákazníků. Tuhost konstrukce je jeden z mnoha důležitých faktorů, které mají vliv na celkovou přesnost stroje a opakovatelnost výroby. Elektroerozivní stroje nepracují s mechanickým namáháním během obrábění jako konvenční stroje pro třískové obrábění a mají

kromě os XY a osy Z ještě navíc další osy a vedení pro horní hlavu, která je upevněna nezávisle z důvodu řezání úhlových řezů. Mezi těmito dvěma vedeními je napínán drát do tahu až 30N. Vedení musí být velmi přesné, určené pro velmi pomalé posuvy, též kuličkové šrouby musí být té nejvyšší kvality. Malá tuhost způsobí drobné vibrace, které se přenášejí do drátu a na povrch obráběné součásti. Nejnovějším trendem je např. úplné krytování kuličkových šroubů v tukových náplních, automatické mazací systémy pro lineární vedení apod.

Dalším trendem, který je znám a uplatňuje se při vývoji již několik let, je poměr zastavěné plochy k rozměrům obráběné součásti. Obvykle se stroj sestává z několika částí - pracovního prostoru, generátoru a příslušenství pro údržbu vody – filtrování, deionizace, chlazení. Při návrhu zastavěného prostoru je nutno brát v úvahu cenu za plošný metr a snahou ušetřit. Jako jedna z prvních firem, která tento trend před mnoha lety započala, byla firma HITACHI. Dodávala totiž stroje do Singapuru, kde je požadavek na minimální zastavěný prostor dáván na přední příčky priorit. Firma dokázala umístit vodní hospodářství pod elektroniku generátoru, čímž ušetřila velké množství pracovního prostoru okolo stroje. V dnešní době se kladou jiné priority a velikost zastavěného prostoru není v popředí, nicméně snahou všech výrobců je využít a ušetřit opravdu každý plošný metr, aby jej nemusel zákazník zbytečně platit.

S mechanickou konstrukcí souvisí i jedna velmi důležitá vlastnost, a tou je bezpečnost stroje. Elektroerozivní stroje před 15lety vypadaly skutečně úplně jinak. Byly to otevřené konstrukce téměř bez krytování s plným přístupem obsluhy k pracovnímu prostoru. Díky aktivitě bezpečnostních orgánů dostaly stroje kryt hned z několika důvodů. Jedním důvodem je ochrana proti nebezpečnému dotyku, takže pracovní prostor drátu je úplně zakryt. Druhým důvodem je elektromagnetická kompatibilita a ochrana proti rušení. A právě rušení vznikající při erodování je potlačováno krytovaním, nasazováním mřížek apod.

Speciální měřicí metody pomohou zjistit, zda krytování je dostatečné zejména v pozici operátora stroje. Porovnáním rušení při otevření a zavření krytů dává jasně najevo, že toto krytování je zpravidla velmi účinné a pro obsluhu mnohem bezpečnější.

5 POROVNÁNÍ A ÚROVEŇ VŮDČÍCH SVĚTOVÝCH VÝROBCŮ ELEKTROEROZIVNÍCH STROJŮ

Budeme-li porovnávat současnou situaci na trhu elektroerozivních strojů, můžeme vybírat z několika významných značek. Tyto lze rozdělit do několika skupin a lze porovnávat i podle mnoha faktorů. Dále je potřeba připomenout, že každý výrobce má i několik řad a typů, které pak tvoří ucelenou nabídku a to i z pohledu kvality, ceny a servisní podpory.

V rodině elektroerozivních drátových řezaček najdeme ve světě mnoho výrobců, kteří použili znalosti při stavbě generátoru pulzů pro elektroerozivní hloubičku a pouze užili své know-how pro vývoj drátové řezačky. Toto je dobrý základ, ale pro špičkový stroj je potřeba úplně jiný pohled. Drátová řezačka je stroj velké složitosti a velkou část zabírá mechanika, přesné vedení drátu, zajištění zatopení vodní vanou a použití správné technologie izolace apod. Proto je mnoho výrobců zejména z Tchajwanu, kteří vyrábění drátové řezačky, ale ve světovém významu jsou téměř zanedbatelnými hráči.

5.1 Kvalita

Nejprve rozdělme výrobce podle kvality. Vůdčí skupinou jsou výrobci, kteří dosahují špičkových parametrů a kteří mají výrobu drátových řezaček postavenou na vysokou prioritu. Předně je potřeba říci, že každý stroj určitým způsobem vyniká v něčem jiném, byť v drobném parametru. Při porovnání výkonů třeba dosažitelných středních aritmetických úchylek profilu, rychlosti řezání, nebo jiné výjimečné vlastnosti jsou tyto stroje právem na trhu, neboť v určité vlastnosti nemají konkurenci.

Další skupinou jsou výrobci, kteří vyrábějí tzv. standardní stroje. To jsou stroje, které příliš nevynikají v žádném směru, ale dokážou řezat spolehlivě, s přiměřenými vlastnostmi a splní tedy většinu požadavků na výrobu. Jako poslední skupina tohoto členění jsou stroje, které mají své místo na trhu hlavně z důvodu ceny, nikoliv však kvality a jejich výkony zaostávají za výkony předních světových výrobců.

5.2 Země původu

Další členění lze porovnat z pohledu země původu. Velké procento výrobců drátových řezaček pochází z Japonska. Technická kvalita je na velmi vysoké úrovni a mnoho vlastností mají společných. Další výrobci jsou ze Švýcarska, Španělska i Velké Británie. Mezi výrobci nižší kvality nalezneme stroje z Tchajvanu, které však vysokým poměrem cena/výkon poráží konkurenci zejména ve strojích s velkými pojezdy nad 1000mm. Tyto stroje však činí cca 5% z celkového objemu prodaných strojů.

5.3 Jednotlivé značky výrobců

5.3.1 FANUC

Fanuc je firma, která sídlí v Japonsku u hory Fuji, asi 150km jižně od Tokia a jejím hlavním výrobním artiklem je výroba řídicích systémů a pohonů, a to již od roku 1956. Divize výroby drátových elektroerozivních strojů byla založena v roce 1975, kdy byla postavena první drátová řezačka. Postupným vývojem, dosahovanou kvalitou a podporou se firma FANUC dostala na přední příčky současného obratu prodeje drátových řezaček ve světě. Firma FANUC patří jednoznačně k těm výrobcům, kteří dělají ne příliš širokou škálu modelů, ale vyrábějí jen několik nejběžnějších modelů, ale ve velkém obratu (současně asi 100ks/měsíčně). Hlavní výhodou tohoto výrobce je, že mají vlastní řídicí systém a tedy nemusí kupovat řídicí systém od dalšího výrobce. Na rozdíl od ostatních japonských výrobců, kteří z různých důvodů přesunuli výrobu na jiné místo, se stroje FANUC vyráběly a dodnes vyrábějí pouze v Japonsku, kde firma postavila linku pro výrobu těchto strojů. Díky tomuto opatření je možné udržet kvantitu výroby, avšak s maximální opakovatelností a udržením kvality. Technická úroveň strojů FANUC je na špičkové úrovni a v mnoha ohledech udává směr. Zejména vysoká spolehlivost řídicích systémů je úctyhodná, neboť vše je vyráběno roboty a výroba je zajištěna v té nejvyšší kvalitě a kategorii bezobslužného provozu. Při

návštěvě firmy FANUC se vám naskytne možnost shlédnout jednotlivé výrobní haly od výroby a montáže motorů, řídicích systémů až po drátové řezačky.

Neméně významným prvkem při prosazování těchto strojů do výroby je znalost a ověřená kvalita řídicích systémů po celém světě. I systém samotný, i když je úzce svázán s funkcemi drátové řezačky, nevybočuje svým ovládním od standardního ovládní jádra systému. Díky tomu servisní zásah na řídicím systému může provádět školený pracovník firmy FANUC na dané řídicí systémy bez většího omezení.

Výhodou této značky v České republice je mnohaletá a stabilní spolupráce s jedním dodavatelem, což zajišťuje dlouhodobou spolupráci i v oblasti servisu starších strojů, o které je také postaráno. Proto se noví zákazníci nemusí bát toho, že se ocitnou mimo podporu výrobce.¹¹



Obr. 5.1 Továrna FANUC electronic¹¹.

5.3.2 MAKINO

Firma MAKINO je japonský výrobce strojů, který sídlí asi 60km jižně od Tokia v městečku Hon-Atsugi v prefektuře Kanagawa. Divize elektroerozivních strojů se začala vyvíjet v roce 1970 představením elektroerozivní hloubičky. Firma MAKINO představuje výrobce s velmi vysokou kvalitou strojů, má velmi velký sortiment a mnoho speciálních strojů. Dá se říci, že firma MAKINO se zvláště orientuje na okrajové zákazníky a aplikace. Toto potvrdila i tím, že výroba „standardních“ strojů byla kolem roku 2000 přesunuta do Singapur. S tímto

přesunem získala firma mnoho prostoru na speciální aplikace, ale kvalita dodávaných strojů lehce utrpěla, neboť výroba dílů nebyla 100%.

Společnost MAKINO patří ke špičce a téměř všechny stroje, které vyrábí jsou v té nejvyšší kvalitě. Tomu odpovídá i cena a cenová politika firmy. Jejich ceny jsou většinou na horním okraji nabídky. Z tohoto důvodu si je pořizují zákazníci, kteří sní o maximálním komfortu ovládání, vysoké kvalitě dílenského zpracování a jsou ochotni si připlatit za tuto kvalitu. Stroj se jim odvděčí bezproblémovým chodem po celou dobu své životnosti. V současné době je v České republice nainstalováno mnoho strojů více než 20 let starých, které stále přesvědčují jejich zákazníky o své kvalitě trvalým chodem.

Vývojové oddělení firmy MAKINO vždy vytváří podporu pro nové aplikace a využívá nejnovějších prvků a součástek na trhu. Např. jako první byla jejich drátová řezačka vybavena průmyslovým dotykovým displejem, a to již před více než 8 lety! Systém automatického navlékání drátu umožňuje již mnoho let pracovat s průměry drátů od 0,03mm. Navíc, jejich drátová řezačka typu UHP umožňovala řezat horizontálně, aby vyřezané dílce nevypadávaly.

Při návštěvě firmy MAKINO vás překvapí rozmanitost výroby od nejmenších strojů pro velmi malé a přesné otvory od $\varnothing 0,2\text{mm}$, až po stroje portálové konstrukce, které mají velikost pracovního prostoru několik metrů čtverečních. Výroba s ohledem na množství není nijak výrazně automatizována.

Na českém trhu je značka MAKINO velmi známá i díky tomu, že v době totality to byla jedna z mála možností, jak drátovou řezačku pořídit. Díky možnostem tehdejšího importu se značka MAKINO uchytila v několika českých firmách a tuto lokalitu již neopustila. Bohužel v poslední době obchodní zastoupení nevynakládá dostatečné úsilí a tyto stroje v současné době nejsou v České republice nabízeny a příliš podporovány.⁸

Obr. 5.2 Makino DUO 64⁸.

5.3.3 SODICK

Opět se jedná o japonského výrobce, který sídlí v městečku Nakamachidai v prefektuře Kanagawa. Výrobce zaujímá opět postavení kvalitního dodavatele s množstvím dodatečných funkcí, které jsou u tohoto stroje jedinečné. Jedna z propagovaných vlastností je již dlouhou dobu použití lineárních motorů místo kuličkových šroubů pro pohon hlavních os. Tato vlastnost staví tyto stroje do cenově vyšší kategorie, použití tohoto typu motorů je více než diskutabilní. Z hlediska přesnosti a stability polohování tyto motory pracují na svém dolním rychlostním limitu, neboť výhoda lineárního motoru je především ve vysokých rychlostech použití. Avšak pořizovací cena, mechanické namáhání a náklady na chlazení motorů jsou spíše negativa, která převažují. I tento stroj má několik výrazných novinek, čímž přispívá do světa elektroeroze. Další zajímavou vlastností je 3D CAD/CAM přímo ve stroji s možností importu dat a sestavení CNC programu. Tuto vlastnost mnoho výrobců nepodporuje, neboť i přes svoji uživatelskou přívětivost klade zvýšené nároky na obsluhu, nicméně v podání tohoto výrobce se funkce chová více než zajímavě.

I sortiment tohoto výrobce je zajímavý, zejména menší stroje byly ve světě velmi populární. Bohužel i zde došlo k přesunutí výroby mimo Japonsko, čímž kvalita mírně utrpěla. Nejvíce popularity má tento výrobce v USA, kde má několik lokálních zastoupení. V České republice nemají tyto stroje velké zastánce i z toho důvodu, že firma několikrát změnila zastoupení, a tím vždy nezaručí kontinuitu prodeje. Následný servis již prodaných strojů je asi největším bolavým místem a nový dealer problémy s existujícími stroji příliš neřeší.⁷



Obr. 5.3 Drátová řezačka SODICK⁷.

5.3.4 MITSUBISHI

Japonský výrobce řídicích systémů, opět z blízkosti Tokia, je dalším představitelem světového dodavatele drátových řezaček. Patří do kategorie výrobců, kteří nejsou těmi určujícími hráči na trhu s drátovými řezačkami, i když mají některé zajímavé vlastnosti. Jako dodavatel řídicích systémů má výhodu použití vlastních výrobků ve svých strojích, avšak řídicí systém Mitsubishi není tak oblíben jako systémy jiných výrobců a cena i možnosti se pohybují na spodní

části žebříčku. Co se týče návrhu stroje, při porovnání s ostatními výrobci působí dost složitě, zejména při pohledu na horní a spodní hlavu vedení drátu, kde již několik let používají různé přídavné funkce a mechanismy, které však působením agresivní vody trpí a životnost těchto dílů je velmi nízká. I návrh řídicího systému je velmi složitý a tento výrobce se nestydí umístit mimo základní skříň některé součásti systémem „jen tak“ pod kryt. Bohužel, tím trpí i zákazník pokud se servis chystá na opravy.

Kvalita strojů je jedna věc, výsledky erodování věc druhá, tedy alespoň do té doby, než zavoláte servis. A co se kvality erodování týče, stroje mají velmi mnoho příznivců i v České republice. Jako další výrobci i tento používá k výrobě díly mimo trh Japonska, především z Číny a Tchajvanu, a proto kvalita těchto strojů jde poslední dobou také dolů, naštěstí však i cena. Nevýhodou dosavadních strojů je velmi malý displej, který i přes barevnou pestrost neposkytuje to pravé rozhraní člověk/stroj. Teprve v poslední době osazují stroje dotykovým displejem, čímž zasahují ránu konkurenci. A integrovaný CAM systém s možností importu je jednou z mnoha zajímavých vlastností stroje, díky kterému si určitě najde své zákazníky.¹⁰

5.3.5 AGIE / CHARMILLES

Tato společnost zastupuje evropského výrobce drátových elektroerozivních strojů. Nabízí vysokou kvalitu provedení a je to jeden z významných hráčů na světovém trhu v oblasti elektroerozivních strojů. Před několika lety se jednalo o dva různé dodavatele, oba ze Švýcarska, kteří byly pohlceny skupinou GF a nyní vystupují pod jednou značkou. Současné portfolio nabízených strojů je velmi rozsáhlé a stále je vidět oddělená řada strojů každého z výrobců. Některé stroje a komponenty pro AgieCharmilles jsou vyráběny na Tchajvanu, což je znát při pohledu na mechanické zpracování některých mechanických dílů. Není též bez zajímavosti, že používané řídicí systémy elektroerozivních strojů jsou od japonského výrobce FANUC. Výrobce si zachoval pouze vizualizační část tak, aby odpovídala a navazovala na starší dodávané modely. V současné době nabízí několik řad strojů, přičemž ta nejvyšší řada se řadí ke světové špičce, bohužel i cenové. Nižší řady strojů jsou cenově přístupné, i když zvláště

mechanické zpracování není úplně dotažené a to i svým návrhem. Díky použití levnější mechaniky tento výrobce stále používá např. přenos hnané síly přes řemeny a odměřování je nezávislé z odměřovacích pravítek. Již několik let používá nezávislé řízení horního a spodního vedení drátu, což přináší několik výhod, zejména při řezání velkých úkosů a pohyb přídavných os je omezen pouze velikostí stolu. Touto funkcí si získal mnoho příznivců a žádný jiný stroj tuto koncepci neopakoval.

Dalším velkým rozdílem oproti japonským výrobcům je samotný generátor pulzů a tím i použití erodovacích drátů. Díky jiné konstrukci stroj stále pracuje se stejnosměrným generátorem, který má tu nevýhodu, že obrobek je vystaven dlouhodobému působení jednosměrného proudu a vzniká koroze v řezném procesu a na povrchu dílce. Navíc, pro udržení rychlosti a kvality řezání, je nutné používat speciální povlakovaný drát, který je ale několikanásobně dražší, než „obyčejný“ mosazný drát. Proto tyto stroje mají i v současné době vysoké náklady na hodinu erodování.

I tento výrobce v České republice, respektive jeho část pod názvem AGIE, byla podporována v minulém režimu, takže je zde mnoho dovezených starých strojů a firma zde má veliké jméno a své zastánce.⁵



Obr. 5.4 Drátová řezačka Agie / Charmilles⁵.

5.3.6 CHMER

Do významných výrobců elektroerozivních drátových řezaček na světovém trhu bezesporu patří tchajwanská firma CHMER, která je jedním z mnoha tchajwanských výrobců, kteří byly schopni prodávat i mimo oblast Asie. Portfolio strojů je od nejjednodušších až po velké stroje, kde s ohledem na cenu nemá příliš konkurenci z hlediska ceny, nikoliv však z hlediska kvality. Není bez zajímavosti, že mechaniku strojů CHMER používá výrobce AGIE/CHARMILLES pro některé své modely. Stroj je složitý a má velké množství dílů. To je dáno tím, že vývoj probíhá v jednotlivých odděleních, a to ve vysoké kvalitě, kde následným spojením těchto dílů vznikne fungující zařízení. Avšak to někdy nestačí, a proto obzvláště elektronika překvapí svojí nadměrnou složitostí.

Přesto tento výrobce dobývá svět elektroeroze, i jako subdodavatel. Velikou výhodou je opravdu jednoduchý systém ovládání na bázi průmyslového PC stále v DOS režimu, ale i s barevnou 3D grafikou. Proto je stále absence nových technologií jako dotyková obrazovka, připojení na LAN vcelku pochopitelná. Pro některé zákazníky je příjemné zjištění, že pro výrobu dílu není potřeba kontrolovat množství nastavení a funkcí.⁶



Obr. 5.5 Drátová řezačka CHMER⁶.

5.3.7 ONA

Nyní představme jednoho výrobce z netradiční země původu a tou je Španělsko. Tento výrobce vsadil na kvalitu a design pro evropského zákazníka. Stroje ONA vynikají již delší dobu tím, že nepoužívají filtrační patrony, ale pro filtraci vody používají speciální vodní pískový filtr. Tímto řešením svým zákazníkům šetří nemalé peníze za nákup spotřebního materiálu – filtrů. Tento výrobce se specializuje na velké stroje a modely pro vysoké prořezy, až 700mm v ose Z. Zároveň je to jeden z největších evropských výrobců EDM strojů vůbec. Na českém trhu se stroje ONA vyskytují zřídka, hlavně v důsledku silné konkurence z Japonska a Švýcarska. Celkový počet strojů je velmi malý a v porovnání s celkovým počtem čeho téměř nevýznamný.⁹

ZÁVĚR

Trendy technologie elektroerozivního drátového řezání (WEDM) jdou velmi rychlým a nezpomalujícím tempem kupředu a na nás je, abychom je využívali, a tím zvyšovali kvalitu provozu, zlepšovali ekonomickou situaci firmy a v neposlední řadě snižovali potřebnost lidského faktoru jako obsluhy stroje.

V podmínkách malé nástrojárny, konkrétně Nástrojárny Ryšavý, byla vyhodnocena užitečnost využívání elektroerozivní drátové řezačky a z výsledku je patrné, že její největší výhody využití spočívají v rychlé výrobě složitých tvarů a také v případě, že je třeba co nejrychleji vyrobit poškozený díl (střížník, střížnici) a nezáleží ani tak na ceně jako na rychlosti a kvalitě dodávky.

Hlavní trendy budoucího vývoje elektroerozivních drátových řezaček jsou především dohledové systémy, které pomohou při řešení servisních požadavků systémového charakteru, zjednodušení obsluhy, automatizace, která vyřeší velkou část nákladů spojených s provozem strojů a zařízení a v neposlední řadě i zvýšení technické úrovně strojů, která nám zajistí i zvýšení kvality povrchu obráběné součásti, a tím snížení nákladů.

Na základě této práce je možné tvrdit, že technologie WEDM je pro strojírenský průmysl zcela nepostradatelná a vynakládání nemalých prostředků do výzkumu a neustálého vylepšování této technologie se vrací zákazníkům v podobě ekonomických úspor a možností vyrobit dříve velmi těžce vyrobitelné součásti.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MAŇKOVÁ, I. *Progresívne technologie*, 1 vyd. Košice: Viena, 2000. 275 s. ISBN 80-7099-430-4.
2. BARCAL, J. *Nekonvenční metody obrábění*: Skripta FS ČVUT. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1989.
3. DESCOEUDRES, A. *Characterization of electrical discharge machining plasma*. [online], [cit. 2010-04-15]. Lausanne: EPFL, 2006. Dostupné z World Wide Web: <http://biblion.epfl.ch/EPFL/theses/2006/3542/EPFL_TH3542.pdf>.
4. KOČMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
5. AGIECHARMILLES. *Elektroerozivní obráběcí stroje*. [online], [cit. 2010-04-15]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.gfac.com/cz/produkty/elektroerozivni-obrabeci-stroje.html?L=3%2F%2Findex.php%3Fmore%3D>> .
6. CHMER. *Wire cut EDM- CHMER*. [online], [cit. 2010-04-15]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.chmer.com/index.html>>.
7. SODICK. *Sodick Europe Ltd.*. [online], [cit. 2010-04-15]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.chmer.com/index.html>> .
8. MAKINO. *Parts Manufacturing, Parts Production*. [online], [cit. 2010-04-15]. Dostupné z World Wide Web: <http://www.makino.com/industries/parts_production/>.
9. ONA. *ONA EDM USA*. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.onaedmusa.com/index.html>> .
10. MITSUBUSHI. *MITSUBISHI ELETRIC Corporate Profile*. [online], [cit. 2010-04-15]. Dostupné z World Wide Web: <<http://global.mitsubishielectric.com/company/corp/index.html>> .
11. FANUC. *FANUC's Management – Profile*. [online], [cit. 2010-04-15]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.fanuc.co.jp/en/profile/index.htm>> .
12. MM publishing, s.r.o., *Obráběcí stroje a technologie. Japonský průmysl obráběcích strojů*. 21. května 2003 v rubrice Trendy / Obrábění, s. 18.
13. KOHOUT, Jaroslav. *Drátové řezání* [online]. 8.2.2010 21:10; [cit. 2010-04-15]. Osobní komunikace.

14. OBERG, E., JONES, F.D., HORTON, H.L., RYFFEL, H.H. *Machinery's hand-book*. 25th Edition. New York: Industrial Press Inc., 1996. 2547 s. ISBN 0-8311-2595-0
15. HVOJKA, J. *Jiri Chvojka- WEDM*. [online], [cit. 2010-04-15]. Dostupné z World Wide Web: <http://www.wedm.cz/index.php?group_id=4> .
16. ŘASA, J., KEREČANINOVÁ, Z. *Nekonvenční metody obrábění*. [online], kód článku: 070710. [cit. 2010-04-15]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni>> .
17. Branda, M. *Elektroerozivní stroje*. [online], [cit. 2010-04-15]. Dostupné z World Wide Web:< <http://www.mmspektrum.com/clanek/elektroerozivni-stroje>> .

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
AI	-	Artificial Intelligence (obchodní název firmy FANUC, ve skutečnosti se o umělou inteligenci nejedná)
AWF	-	Automatic wire file
AWJ	-	Obrábění abrazivním vodním paprskem
CAD	-	Computer aided design
CAM	-	Computer aided manufacturing
CM	-	Chemické obrábění
CNC	-	Číslicově řízený systém
DNC	-	Direct Numerical Control
DOS	-	Disk Operating System
EBM	-	Obrábění paprskem elektronů
ECM	-	Elektrochemické obrábění
EDM	-	Elektrojiskrové obrábění
FTP	-	File Transfer Protocol
h	mm	Výška
HMI	-	Human-Machine Interface
LAN	-	Local Area Network
LBM	-	Obrábění paprskem laseru
NMO	-	Nekonvenční metody obrábění
Ø	mm	Průměr
PBM	-	Obrábění paprskem plasmy
PDA	-	Personal Digital Assistant
R	mm	Rádus
Ra	µm	Průměrná aritmetická úchylna posuzovaného profilu
USM	-	Ultrazvukové obrábění
WJM	-	Obrábění paprskem vody
WEDM	-	Elektroerozivní drátové řezání