VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

DRÁTOVÉ ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ PŘI VÝROBĚ NÁSTROJŮ NA DŘEVO

WIRE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING AT PRODUCTION OF TOOLS FOR WORKING OF

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE JIŘÍ SEDLÁČEK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE ING. KAREL OSIČKA
SUPERVISOR

BRNO 2008

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je použití technologie elektroerozivního drátového řezání v podmínkách firmy Vydona při použití ve výrobě dřevoobráběcích nástrojů. Na úvod je zpracována teorie této metody obrábění a přehledné rozdělení frézovacích nástrojů na obrábění dřeva. V praktické části je detailně popsán postup vyřezání tvarové destičky ze slinutého karbidu. Cílem technicko-ekonomického zhodnocení je stanovení hodinové sazby stroje.

Klíčová slova

Elektroerozivní obrábění, elektroerozivní drátové řezání, elektroeroze, WEDM, EDM, nástroje pro obrábění dřeva.

ABSTRACT

My thesis is aimed at the application of wire electical discharge machining technology in the production of woodworking tools. All of this in the conditions of Vydona company. There is a theory of machining method plus a well-aranged division of cutter tools for wood in the introduction. The practical part describes in detail the procedur of cutting shaped plate out of tungsten carbide. As a result of the technical and at the same time the economic evaluation is an establishment of hourly rate for machine.

Key words

Electrical discharge machining, wire electrical discharge machining, WEDM, EDM, tools for woodworking.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SEDLÁČEK, J. *Drátové elektroerozivní obrábění při výrobě nástrojů na dřevo*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 59 s, 6 příloh.Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Osička.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Drátové elektroerozivní obrábění při výrobě nástrojů na dřevo vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 19.5.2008 …….

Jiří Sedláček

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Karlu Osičkovi a Ing. Stanislavu Vančurovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt 4
Prohlášení 5
Poděkování 6
Obsah 7
Úvod 9
1 ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ 10
1.1 Princip technologie elektroerozivního obrábění 10
1.2 Dielektrikum pro elektroerozivní obrábění 13
1.3 Elektrody používané při eloktroerozivním obrábění 15
1.3.1 Materiály elektrod 15
1.3.2 Opotřebení materiálů elektrod 17
1.4 Mechanismus úběru materiálu 18
2 ELEKTROEROZIVNÍ DRÁTOVÉ ŘEZÁNÍ 22
2.1 Princip technologie 22
2.2 Materiály elektrod pro WEDM 23
2.3 Dielektrická kapalina 24
2.4 Použití metody drátové elektroeroze 24
3 FRÉZOVACÍ NÁSTROJ NA OBRÁBĚNÍ DŘEVA 25
3.1 Rozdělení frézovacích nástrojů 25
3.1.1 Základní rozdělení podle ostří řezné části 25
3.1.2 Rozdělení frézovacích nástrojů podle druhu výroby 27
3.1.3 Dělení podle způsobu upnutí nástroje 29
3.1.4 Dělení podle průběhu ostří 29
3.1.5 Rozdělení dle smyslu otáčení nástroje 30
3.1.6 Rozdělení podle druhu pracovního posuvu 30
3.1.7 Rozdělení dle materiálu řezné části 30
3.2 Rozbor frézovacích nástrojů na dřevo dle použití 31
3.2.1 Nástroje pro základní frézování s přímými zuby 31
3.2.2 Tvarové frézovací nástroje 32
3.2.3 Nástroje vhodné pro CNC obráběcí centra 34
4 APLIKACE ELEKTROEROZIVNÍHO DRÁTOVÉHO ŘEZÁNÍ NA STROJI MITSUBISHI SX10 36
4.1 Základní informace o stroji 36
4.2 Příklad předhrubování profilu HW břitové destičky 38
4.2.1 Rozvržení řezání 38
4.2.2 Zpracování programu pro řezáni 39
4.2.3 Generování nc kódu pro stroj 40
4.2.4 Přenesení programu na stroj 41
4.2.5 Upnutí obrobku a najetí nulového bodu 42
4.2.6 Kontrola a spuštění programu 43
4.2.7 Optimalizace parametrů pro elektroerozivní drátové řezání 44
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ 46
5.1 Výpočet hodinové sazby pro jednosměnný provoz stroje 46
5.1.1 Náklady na pořízení a zprovoznění stroje N_{CI} 46
5.1.2 Náklady na doplňkové vybavení stroje N_{DI} 47

5.1.3 Náklady na provoz stroje N_{PI} 47
5.1.4 Náklady na obsluhu stroje N_{OI} 48
5.1.5 Celkové náklady na provoz stroje N_{CelkI} 48
5.1.6 Výsledná hodinová sazba včetně zisku H_{SI} 48
5.2 Výpočet hodinové sazby pro dvousměnný provoz stroje 48
5.2.1 Náklady na pořízení a zprovoznění stroje N_{CII} 48
5.2.2 Náklady na doplňkové vybavení stroje N_{DII} 49
5.2.3 Náklady na provoz stroje N_{PII} 49
5.2.4 Náklady na obsluhu stroje N_{OII} 49
5.2.5 Celkové náklady na provoz stroje N_{CelkII} 49
5.2.6 Výsledná hodinová sazba včetně zisku H_{SII} 50
5.3 Hodinové sazby ostatních strojů 50
5.3.1 Přehled konvenčního strojního parku 50
5.3.2 Průměrná hodinová sazba pro CNC stroje H_{Spr1} 50
5.3.3 Přehled CNC strojního parku 51
5.3.4 Průměrná hodinová sazba pro CNC stroje H_{Spr2} 51
5.4 Zhodnocení ceny hodinové sazby 51
Závěr 53
Seznam použitých zdrojů 54
Seznam použitých zkratek a symbolů 55
Seznam příloh 59

ÚVOD

V dnešní době se metoda elektroerozivního obrábění stává dosti rozšířenou a vyhledávanou technologií hned v několika oblastech. Jednou z nich je její uplatnění i při výrobě různých nástrojů, v našem případě tedy konkrétně aplikací při výrobě frézovacích nástrojů na dřevo ve firmě Vydona, která se na výrobu těchto nástrojů specializuje. Název je zkratkou slovního spojení – výroba dřevoobráběcích nástrojů. Produkce nástrojů, s tímto označením výrobce, začala v roce 2003. Její hlavní sortiment tvoří dřevoobráběcí nástroje, speciální nástrojové systémy na obrábění plastů a kovu. Většinu produkce tvoří zakázková výroba, dle konkrétního obráběného profilu definovaného zákazníkem. Technologické možnosti a vybavení dílen dovolují výrobu monolitních stopkových fréz, tvarových fréz s pájenými břity z HW nebo HS materiálů, v provedení jako nástrčné kotoučové nebo stopkové. Dále nástrčné kotoučové nebo stopkové frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami z HW i možnost povlakování slinutého karbidu. Samozřejmostí je i kvalitní servis pro ostatní nástroje.

Technologie elektroerozivního obrábění bude použita v těchto podmínkách výroby hned dvakrát. Je to stroj pro elektroerozivní broušení nástrojů s břitovou destičkou z polykrystalického diamantu značky Vollmer. Dále stroj pro elektroerozivní drátové řezání Mitsubishi SX10. Ten bude použit hlavně pro výrobu břitů pro frézy s vyměnitelnými noži a přípravu polotovarů břitů na pájené frézy. Je tedy požadavek na efektivní řezání rychlořezné oceli, slinutého karbidu a polykrystalického diamantu. Do polotovarů z již zmiňovaných materiálů se budou vyřezávat různé tvary, sloužící jako polotovary s přídavkem přibližně 1 mm, pro vybroušení břitové destičky frézovacích nástrojů s vyměnitelnými nebo napájenými zuby. Operace drátového řezání tedy nahradí hrubovací operace při broušení. Nebudou tedy žádné zvýšené požadavky na přesnost řezu ani jakost obrobené plochy.

1 ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ

1.1 Princip technologie elektroerozivního obrábění

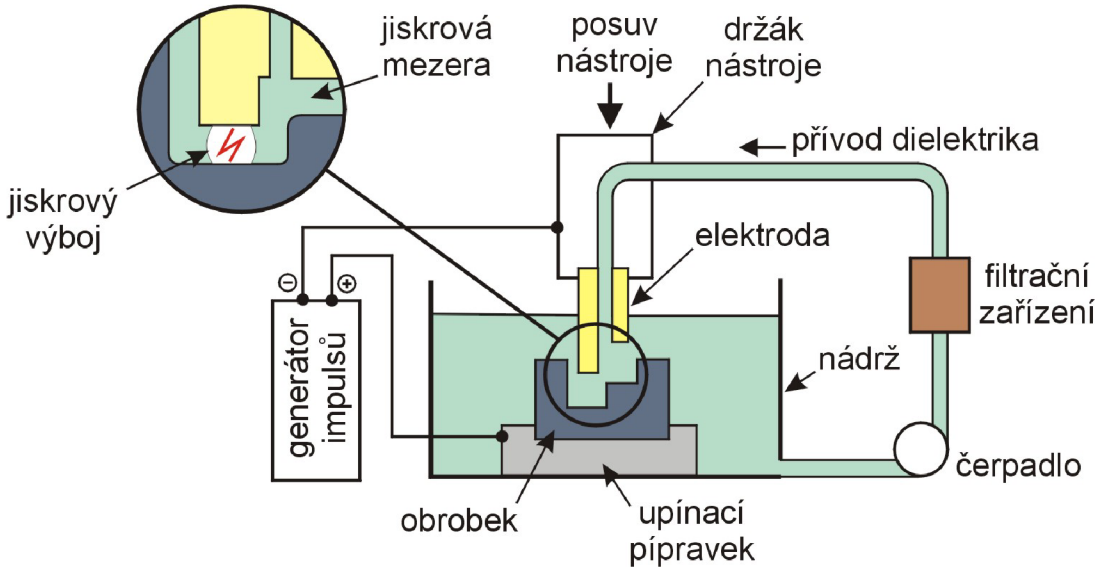
Elektroerozivní obrábění je technologický proces, při kterém dochází k úběru materiálu vlivem elektrické energie, konkrétněji za pomoci rychle se opakujících periodických impulsů jiskrového výboje v prostoru kapalného média (dielektrika). Z materiálu jsou takto odtavovány a odpařovány velmi malé částice v podobě malých dutých kliček. Tímto odtavováním a odpařováním vzniká mezi obráběným materiálem a nástrojem mezera. Produkty které vzniknou vlivem elektrolýzy jsou pak dielektrickou kapalinou odplavovány skrze tuto mezeru. Obrobek i nástroj jsou zde považovány za elektrody. Nutnou podmínkou, aby mohl proběhnout výboj mezi oběma elektrodami je, že materiál nástroje i obrobku musí být z elektricky vodivého materiálu. Nástroj je tedy umístěn v těsné blízkosti obrobku, ale není s ním v kontaktu. (1)

Dřívější rozdělení metod elektroerozivní obrábění bylo dle druhu elektrického výboje, jiskra nebo oblouk, od parametrů obrábění a zdrojů impulsního toku. Dnes už se však elektroerozivní obrábění rozděluje jen podle jeho technologických možností:

- hloubení nebo tvarové elektroerozivní obrábění (EDM Sinking),
- drátové řezání (WEDM Wire Electrical Discharge Machining),
- broušení (EDG Electrical Discharge Grinding). (1)

Fyzikální proces vzniku elektrického výboje a následného úběru materiálu mezi dvěma elektrodami má velmi komplexní průběh. Stejnosměrné napětí, přiváděné do obvodu, vytváří v krátkých impulsech výboj mezi katodou (nástrojem) a anodou (obrobkem), které jsou v určité vzdálenosti od sebe. Vzdálenost těchto dvou elektrod od sebe se nazývá jiskrová mezera. Velikost jiskrové mezery se musí pohybovat v rozmezí od (0,01 až 0,4) mm (2). Teoretiky každý impuls vyvolá jiskrový výboj. Výboj vzniká v jiskrové mezeře mezi anodou a katodou, v místě nejsilnějšího elektrického napěťového pole, které vytváří vodivý kanál mezi anodou a katodou. Tím je umožněn jiskrový

výboj mezi elektrodami. Každý jiskrový výboj znamená krátkodobou koncentraci elektrické a mechanické energie elektronů na anodě, vznik vysoké teploty v těsné blízkosti výboje, natavení a dokonce odpaření kovu jak z anody, tak i katody. Natavený kov je pak vymršťován a odváděn dielektrikem za pomoci elektrodynamických sil a pokles vnitřních napětí v důsledku teplotního pole. V místě výboje je vytvořen kráter. Pokud je tento kráter vytvořen pouze jediným výbojem, je považován za kulový segment, který se dále charakterizuje průměrem a hloubkou. Nástroj je neustále přibližován k ploše obrobku a může i kmitat nebo konat posuvný pohyb. Děje se tak nejčastěji pomocí počítači řízenými stroji. Tento pravidelný pohyb stabilizuje podmínky pro jiskrový výboj, zdokonaluje odstraňování vznikajících mikročástic a usnadňuje výměnu dielektrické kapaliny jiskrové mezeře. (1)



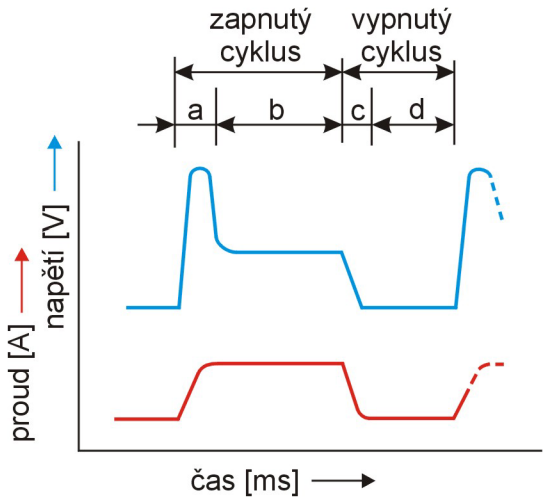
Obr. 1.1 Princip zařízení pro elektroerozivní obrábění (1)

Výboj mezi anodou a katodou je zapříčiněn stejnosměrným proudem v elektrickém obvodu s odporem R a kapacitou kondenzátoru C (RC obvod). Hlavním členem klasického elektrického RC obvodu je kondenzátor. Jeho hlavní funkcí je akumulace elektrické energie. Tato nakumulovaná elektrická energie se použije pro vytvoření silného jiskrového výboje. Tím dochází k vybití kondenzátoru. Obvody s kondenzátorem jsou základem pro obrábění kovů. (1)

U jiskrového výboje se teplota pohybuje okolo 10000 °C za (0,1 až 0,01) ms. (3)

Je možné používat i obvody s absencí kondenzátoru. Pro tuto variantu pak v elektrickém obvodu vzniká při určité vzdálenosti elektrod elektrický oblouk namísto elektrického výboje z kondenzátoru. Elektrický oblouk dosáhne teplotu (3600 až 4000) °C za dobu 0,1 s až 0,1 ms. (1)

Přítomnost dielektrika při obráběcím procesu pomáhá ionizaci toku nabitých částic. Profil průběhu impulsu napětí a proudu v závislosti na čase je zachycen na obr. 1.2. Zobrazuje délku trvání ionizace částic, vznik výboje a deionizaci částic. Přerušení nebo pokles napětí umožní nataveným částicím vymrštění a odplavení proudícím dielektrikem. Podmínkou správné funkce je, že doba přerušení napětí je delší, jak doba deionizace. Takto je zabráněno plynnému jiskření v jednom bodě. (1)



Obr. 1.2 Profil jednoho impulsu při elektroerozivním obrábění (1)

Parametry charakterizující proces elektroerozivního obrábění:

- Obráběcí stroj – jeho tuhost a řídící systém, kapacita průtoku dielektrika.
- Dielektrická kapalina – její chemické složení a fyzikální vlastnosti, stupeň kontaminace produkty eroze, vzdálenost mez elektrodami.
- Elektrické podmínky vzniku výboje – energie impulsu a frekvence výboje, doba trvání výboje.

- Nástrojová elektroda – její chemické a fyzikální vlastnosti, tvar a rozměry.
- Materiál obrobku – jeho chemické a fyzikální vlastnosti, výsledný tvar a rozměry. (1)

1.2 Dielektrikum pro elektroerozivní obrábění

Při procesu elektroerozivního obrábění nazýváme dielektrikem zpravidla kapalinu. Dielektrická kapalina vytváří pracovní prostředí, které je nevodivé nebo polovodivé a má zásadní vliv na vznik jiskrového výboje. Za nevodivé kapaliny se považuje olej, petrolej, vzduch a mezi polovodivé patří např. vodní sklo a různé solné roztoky.

Dielektrická kapalina má důležitý vliv i na celý elektroerozivní proces, působí i na povrch obráběné součásti, proto jsou na tuto kapalinu kladené vysoké nároky. (1)

Požadavky na dielektrickou kapalinu:

- Musí zabezpečovat potřebnou vzdálenost mezi elektrodami, tak aby přechod proudu mezi oběmi elektrodami vyústil ve výboj. Výbojové napětí bývá podle typu obvodu.
- Kapalina musí mít také nízkou viskozitu a dobrou smáčivost, aby se lépe obnovovala izolace po výboji.
- Musí být chemicky neutrální, aby zamezovala vzniku koroze.
- Musí mít dostatečně vysokou teplotu hoření, aby nemohlo dojít k jejímu vzplanutí.
- Musí zabezpečovat ochlazování elektrod a vyplavovaných mikročástic třísky ven z prostoru odebírání materiálu.
- Při práci s touto kapalinou nesmí vznikat žádné jedovaté výpary ani nepříjemný zápach.
- Nesmí podléhat chemickým změnám, musí být stálá a lehce dostupná případně snadno vyrobitelná i ve vlastních podmínkách. (1)

Skoro všechny tyto jmenované vlastnosti mají lehké strojní nebo transformátorové oleje s výjimkou obyčejného petroleje. Používají se také silikonový olej a dielektrikum na bázi vody. (1)

Velmi široké využití má deionizovaná destilovaná voda. Je vhodná díky své nízké ceně, nízké viskozitě a zároveň nereaguje s uhlíkem. Důležitou výhodou deionizované destilované vody je také hledisko požární bezpečnosti. Má nízkou vodivost okolo (2 až $5 \cdot 10^{-16}$) $S \cdot m^{-1}$ a doporučuje se zejména pro jemné obrábění. (1)

Vynikajících výsledků při obrábění titanu bylo dosaženo pomocí směsí silikonového oleje a petroleje. Tyto směsi jsou ale také vhodné při zvýšených požadavcích na větší úběr materiálu, nižší opotřebení nástroje a vyšší jakost povrchu obráběné plochy. (4)

Pro průmyslovou praxi se nejvíce osvědčil petrolej. Je nejvíce užívaný a umožňuje dobrou kontrolu výboje. Mezi nejlepší vlastnosti petroleje patří to, že jeho teplota jako dielektrika nemá negativní vliv na úběr materiálu oproti olejům. Důležité je to například při elektrojiskrovém obrábění, kdy teplota dielektrika dosahuje (60 až 80) °C a jeho chlazení není vždy podmínkou. Oproti tomu například při drátovém elektroerozivním obrábění je stabilizace důležitá, protože teplota dielektrické kapaliny má velký vliv na přesnost obrábění. (1)

Další důležitou úlohou dielektrika je odplavování produktů eroze. Tyto produkty se mohou vyskytovat v místě řezu buď ve formě plynu a nebo pevné látky. Pevné částice odpadu bývají většinou zachyceny na obrobku nebo nástrojové elektrodě, kde vytváří nežádoucí izolační vrstvu a brání tak eletroerozivnímu procesu. Stejný problém způsobují i plynné látky, dá se mu však zabránit, jejich rychlým odstraňováním z místa řezu. Samotné odplavování produktů eroze pro stabilizaci erozivního procesu však nestačí. Je nutné, zajistit také, obnovování čistoty dielektrické kapaliny v oblasti opracovávaného povrchu. Čištění dielektrické kapaliny je většinou zajišťováno filtrací přes kazetové filtry, které slouží k zachycování nečistot o velikosti částic od 2 μm do 5 μm. Při hrubovacích procesech mohou vznikat i větší částice, které jsou odplavovány a následně zachycovány ve spodní části filtrační jednotky jako kal. Zabezpečení dostatečné filtrace je důležité, protože i při

relativně malém znečištění dielektrické kapaliny okolo (2 až 4) % je zaznamenán pokles účinnosti obrábění o (30 až 40) %. Cirkulace a výplach dielektrika se zajišťuje pomocí různých čerpacích systémů. (1)

1.3 Elektrody používané při eloktroerozivním obrábění

Nástrojová elektroda, i když není v přímém kontaktu s obrobkem, má aktivní postavení v obráběcím procesu. (1)

Základní požadavky kladené na materiály elektrod:

- dobrá elektrická a tepelná vodivost,
- vysoký bod tavení,
- jednoduchá a levná volitelnost dostupnými technologiemi,
- dostatečná pevnost, aby se během procesu nedeformovaly. (1)

Elektroda obvykle bývá připojena na záporný pól obvodu. Pro opracování otvorů se používají elektrody z mědi, litiny, mosazi nebo měď – grafitová kompozice. Pro elektroerozivní broušení se používají elektrody z litiny, oceli, měď – grafitové kompozice nebo také hliníkové a mosazné. Pro elektroimpulsní a elektrojiskrové obrábění se používá jako materiál elektrod grafit. Při elektroerozivním drátovém řezání se zase nejvíce požívají elektrody z mosazi, mědí a jejích slitin. Dále také molybdenu a dráty povlakované zinkem s jádrem z mědi. (1)

1.3.1 Materiály elektrod

Grafit je dobře obrobitelný materiál, má vhodné vlastnosti zejména pro elektroimpulsní a elektrojiskrové obrábění. Jeho hlavní výhodou je vysoká teplota tavení okolo 3000 °C. Požívá se pro opracování ocelí. Nevýhodou jsou erozní zplodiny, které vznikají v důsledku opotřebování a znečišťují zařízení.(4)

Měď je odolná vůči elektroerozivnímu opotřebení, což je pro materiál elektrody také výhodou. Doporučuje se použití při obrábění karbidů, především karbidu wolframu a pro jemné dokončování. (4)

Mosaz je dobře obrobitelný materiál, vhodný pro elektrody, ale v porovnání s měděnými nebo grafitovými elektrodami se rychleji opotřebovává. Používá se pro vrtání a hloubení otvorů, kde opotřebení neovlivní výrazně přesnost obráběného otvoru. (4)

Wolfram má uplatnění hlavně pro speciální účely hloubení velmi malých otvorů do průměru 0,2 mm. Pro hloubení děr a drážek při jemném obrábění se používají elektrody ze slitin měď-wolfram nebo stříbro-wolframové. Cena těchto elektrod je však mnohonásobně vyšší než třeba měděné elektrody. (4)

Tab. 1.1 Celkové shrnutí vlastností materiálů elektrod (4)

Materiál	**Základní charakteristika**
Grafit	Nejčastěji používaný materiál, je dobře obrobitelný a vykazuje nízké opotřebení. Nevýhodou grafitu je znečišťování hloubícího stroje.
Měď	Má dobrou elektrickou vodivost, vykazuje nízké opotřebení. Měděné elektrody nepracují tak dobře jako elektrody z grafitu nebo mosazi. Jsou vhodné pro obrábění karbidu wolframu. Dosahovaná drsnost povrchu obrobené plochy je lepší než Ra = 0,5 μm.
Měď-wolfram Stříbro-wolfram	Jde o drahé materiály. Používají se pro výrobu elektrod na hluboké drážky. Elektrody jsou vyráběny slinováním wolframu s mědí nebo stříbrem. Po slinutí již nemůže být elektroda tvarována v důsledku křehkosti materiálu.
Měď-grafit	Tento materiál je 1,5 až 2 krát dražší než grafit, je vhodný pro obrábění karbidu wolframu.
Mosaz	Relativně levný a snadno obrobitelný materiál, vykazuje však vysoké hodnoty opotřebení.
Wolfram	Pro výrobu malých děr, průměr < 0,2 mm.

1.3.2 Opotřebení materiálů elektrod

Opotřebení nástroje je důležitým faktorem při jakémkoli procesu obrábění a ovlivňuje z ekonomického hlediska použití dané technologie.

Z počátku průmyslového využití elektroerozivního obrábění tvořilo opotřebení elektrod (40 až 60) % z celkového objemu. V současnosti je to však hodnota mnohem nižší. Ovšem za předpokladu a dodržení optimálních podmínek a správné volby materiálu obrobku a elektrody. (1)

K opotřebení elektrody dochází vlivem působení erozních impulsů, ale je také ovlivněno vlastnostmi materiálů elektrod. (1)

Důvody opotřebení elektrod:

- V důsledku vysoké hustoty elektronů na výbojovém povrchu dochází k oddělování jednotlivých iontů nebo celých částiček kovu.
- Z důvodu kolísání proudu výboje nebo vlivem polarity výboje se rozrušuje povrch elektrody.
- Vlivem vysoké teploty při výboji a nepravidelného ohřevu elektrody v průběhu výboje.
- Působením kavitačních vlivů během procesu.
- V důsledku mechanických nárazů částeček oddělených od obráběného materiálu.
- Vlivem nepříznivých pracovních podmínek (špatné proudění dielektrika, vysoká hustota proudu).
- Chyby v materiálu elektrody způsobené pórovitostí. (1)

Odolnost nástrojového materiálu vůči opotřebení je dána fyzikálními vlastnostmi. Čím vyšší má materiál teplotu tavení, tepelnou vodivost, a další parametry dle tab. 1.2, tím větší je jeho odolnost vůči opotřebení. (1)

Tab. 1.2 Fyzikální vlastnosti vybraných materiálů nástrojových elektrod (1)

Materiál	**Bod tavení** [°C]	**Bod varu** [°C]	**Tepelná vodivost** [%]	**Elektrická vodivost** [%]	**Pevnost** [MPa]	**Modul pružnosti** [MPa]
Grafit	≈ 3000	> 4000	30,3	0,1	34	5,9
Měď	1083	2580	94,3	96,5	241	124
Wolfram	3390	> 5930	29,6	48,1	41,3	351
Železo	1535	> 2800	16,2	16,2	275	186

Pozn.: Hodnoty tepelná a elektrická vodivost se vztahuje vzhledem ke stříbru, Ag = 100% vodivost.

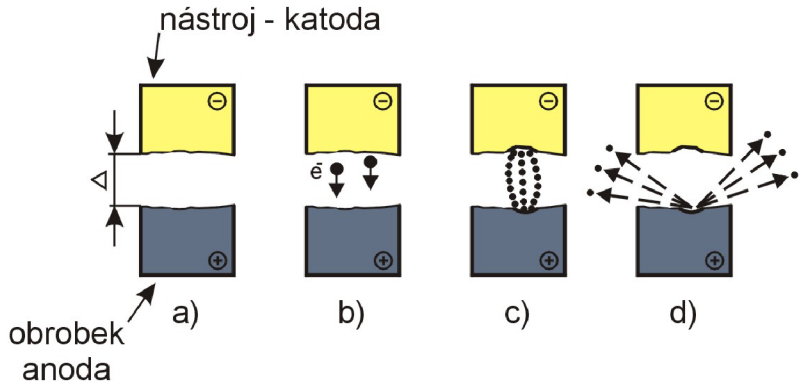
1.4 Mechanismus úběru materiálu

Při elektroerozivním obrábění dochází k úběru materiálu vlivem teploty a eroze při vzniku rychlého sledu jiskrových výbojů, které se tvoří v libovolném bodě mezielektrodového prostoru, kde je nejsilnější elektrické pole. Materiál je natavený a následně odpařený ze zóny výboje. Základem k vysvětlení úběru materiálu je popis vzniku výboje mezi elektrodami a jeho elektrické a tepelné účinky na povrch materiálu. (1)

Na obr.1.3 je znázorněn princip vzniku výboje a jeho účinek na povrch materiálu. V určité vzdálenosti Δ (0,001 mm až 0,1 mm) dochází mezi elektrodami vlivem pulsního elektrického pole k výboji. Na katodě vzniká lavina elektronů, které jsou urychlovány směrem k anodě. Záporně nabité elektrony narážejí na neutrální atomy dielektrika a vyvolávají jeho ionizaci. Při opakování tohoto procesu se zvyšuje intenzita výboje a vzniká sekundární lavina elektronů, která v konečné fázi spojí katodu a anodu kanálem výboje. V tomto kanále výboje odevzdávají elektrony a kladně nabité ionty svoji kinetickou energii ve formě tepla částicím povrchu anody a katody. Teplota v kanále dosahuje hodnoty (8000 až 12000) °C. Vznikající tepelný tok nabývá hodnoto okolo 10^{12} $W \cdot m^{-2}$ ve velmi krátkém časovém intervalu (0,1 až 2000) μs. Lokální teplota povrchu elektrod dosahuje hodnoty vyšší než bod tavení materiálu. (1)

V důsledku vysoké teploty a následného odpařování dielektrika narůstá v plazmovém kanále výboje tlak až na hodnoty 2000 MPa.

Takto vysoký tlak omezuje odpařování kovu. Po přerušení impulsu, kdy napětí klesne, nastává i pokles tlaku v kanále a částečky kovu jsou vymrštěny z povrchu. Toto vymrštění nebo odpaření je provázené vznikem plynových bublinek a charakteristického kráteru v místě výboje. (1)



a) doporučená vzdálenost mezi elektrodami

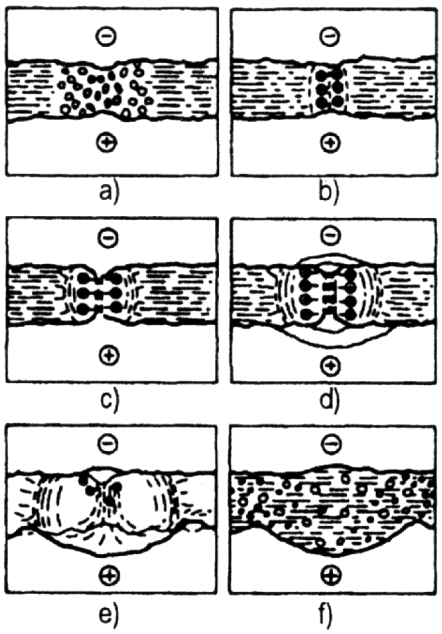
b) vznik jiskrového výboje

c) vznik elektronové laviny

d) vymrštění částeček kovu z povrchu a vznik kráteru

Obr. 1.3 Mechanismus vzniku výboje při elektroerozivním obrábění a jeho účinek na úběr materiálu (1)

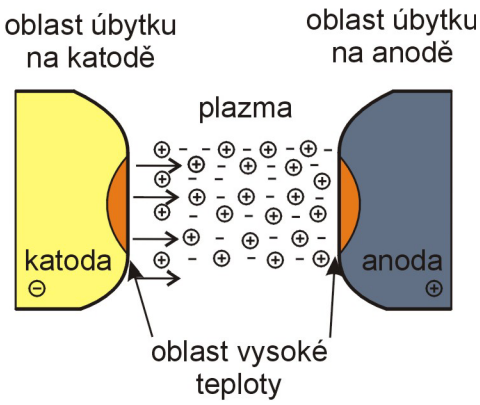
Detail tří základních fází, které doprovází elektrojiskrový výboj a úběr materiálu je na obr. 1.4. Intenzivní elektrické pole mezi dvěma elektrodami ponořenými v dielektrické kapalině, které jsou od sebe vzdálené velmi malou mezerou Δ, vyvolá polarizaci molekul a iontů dielektrické kapaliny. Když polarizace dosáhne určité hodnoty nasycení, vyvolá to v elektrickém poli snahu o uspořádání kladných a záporných částic v proudu výboje. Toto uspořádání má za následek pokles oporu dielektrické kapaliny a nárůst průtoku proudu až na hodnoty (10^7 až 10^8) $A \cdot s^{-1}$. V místě výboje vzniká plazmový kanál složený z ionizovaných částic , kladných iontů, volných elektronů, par nataveného kovu obou elektrod a plynů chemického rozkladu dielektrika. (1)



a) polarizace molekul a iontů dielektrické kapaliny
b) uspořádání kladných a záporných částic v proudu výboje a nárůst intenzity
c) vytvoření kanálu ionizovaných částic, vznik plazmy složené z kladných iontů a volných elektronů, z par kovů obou elektrod a plynů z chemického rozkladu dielektrika
d) vytvoření silného magnetického pole, které přitahuje ionty k ose kanálu výboje, vznik vysoké teploty, natavení a odpaření částeček kovu
e) tepelný účinek výboje způsobí vystřelení natavených částeček kovu z povrchu
f) v místě oddělování částic vzniká na povrchu anody a katody kráter

Obr. 1.4 Postupné stádia vzniku výboje při elektroerozivním obrábění (1)

Detail vzniku výboje je znázorněn na obr. 1.5. Vysoký průtok proudu dále ionizuje výbojový kanál a vytvoří se silné magnetické pole , které přitahuje ionty k ose kanálu výboje. Okolo osy se hustota iontů zvyšuje, čímž vzniká vysoká teplota, která natavuje a odpařuje částečky kovu. (1)



Obr. 1.5 Detail vzniku výboje mezi elektrodami (1)

Postupně způsobí tepelný účinek výboje vypuzování nebo vystřelování natavených částiček kovu z povrchu. Vypuzené částečky kovu opouští povrch po okraji vznikajícího kráteru. Kráter vzniká na obou elektrodách, ale s různou velikostí a intenzitou. (1)

Když se energie výboje vyčerpá, uzavře se jeden cyklus způsobující úběr materiálu. Tepelný účinek výboje je sice hlavním faktorem procesu eroze, ale netermické vlivy jako elektrodynamické a mechanické účinky mají svoje nezanedbatelné místo v tomto procesu. (1)

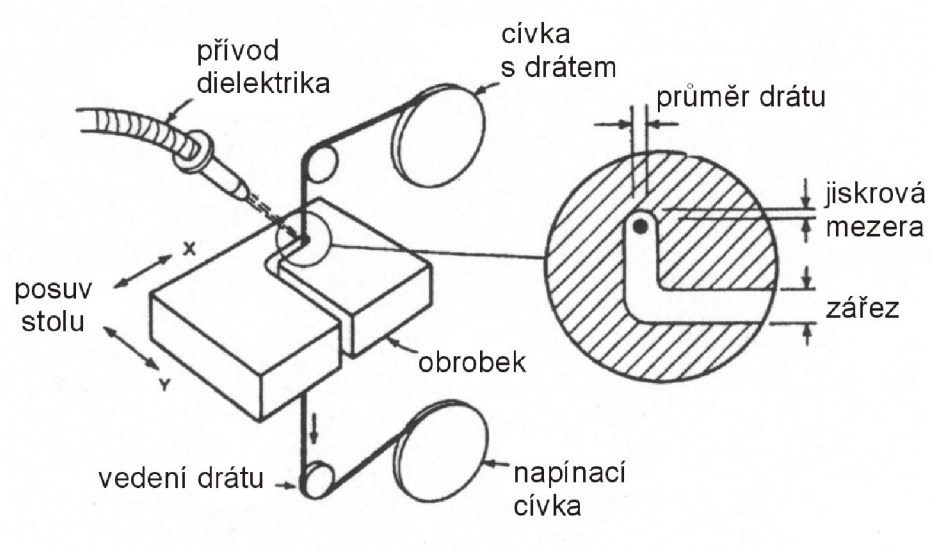
Elektroerozivní produkty, mezi kterými převažují kulové částice nataveného kovu potvrzují, že tepelné procesy a tavení kovu na anodě jsou určující jevy procesu eroze elektrickým výbojem. Polarita elektrod má důležitou úlohu při úbytku částic materiálu z elektrod, což je spojené s opotřebením nástrojové elektrody a intenzitou úběru materiálu. Obyčejná nástrojová elektroda je katoda (mínus pól). Při tomto zapojení se regulací proudu řídí proces úbytku materiálu na anodě a také kvalita opracovaného povrchu. Oproti tomu když použijeme opačnou polaritu elektrod, tedy nástroj anoda (plus pól) a obrobek katoda (mínus pól), dosahujeme vyšších rychlostí úběru a téměř nulové opotřebení nástroje. Tento princip se používá pro hrubovací operace při elektroimpulsním obrábění. (1)

2 ELEKTROEROZIVNÍ DRÁTOVÉ ŘEZÁNÍ

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

2.1 Princip technologie

Technologie se striktně řídí zákonitostmi popsanými výše při procesu elektrické eroze. Princip drátového řezání je znázorněn na obr. 2.1. Nástrojovou elektrodou je tenký drát, který musí být napínán a toto napínání ovlivňuje přesnost řezu. Drát je použitelný pouze jednou, protože během řezného procesu dochází k opotřebovávání. Je tedy nutné zajistit pohyb elektrody během řezu. Drát se tedy postupně odvíjí pomocí pohonu a systému kladek ze zásobníku, kterým bývá obvykle cívka. Pohyb drátu je pomalý, je řízen systémem stroje, podle požadovaného tvaru a vlastností materiálu a celého systému. (1)



Obr. 2.1 Princip elektroerozivního drátového řezání (1)

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. (1)

Rychlost úběru materiálu se uvádí jako objemový úběr za jednotku času. Pro starší stroje jsou hodnoty úběru řádově okolo 1300 $mm^3 \cdot hod^{-1}$, 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. (1)

Dosahovaná pracovní přesnost se pohybuje okolo 0,013 mm, podle druhu zařízení. Přesnost polohování drátu je až 0,003 mm. Pro přesné obrábění je také důležité přesné dodržení vzdálenosti mezi elektrodami. Tato vzdálenost bývá okolo 0,03 mm. (1)

Povrch materiálů po opracování vykazuje typické stopy po tepelné odpaření. Dosahuje se drsnosti v rozmezí (18 až 0,8) μm, v závislosti na technologických parametrech daného procesu a počtu řezů. (1)

2.2 Materiály elektrod pro WEDM

Nejrozšířenějším materiálem elektrody jsou mosazné nebo měděné dráty. Vynikají svými parametry jako je pevnost v tahu (480 až 900) MPa a elektrická vodivost. Používají se hlavně pro obrábění, kde je požadována vyšší přesnost řezu. (1)

Své uplatnění mají také dráty z molybdenu a wolframu, které se používají hlavně pro mikroobrábění. (1)

V dnešní době se stává nejnovějším trendem používání povlakovaných drátů. Jedná se o dráty složené z ocelového nebo měděného jádra a vnějšího povlaku. Jako materiál povlaků se používá měď, ta pomáhá zlepšení elektrické vodivosti drátu. Dále se používají i povlaky grafitové, které mají nízký koeficient tření a tím je možné zvýšení rychlosti odvíjení drátu. Používají se také povlaky s vysokým obsahem zinku. Druh povlaku se tedy volí podle požadavku na konkrétní drátového řezání. (1)

Průměry drátu se pohybují v rozmezí (0,03 až 0,3) mm, běžně používaný průměr bývá okolo 0,2 mm nebo 0,25 mm. Rychlost pohybu drátu během řezání se pohybuje v rozmezí (2,5 až 150) $mm \cdot s^{-1}$. (1)

2.3 Dielektrická kapalina

Jako dielektrikum se nečastěji používá deionizovaná destilovaná voda i jiné nízkoviskózní kapaliny nebo také lehké oleje. Dielektrická kapalina musí zabezpečit dostatečné chlazení v oblasti obrobku a drátové elektrody. Chlazení kapaliny je pak zajišťováno cirkulací v pracovním prostoru stroje a přes různé chladící jednotky. Funkcí dielektrické kapaliny je dále odplavování erozních zplodin z místa řezu, protože drátové řezání vyžaduje plynulé proudění dielektrika do místa řezu. Výsledkem špatného proudění dielektrika do mísa řezu bývá přetržení drátu. (1)

2.4 Použití metody drátové elektroeroze

Metoda elektroerozivního drátového řezání se uplatňuje v následujících oblastech:

- opracování vysoce tvrdých, elektricky vodivých keramických materiálů, kalených ocelí a titanových slitin,
- obrábění tvářecích a střižnách nástrojů a razníků,
- dělení a opracování destiček ze slinutého karbidu, kubického nitridu bóru a polykrystalického diamantu,
- opracování předmětů velmi malých rozměrů,
- mikroobrábění v oblasti výroby mikroelektronických elementů. (1)

3 FRÉZOVACÍ NÁSTROJ NA OBRÁBĚNÍ DŘEVA

Frézovací nástroj je rotační nástroj, který má směr hlavního pracovního posuvu kolmý k ose jeho otáčení a je určen na obrábění různých povrchů dřeva a podobných materiálů. (5)

Fréza je vícebřitý nástroj, který slouží k výrobě rovinných nebo tvarových ploch. (7)

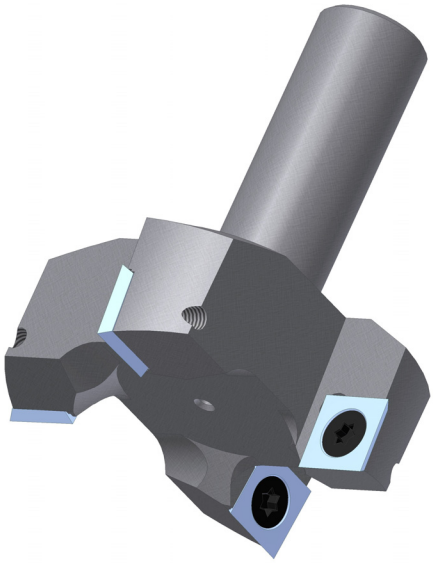
3.1 Rozdělení frézovacích nástrojů

3.1.1 Základní rozdělení podle ostří řezné části

a) válcové frézy – mají řezné zuby rozmístěny jen po válcové ploše a jsou určeny pro frézování rovinných ploch rovnoběžných s osou nástroje. (5)

Obr. 3.1 Válcová fréza pro hrubování dřeva (7)

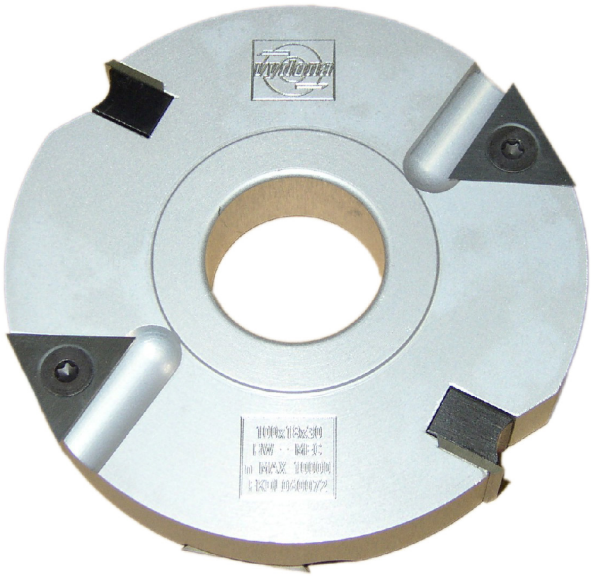
b) válcové frézy čelní – zuby jsou rozmístěny jak na válcové ploše tak na ploše čelní, tedy rovnoběžně i kolmo na osu rotace. Používají se na frézování dvou rovin na sebe kolmých. (5)



Obr. 3.2 Válcová fréza čelní (7)

c) frézy čelní – zuby jsou rozmístěny v čelní rovině kolmé k ose frézy, používají se na frézování rovinných ploch. (5)

d) kotoučové frézy – mají zuby rozmístěny po obvodové ploše i na obou čelních plochách. Jsou vhodné pro frézování drážek a pro čelní frézování bočních rovin. (5)



Obr. 3.3 Kotoučová fréza (7)

3.1.2 Rozdělení frézovacích nástrojů podle druhu výroby

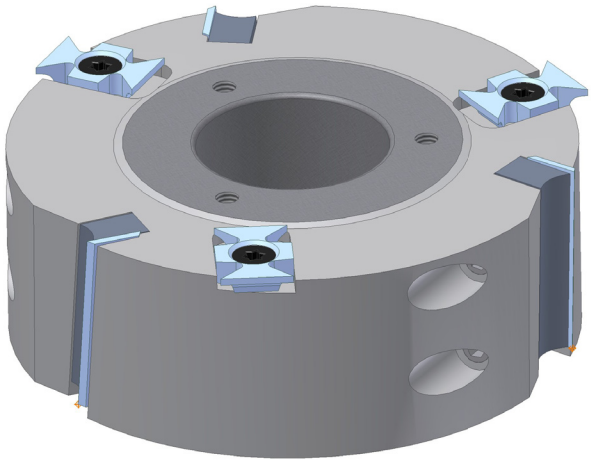
a) Celistvý – je to nástroj bez nerozebíratelně spojených nebo vyměnitelných částí. Těleso a řezné části jsou z jednoho kusu materiálu. Typickým představitelem mohou být v dnešní době monolitní stopkové frézy. (5)

Obr. 3.4 HW monolitní stopková fréza pro hrubovací operace (7)

b) Nerozebíratelně spojený – nástroj u něhož jsou řezné součásti (břitové destičky) spojeny s tělesem nástroje nerozebíratelným spojem, který zabraňuje vzájemné změně jejich polohy. Tento spoj je nejčastěji proveden technologií měkkého pájení pomocí stříbrné pájky, dále to může být také lepení a nebo svařování. (5)

Obr. 3.5 Pájená tvarová fréza – nerozebíratelný spoj (7)

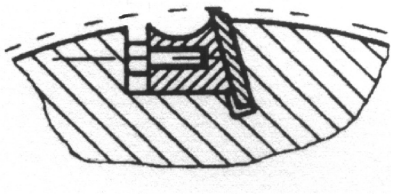
c) Složený – rozebíratelně spojený nástroj, u kterého je použit jeden nebo více řezných součástí (břitových destiček nebo nožů), které jsou vyměnitelně upevněny v tělese nástroje pomocí upevňovacích prvků. Tyto řezné součásti mohou být vyrobeny jako celistvé (břitová destička ze slinutého karbidu) nebo nerozebíratelně spojené (napájená břitová destička na ocelovém nosiči). (5)



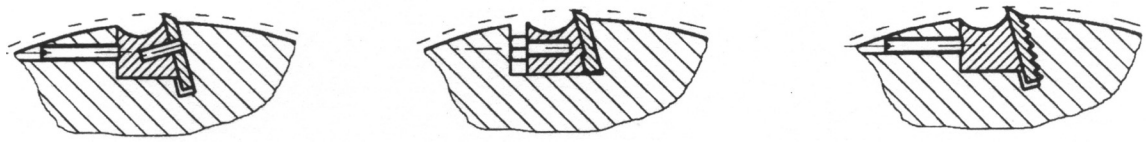
Obr. 3.6 Fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami (7)

Rozebíratelný spoj může být proveden jako:

- Silový – spojení, při němž je během otáčení zabráněno vzájemné změně polohy v radiálním směru pouze třecími silami (obr. 3.7).
- Tvarový – spojení, při němž je během otáčení zabráněno vzájemné změně polohy v radiálním směru tvarem a uspořádáním jednotlivých součástí (obr. 3.8). (5)

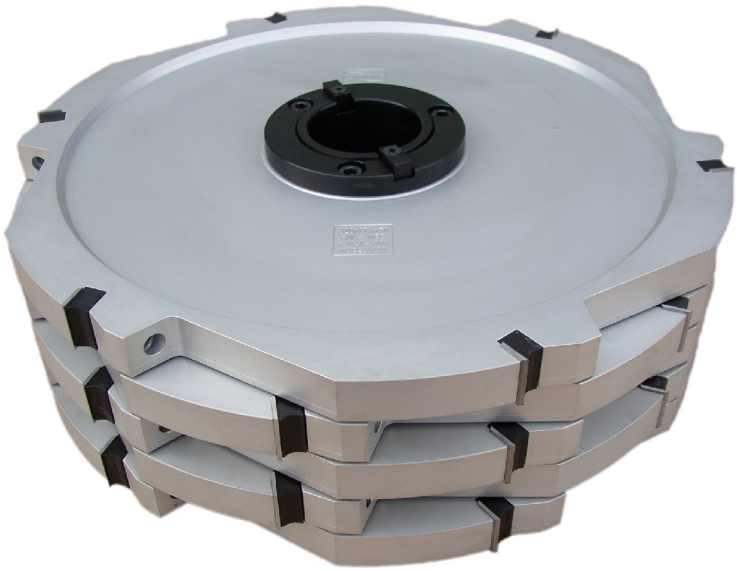


Obr. 3.7 Silové spojení (5)



Obr. 3.8 Varianty tvarového spojení (5)

d) Sadový – sestava složená z jednotlivých nástrojů upnutých na společném nosném prvku. (5)



Obr. 3.9 Sestava frézovacího nástroje (7)

3.1.3 Dělení podle způsobu upnutí nástroje

a) Nástroj s upínací stopkou – provedení upínací stopky je buď válcové nebo kuželové. Fréza s válcovou stopkou je na obr. 3.4.
b) Nástrčné frézy s upínacím otvorem – upínají se přímo na hřídel stroje nebo se sestavují do sady na trn viz. obr. 3.9. (7)

3.1.4 Dělení podle průběhu ostří

a) Frézy s přímými zuby.
b) Frézy s šikmými zuby.
c) Frézy se zuby ve šroubovici. (7)

3.1.5 Rozdělení dle smyslu otáčení nástroje

a) Pravořezné.
b) Levořezné. (7)

3.1.6 Rozdělení podle druhu pracovního posuvu

a) Ruční posuv – ruční držení nebo vedení obrobku nebo části stroje nesoucí nástroj. Představuje použití ručně ovládaných saní, na nichž je obrobek držen ručně nebo upnut použitím demontovatelného přídavného strojního posouvacího zařízení.
b) Strojní posuv – posouvací mechanismus obrobku nebo nástroje, který je součástí stroje a kde obrobek nebo prvek stroje jsou vedeny mechanicky během obrábění. (5)

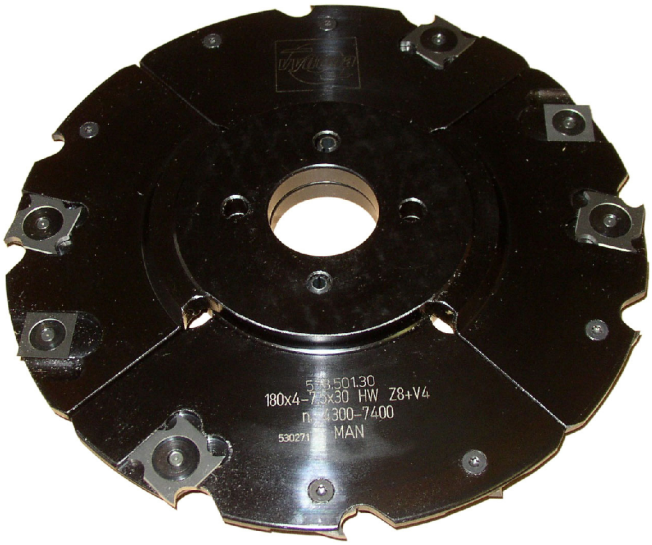
3.1.7 Rozdělení dle materiálu řezné části

a) Legovaná nástrojová ocel obsahující nejméně 0,6 % C a méně než 5 % legujících prvků. Označení SP.
b) Vysokolegovaná nástrojová ocel obsahující více než 5 % obsahu legujících prvků, např. 12 % Cr. Označuje se jako HL.
c) Rychlořezná ocel obsahující celkově víc než 12 % obsahu legujících prvků W, Mo, V, Co. Označení HS.
d) Nepovlakovaný slinutý karbid na bázi karbidu wolframu, označení HW.
e) Povlakovaný slinutý karbid, je označován jako HC.
f) Polykrystalický diamant (PKD). Označení DP. (5)

3.2 Rozbor frézovacích nástrojů na dřevo dle použití

3.2.1 Nástroje pro základní frézování s přímými zuby

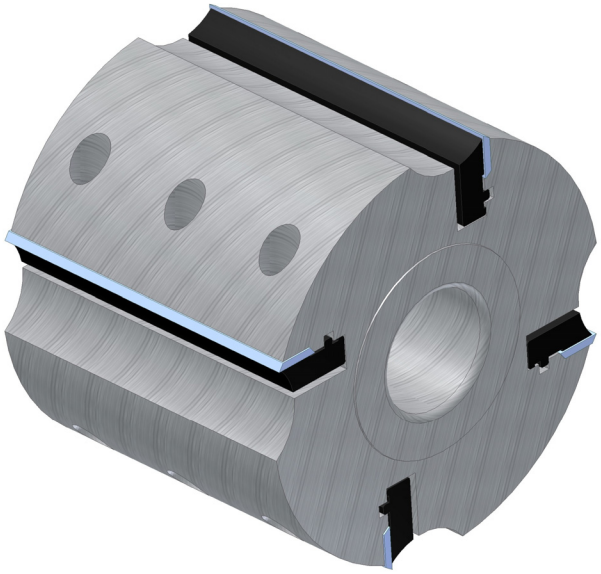
a) Drážkovací frézy – vyrábí se s pevně napájenými plátky nebo vyměnitelnými destičkami ze slinutých karbidů, které se používají pro drážkování nebo předřezávání v protiběžném nebo při strojním posuvu i souběžném frézování. Vyměnitelné břitové destičky jsou z pravidla otočné a mají tedy dvě nebo více stejných řezných hran a tím se nemění řezný průměr nástroje. Nástroje mohou být v provedení jako stavitelné, s různým rozsahem šířek drážky. Pro obrábění silně abrazivních materiálů jako HDF či MDF se používají frézy s břity z polykrystalického diamantu.



Obr. 3.10 Drážkovací fréza s výměnnými HW břitovými destičkami (7)

b) Srovnávací frézy – pro srovnávání hran z masívu, dřevotřískových desek nebo laminátové vrstvy při výrobě laminátových podlah. Jako řezný materiál se používá buď slinutý karbid nebo polykrystalický diamant, který zajišťuje vyšší produktivitu a delší životnost.

c) Falcovací frézy – tzv. polodrážkovací, konstruují se jako nerozebíratelné (pájené) nebo s otočnými výměnnými noži. Nástroj je osazen hlavními (vybíracími) zuby a předřezávači. Hlavní zuby jsou většinou uloženy s axiálním úhlem pro plynulejší záběr a také z důvodu menšího štípání na hraně obráběného materiálu. (8)

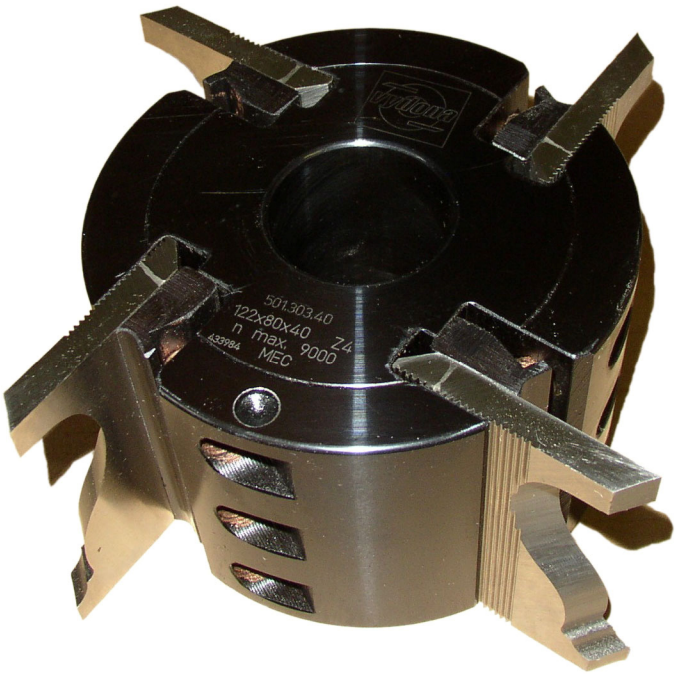


Obr. 3.11 Srovnávací fréza (7)

3.2.2 Tvarové frézovací nástroje

a) Tvarové rádiusové frézy – jedná se většinou o frézy na zaoblení hran nebo frézy pro výrobu rádiusových profilů.

b) Univerzální tvarové frézy – zahrnují pevně pájené frézy s tzv. uniprofilem a různé typy univerzálních nožových hlav s vyměnitelnými tvarovými noži. Spojení je realizováno tvarovým stykem. (8)



Obr. 3.12 Univerzální nožová hlava (7)

c) Frézovací soupravy na pero a drážku.

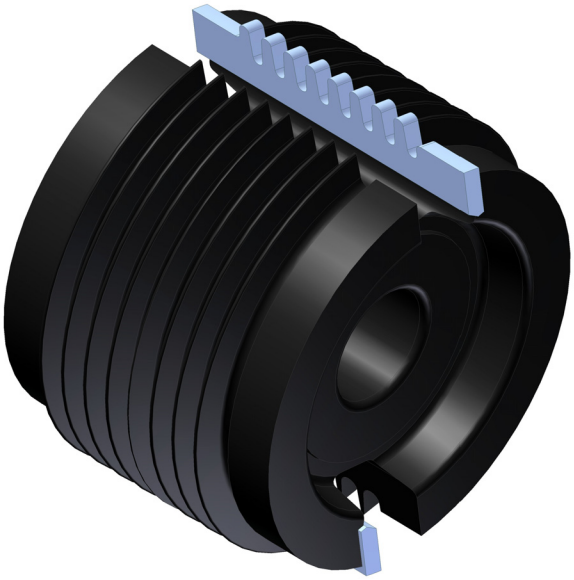
d) Frézy na výrobu podélného ozubeného spoje pro nekonečný vlis.

e) Frézy na výrobu příčného ozubeného spoje (viz obr. 3.13).

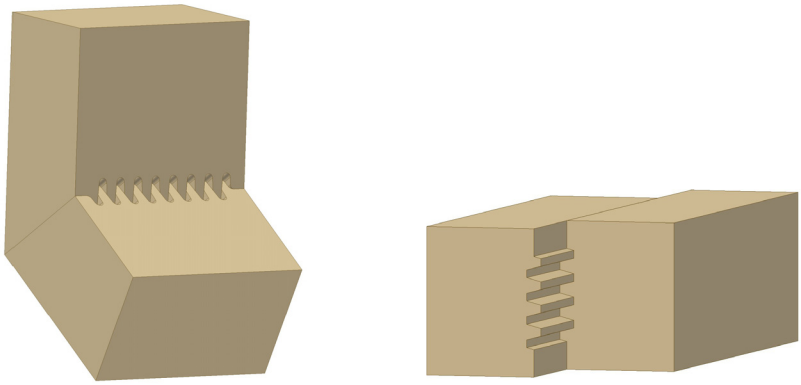
f) Tvarové frézy pro pokosové spoje.

g) Sady tvarových nástrojů pro rohové spojení nábytkových dvířek a interiérových dveří (podélný profil a příčný protiprofil).

h) Tvarové frézy na výplně. (8)



Obr. 3.13 Fréza na výrobu příčného spoje (7)



Obr. 3.14 Příklady příčného a podélného spoje (7)

3.2.3 Nástroje vhodné pro CNC obráběcí centra

a) Rozdělení podle způsobu upnutí:
   - Nástroje se stopkou – upínají se do upínacích držáků kleštinových (můžeme upnout nástroje s různým průměrem stopky), hydraulických nebo termoupínačů (zabezpečují nejpřesnější upnutí). Stopková fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami je na obr. 3.15.
   - Nástrčné nástroje – tyto nástroje se upínají na upínače osazené hřídelí průměru 20 mm nebo 30 mm. Tento sytém se využívá především u větších cnc obráběcích center, kde je zapotřebí upnout nástroje větších průměrů a hmotností. Např. centra na výrobu oken, dveří a schodů.

b) Rozdělení dle konstrukce nástroje:
   - HW monolitní spirálové frézy – jedná se o nejčastěji používané nástroje na cnc strojích. Vyrábějí se různou geometrií ostří. Používají se pro obrábění masivního dřeva, MDF, korianu a HDF.
   - Nerozebíratelně spojený – spojení je provedeno pájením na měkko. S nárůstem umělých materiálů, jako jsou MDF a HDF, stoupají stále i požadavky na vyšší životnost ostří. K tomuto účelu byly vyvinuty nástroje s pájenými břitovými destičkami z polykrystalického diamantu (PD). Tento materiál má několikanásobnou trvanlivost ostří oproti nástrojům ze slinutého karbidu. Tyto nástroje s břity z PD se dají ostřit pouze na cnc elektroerozivních strojích. Pro frézování dřevěného masivu se dále používají nástroje stejné konstrukce ale s pájenými HW břitovými destičkami.
   - Nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami – konstruují se jako nástrčné nebo stopkové, řezným materiálem je slinutý karbid. Používají se pro frézování složitých dílců jako jsou dveře, okna a profilové lišty. Výhodou nástrojů této konstrukce je především rychlá a přesná výměna opotřebené břitové destičky, tím dochází ke zkrácení vedlejších časů. Tyto nástroje mohou mít i univerzální

nosič, do kterého lze upnout břitovou destičku s různým profilem (viz obr. 3.16).

Obr. 3.15 Stopková fréza s výměnnými HW břitovými destičkami (7)

Obr. 3.16 Nástroj UNI profi (6)

4 APLIKACE ELEKTROEROZIVNÍHO DRÁTOVÉHO ŘEZÁNÍ NA STROJI MITSUBISHI SX10

4.1 Základní informace o stroji

Stroj byl zakoupen jako použitý od firmy EDM czech, zabývající se dovozem nových strojů, servisem a repasemi použitých strojů pro elektroerozivní obrábění značky Mitsubishi. Konkrétní model SX10 má rok výroby 1994, jedná se o zařízení pro elektroerozivní drátové řezání, který by měl sloužit v podmínkách firmy k řezání převážně materiálů z rychlořezné oceli, slinutého karbidu a destiček z polykrystalického diamantu. Jednat se bude o vyřezání polotovarů různých tvarů pro břitové destičky z již zmiňovaných materiálů. Základní technické parametry jsou uvedeny v tabulce 4.1. Po ustavení a zapojení stroje v prostorech dílny nám bylo poskytnuto dvoudenní školení u prodejce stroje, kde jsme byli proškoleni, jak kompletně ovládat a kontrolovat stroj a provádět běžnou provozní údržbu. Základy programování nám byly známy již z frézování, na ovládání řídícího systému se dalo poměrně rychle zvyknout.

Obr. 4.1 Stroj Mitsubishi SX10 (7)

Tab. 4.1 Výběr základních vlastností a parametrů stroje (9)

Maximální rozměry obrobku	800 x 575 x 215	mm
Maximální hmotnost obrobku	530	kg
Rozměry pracovního stolu	590 x 514	mm
Pojezd v osách X Y Z	350 x 250 x 220	mm
Maximální posuv stolu	1300	$mm \cdot min^{-1}$
Průměr drátu	0,07 až 0,3	mm
Maximální posuv drátu	250	$mm \cdot s^{-1}$
Předepnutí drátu	0,5 až 0,25	N
Hmotnost stroje	1600	kg
Objem pracovní nádrže	390	l
Rychlost filtrace	20	$l \cdot min^{-1}$
Typ filtru	papírový	-

Stroj má svůj vlastní řídící systém, programování může být prováděno přímo na panelu stroje v ISO kódu klasickými funkcemi, známými pro nás například již dříve z frézování nebo soustružení, nejčastěji kruhové a lineární interpolace G02, G03, G0, G1. Tímto se naprogramuje tvar křivky a pomocí poloměrových korekcí G41 a G42 bude zadáno, ze které strany se tvar drátem obrobí. V podmínkách firmy však funguje cam systém EdgeCAM verze 12.0, který se využívá pro programování 5ti-osé frézky. Proto pro usnadnění práce byla zakoupena další část tohoto programu, která umožňuje i programování drátového řezání. Tím se zásadně usnadní programování, které je uživatelsky přístupnější v grafickém prostředí programu. Důležitá je typická hlavička programu, kde se musí zadat typ technologie a parametry pro daný proces řezání dle obráběného materiálu. Pro všechny tyto parametry potřebné ke správnému nastavení slouží tabulky, které jsou součástí uživatelského manuálu stoje. Příklad tabulky je uveden jako příloha 1.

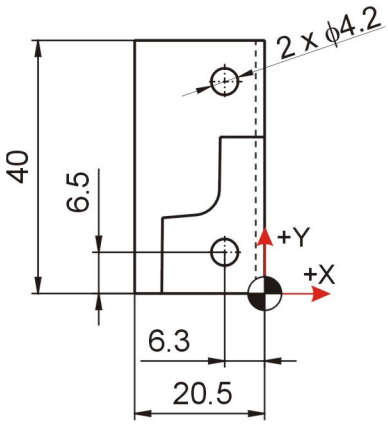
4.2 Příklad předhrubování profilu HW břitové destičky

V případě výroby tvarové frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu, bylo používáno pro odstranění přebytečného materiálu z profilu operace hrubování profilovým broušením. Tyto operace jsou však v podmínkách firmy Vydona značně vytíženy, zpravidla pro dokončovací operace, byla tedy hledána alternativní cesta. Proto bude pro hrubování použito metody drátové elektroeroze a přebytečný materiál bude odřezán s přídavkem 1 mm na dokončovací broušení profilu. Požadavek na drsnost povrchu ani přesnost pro odřezání zde není tak velký, proto stačí řezat jen jedním řezem. Pokud jsou vyšší požadavky na přesnost a jakost obrobené plochy, volí se jeden hrubovací řez a pak v závislosti na jakosti obrobené plochy počet dokončovacích řezů. Tím lze dosáhnut hodnot Ra = 0,8 μm při použití pěti řezů.

4.2.1 Rozvržení řezání

Na základě výkresu obrobku, který je vyobrazen jako příloha 2, byl zvolen polotovar, na který bude použita originální destička o rozměrech (40 x 20,5 x 2) mm. Bude se tedy jednat o vyřezání požadovaného tvaru do tohoto polotovaru, který je vyobrazen na fotografii na obr. 4.2. Umístění požadovaného tvaru na polotovaru bylo provedeno, jak je viditelné na obr. 4.3, bylo totiž nutné využít stávající původní otvor v polotovaru. Protože tato operace slouží jako hrubování, před broušením, není tedy požadována vysoká přesnost a jakost obrobené plochy. Jediný požadavek na přesnost se týká pravé strany, která zůstává už bez opracování a od této hrany je kótována a tolerována i díra. Proto byl zvolen nulový bod do pravého spodního rohu. Každá destička bude vyřezána samostatně v upínacím přípravku s dorazem. Najetí nulového bodu tedy bude jen jednou a poté už bude probíhat jen výměna destiček po vyřezání. Dále byl stanoven směr řezání.

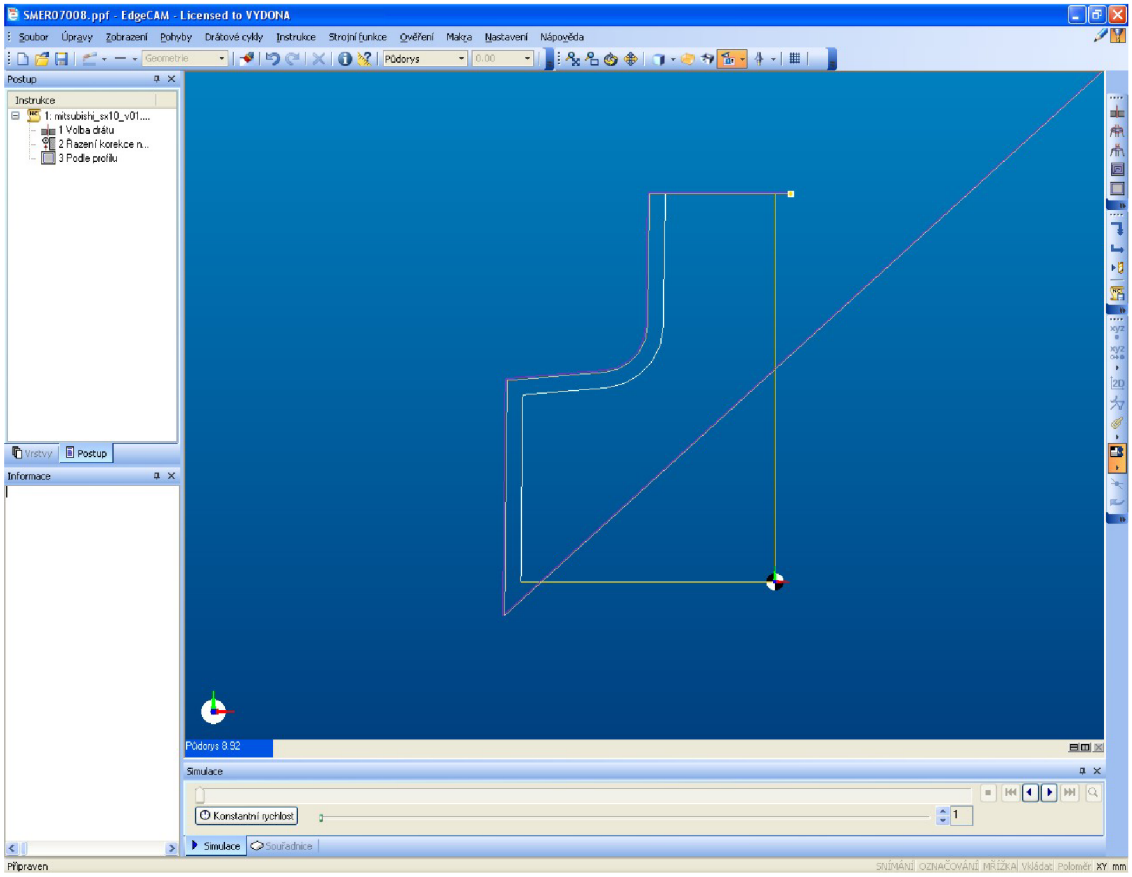
Obr. 4.2 Polotovar HW břitové destičky (7)



Obr. 4.3 umístění nulového bodu na obrobku (7)

4.2.2 Zpracování programu pro řezáni

Výkres v počítačovém formátu dwg byl naimportován do programu EdgeCAM, zde se výkres otočí a ustaví do nulového bodu, kdy hlavní hrany břitové destičky jsou rovnoběžné s osami X a Y souřadného systému stroje a programu. Nastaví se směr korekce, na kterou stranu bude připočítána, tedy v kódu bude příkaz G41, korekce z levé strany. Dále bylo pomocí příslušného obráběcího cyklu „dle kontury“ naprogramováno vyřezání profilu. Na výkresu zkreslen již hotový profil, tedy již po broušení, proto musí být nastaven přídavek profilu 1 mm. Přídavek na poloměrovou korekci, s ohledem a přičtením jiskrové mezery bude zadán až v dalším kroku. Použit bude standardní mosazný drát s průměrem 0,25 mm.



Obr. 4.4 Ukázka programování v prostředí EdgeCAM 12.0 (7)

4.2.3 Generování nc kódu pro stroj

Po sestavení obrábění v programu EdgeCAM bylo započato vygenerování nc kódu, dle konkrétního postprocesoru pro stroj. Zde je nutno nastavit hlavní technologické prvky pro elektroerozivní řezání. Týká se to nastavení hodnot E pack a H1, které byly odečteny z tabulky dodané se strojem, tato tabulka je přiložena jako příloha 2. Hodnota H1 = Offset. V tabulce bylo zvoleno řezání jedním řezem, pro materiál slinutý karbid tloušťky 5 mm, menší šířka v tabulkách není. Číslo E pack, slouží jako kompletní balíček dat, nutných pro řezání a tyto hodnoty budou načteny strojem při spuštění řezání. Hodnota H1 udává velikost poloměrové korekce, kterou načítá funkce G41 nebo G42. Velikost poloměrové korekce je různá podle počtu řezů a požadované jakosti obrobené plochy. Hodnota se navíc nerovná jen poloměru drátu, ale je zvětšena o velikost jiskrové mezery mezi drátovou elektrodou a obrobkem.

Dále byla nastavena rychlost posuvu na hodnotu 1 mm·min^{-1}. Tato rychlost je pouze základní, protože na stroji bude během řezáni zapnuta funkce adaptivní kontroly funkcí M90, kdy reálná rychlost posuvu je řízena systémem a je to maximální hodnota, která může být dosažena při optimálním procesu, tak aby nedošlo k přetržení drátu.

Vygenerovaný program:

N10 M20	*navlečení drátu*
N20 M78 M78	*napuštění hladiny dielektrika, obou hladin*
N30 M90	*zapnutí adaptivního řízení*
N40 M80 M82 M84	*zapnutí proudění dielektrika, zapnutí posuvu drátu, zapnutí dodávky proudu*
N50 G90	*programování absolutních souřadnic*
N60 E803 F1.0	*hodnota E pack a rychlost posuvu*
N70 H1=0.153	*hodnota poloměrové korekce*
N80 G92 X-17.249 Y-2.147	*poloha startovacího bodu*
N90 G41 G01 X-17.239 Y-1.147	*poloměrová korekce levá a lin. interpolace*
N100 X-17.102 Y12.853	*lineární interpolace*
N110 X-10.877 Y13.377	*lineární interpolace*
N120 G03 X-8.129 Y16.321 R3.0	*kruhová interpolace*
N130 G01 X-8.002 Y24.766	*lineární interpolace*
N140 X0.0 Y24.766	*lineární interpolace*
N150 G40 X1.0 Y24.766	*ukončení korekce a vyjetí lineární interpolací*
N160 M02	*konec programu*

4.2.4 Přenesení programu na stroj

Komunikace se strojem měla být původně realizována prostřednictvím kabelu a rozhraní portu RS-232 v počítači. Touto metodou ovšem nebylo možno stroj a počítač propojit, protože ani technikovi od dodavatele stroje se nepodařil přenos nastavit a zprovoznit. Proto byla zvolena pro přenos dat jediná možnost a tou byl přenos přes klasickou 3,5“ disketu v počítači. Po nakopírování dat z diskety do stroje, provedeme kontrolu programu a simulaci v prostředí počítače ve stroji.

4.2.5 Upnutí obrobku a najetí nulového bodu

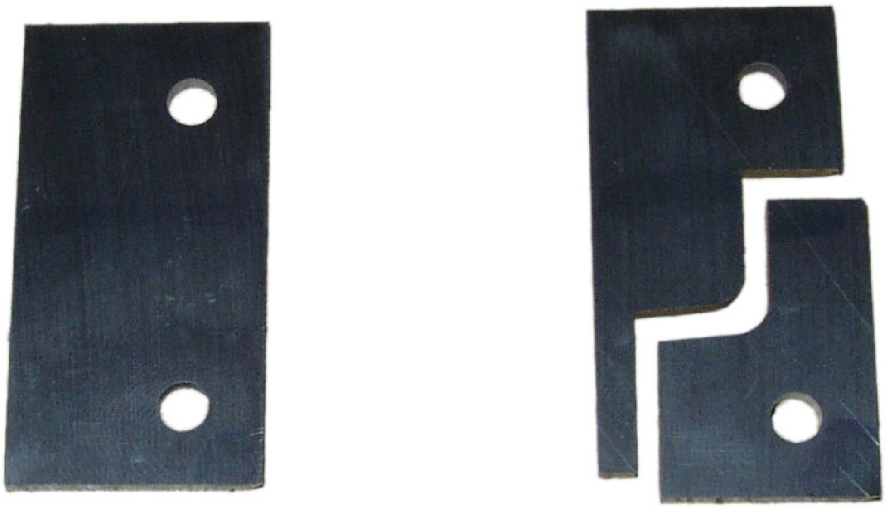
Upnutí destičky bude realizováno v přípravku a řezání bude probíhat po jednom kusu. Pravý doraz na přípravku byl tedy seřízen, tak aby se řezání realizovalo pouze na destičce a nedošlo k zařezání do přípravku. Nejdříve musel být odměřen úhel natočení souřadného systému. Tato úloha má svůj program v řídícím systému a je prováděna automaticky po nastavení základních hodnot. Tím se přepíše nastavení vyklonění souřadného systému ve stroji a osa X bude rovnoběžná se spodní hranou našeho obrobku. Nulový bod byl tedy najet pouze u prvního kusu. Umístění nulového bodu je znázorněno na nákresu výše, viz obr. 4.3. Spodní strana obrobku je tedy rovnoběžná s osu X a byla najeta dotykem ze spodní strany. Osa Y byla najeta z pravé strany na obrobku a tím bylo ukončeno najíždění a ustavování.

Obr. 4.5 Destička upnutá v přípravku v pracovním prostoru stroje (7)

4.2.6 Kontrola a spuštění programu

V dalším kroku bylo nutné načtení programu a odsimulování, které odhalí případné chyby nebo nedostatky v programu. Po úspěšné simulaci následovalo najetí do výchozí polohy programu, jedná se o pozici vypočtenou při generování programu a označenou příkazem G92. Jedná se tedy o řádek N80 a souřadnice polohy X-17.249 mm a Y-2.147 mm. Tyto hodnoty se zadají do příslušných řádků na stroji, potvrdí se příkazem a stroj najede přesně na tyto souřadnice. Dále se sníží horní vodítko drátu na úroveň osy Z tak, aby bylo co nejblíže nad místem řezu, ale nehrozila kolize s upínacím přípravkem. Následuje zavření nádrže a načtení programu do obráběcí části v řídícím programu stroje a spuštění tlačítkem Start. Stroj začne vykonávat jednotlivé řádky zapsané v aktivním programu. Po ukončení programu se stroj zastaví a ručně se odjede pryč od obrobku tak aby mohla proběhnout výměna hotového obrobku za nový polotovar. Při novém polotovaru najedeme jen na výchozí polohu a znovu spustíme program a celý proces se opakuje.

Obr. 4.6 Destička po vyřezání (7)



Obr. 4.7 Polotovar a hotový výrobek s odpadem (7)

4.2.7 Optimalizace parametrů pro elektroerozivní drátové řezání

Výkon a rychlost řezání záleží u stroje Mitsubishi SX10 na několika základních parametrech a předpokladech.

Hlavním prvkem, který zásadně ovlivňuje rychlost řezání, je kvalita deioniozovaného dielektrika, hodnota vodivosti musí bát dostatečně nízká, tak aby nedocházelo ke zkratům mezi elektrodou a obrobkem, když nejsou v bezprostřední blízkosti. V případě hodnoty vodivosti vyšší než 35 µS, nebylo možné stroj spustit, neboť docházelo ke zkratům při najíždění nulových bodů na obrobku. Najíždění nulového bodu se zastavilo, i když drát ještě nebyl v elektrickém kontaktu s obrobkem, ale docházelo zřejmě ke zkratu z důvodu příliš vodivého dielektrika. Vodivost se udržuje na provozních hodnotách cirkulací dielektrika přes deionizační pryskyřici. Tato pryskyřice se mění dle potřeby a časový interval výměny závisí na materiálu, který obrábíme. Při řezání slinutého karbidu docházelo k většímu znečišťování dielektrika, než tomu bylo při řezání rychlořezné oceli.

Zásadním parametrem pro správnou funkci stroje v průběhu řezání, je také hodnota E pack. Je to kompletní balík technologických parametrů, potřebný již při programování. Obsahuje spoustu parametrů, které jsou definovány výrobcem a liší se v závislosti na druhu obráběného materiálu a jeho tloušťce, použitém materiálu a průměru drátu. Hodnota je tedy striktně

daná výrobcem stroje a je dostupná z tabulek, které jsou součástí stroje. Příklad tabulky je součástí jako příloha 2. Během školení nám také bylo doporučeno, že hodnotu IP, která je obsažena v balíku E pack, je vhodné při nájezdu a během zařezávání drátu do materiálu snížit tak o dvě jednotky. Tím hrozí menší riziko přetržení drátu během nájezdu do materiálu. Jakmile je drát zařezán celým průměrem v materiálu, je možné hodnotu IP zvýšit zpět na původní hodnotu. Tím se výrazně ovlivňuje rychlost řezání. V praxi bylo také odzkoušeno, že hodnota IP během plynulého řezu může být maximálně 7 až 8, protože i když tabulkově měla být hodnota vyšší, při překročení hodnoty IP 8 docházelo často k přetržení drátu. Do hodnoty IP 8 se to stávalo pouze velmi ojediněle.

Hodnota řezné rychlosti kolísá podle aktuální situace, v závislosti právě na hodnotách IP a celkově na hodnotě E pack a tloušťce materiálu. Rychlost posuvu je řízena funkcí M90 adaptivního řízení, což opět pomáhá jako ochrana proti přetržení drátu během plynulého řezu. V případě potřeby může být adaptivní řízení vypnuto ručně i během chodu programu a rychlost posuvu nastavena na pevnou hodnotu. Reálné hodnoty řezné rychlosti byly v rozmezí (1,5 až 3,5) $mm \cdot min^{-1}$ během řezání slinutého karbidu tloušťky 2 mm.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Stroj Mitsubishi SX10 bude v podmínkách firmy Vydona pracovat zatím v jednosměnném provozu, plánováno je pozdější rozšíření na dvě směny. Je tedy nutné stanovit hodinovou sazbu tohoto stroje. Odpisová doba bude 6 let. Všechny ceny jsou uvedeny bez DPH.

5.1 Výpočet hodinové sazby pro jednosměnný provoz stroje

5.1.1 Náklady na pořízení a zprovoznění stroje N_{CI}

- Pořizovací cena použitého stroje P_{C1} = 750000 Kč
- Doprava a instalace stroje P_{C2} = 25000 Kč
- Stěhování a zprovoznění stroje P_{C3} = 10440 Kč
- Servisní zásah P_{C4} = 18890 Kč
- Čistící prostředek při montáži P_{C5} = 1800 Kč
- Dvou denní zaškolení pracovníků P_{C6} = 10000 Kč
- Filtrační jednotka pro HW P_{C7} = 30000 Kč
- Směnnost s = 1
- Počet pracovních dní za rok n_{d1} = 253 dní
- Počet pracovních hodin za rok n_{h1} = 2024 hod
- Odpisová doba O_d = 6 let
- Náklady na technickou přípravu a organizaci výroby včetně zisku N_z = 50 %

$$N_{CI} = \frac{\sum_{i=1}^{n=7} P_{Ci}}{O_d \cdot n_{h1}} = \frac{P_{C1} + P_{C2} + P_{C3} + P_{C4} + P_{C5} + P_{C6} + P_{C7}}{O_d \cdot n_{h1}} \tag{5.1}$$

$$N_{CI} = \underline{\underline{69{,}7 Kč \cdot hod^{-1}}}$$

5.1.2 Náklady na doplňkové vybavení stroje N_{DI}

- Nerezové přípravky a šrouby P_{D1} = 18000 Kč
- Sada nářadí pro obsluhu P_{D2} = 1200 Kč
- EdgeCAM software pro drátové řezání P_{D3} = 53320 Kč
- Postprocesor pro stroj P_{D4} = 18000 Kč
- Stěrka na vodu 2ks P_{D5} = 70 Kč·rok^{-1}
- Textilie k utírání a čištění P_{D6} = 100 Kč·rok^{-1}

$$N_{DI} = \frac{\sum_{i=1}^{n=4} P_{Di}}{O_d \cdot n_{h1}} + \frac{\sum_{i=5}^{n=6} P_{Di}}{n_{h1}} = \frac{P_{D1} + P_{D2} + P_{D3} + P_{D4}}{O_d \cdot n_{h1}} + s \cdot \frac{P_{D5} + P_{D6}}{n_{h1}} \tag{5.2}$$

$$N_{DI} = \underline{\underline{7{,}5 Kč \cdot hod^{-1}}}$$

5.1.3 Náklady na provoz stroje N_{PI}

- Příkon stroje P_{P1} = 13,5 kWh
- Spotřeba stlačeného vzduchu P_{P2} = 2,5 m^3·hod^{-1}
- Osvětlení stroje zářivkami P_{P3} = 0,16 kWh
- Teplo pro vytápění P_{P4} = 3000 Kč·rok^{-1}
- Spotřeba destilované vody P_{P5} = 450 l·rok^{-1}
- Výměna filtru 2ks P_{P6} = 820 Kč·rok^{-1}
- Spotřeba drátu P_{P7} = 0,2 kg·hod^{-1}
- Cena elektřiny C_e = 5 Kč·kWh^{-1}
- Cena stlačeného vzduchu C_{vz} = 4 Kč·m^{-3}
- Cena destilované vody C_v = 3 Kč·l^{-1}
- Cena nákupu mosazného drátu C_d = 260 Kč·kg^{-1}
- Cena výkupu mosazného drátu C_p = 30 Kč·kg^{-1}

$$N_{PI} = P_{P1} \cdot C_e + P_{P2} \cdot C_{vz} + P_{P3} \cdot C_e + P_{P7} \cdot C_d + \frac{P_{P4} + s \cdot (P_{P5} \cdot C_v + P_{P6})}{n_{h1}} - P_{P7} \cdot C_p \tag{5.3}$$

$$N_{PI} = \underline{\underline{126{,}9 Kč \cdot hod^{-1}}}$$

5.1.4 Náklady na obsluhu stroje N_{OI}

- Super hrubá mzda pracovníka P_{O1} = 243600 Kč· rok^{-1}
- Ošacení pracovníka P_{O2} = 500 Kč· rok^{-1}
- Pracovní obuv P_{O3} = 500 Kč· rok^{-1}

$$N_{OI} = \frac{s \cdot (P_{O1} + P_{O2} + P_{O3})}{n_{h1}} \tag{5.4}$$

$$N_{OI} = \underline{\underline{120{,}9 Kč \cdot hod^{-1}}}$$

5.1.5 Celkové náklady na provoz stroje N_{CelkI}

$$N_{CelkI} = N_{CI} + N_{DI} + N_{PI} + N_{OI} \tag{5.5}$$

$$N_{CelkI} = \underline{\underline{325 Kč \cdot hod^{-1}}}$$

5.1.6 Výsledná hodinová sazba včetně zisku H_{SI}

$$H_{SI} = \frac{1}{1 - \frac{N_Z}{100}} \cdot N_{CelkI} \tag{5.6}$$

$$H_{SI} = \underline{\underline{650 Kč \cdot hod^{-1}}}$$

5.2 Výpočet hodinové sazby pro dvousměnný provoz stroje

5.2.1 Náklady na pořízení a zprovoznění stroje N_{CII}

- Směnnost s = 2
- Počet pracovních dní za rok n_{d1} = 253 dní
- Počet pracovních hodin za rok n_{h2} = 4048 hod

$$N_{CII} = \frac{\sum_{i=1}^{n=7} P_{Ci}}{O_d \cdot n_{h2}} = \frac{P_{C1} + P_{C2} + P_{C3} + P_{C4} + P_{C5} + P_{C6} + P_{C7}}{O_d \cdot n_{h2}} \tag{5.7}$$

$$N_{CII} = \underline{\underline{34{,}8 Kč \cdot hod^{-1}}}$$

5.2.2 Náklady na doplňkové vybavení stroje N_{DII}

$$N_{DII} = \frac{\sum_{i=1}^{n=4} P_{Di}}{O_d \cdot n_{h2}} + \frac{\sum_{i=5}^{n=6} P_{Di}}{n_{h2}} = \frac{P_{D1} + P_{D2} + P_{D3} + P_{D4}}{O_d \cdot n_{h2}} + s \cdot \frac{P_{D5} + P_{D6}}{n_{h2}} \tag{5.8}$$

$$N_{DII} = \underline{\underline{7{,}5 Kč \cdot hod^{-1}}}$$

5.2.3 Náklady na provoz stroje N_{PII}

$$N_{PII} = P_{P1} \cdot C_e + P_{P2} \cdot C_{vz} + P_{P3} \cdot C_e + P_{P7} \cdot C_d + \frac{P_{P4} + s \cdot (P_{P5} \cdot C_v + P_{P6})}{n_{h2}} - P_{P7} \cdot C_p \tag{5.9}$$

$$N_{PII} = \underline{\underline{126{,}1 Kč \cdot hod^{-1}}}$$

5.2.4 Náklady na obsluhu stroje N_{OII}

$$N_{OII} = \frac{s \cdot (P_{O1} + P_{O2} + P_{O3})}{n_{h2}} \tag{5.10}$$

$$N_{OII} = \underline{\underline{120{,}9 Kč \cdot hod^{-1}}}$$

5.2.5 Celkové náklady na provoz stroje N_{CelkII}

$$N_{CelkII} = N_{CII} + N_{DII} + N_{PII} + N_{OII} \tag{5.11}$$

$$N_{CelkII} = \underline{\underline{289{,}3 Kč \cdot hod^{-1}}}$$

5.2.6 Výsledná hodinová sazba včetně zisku H_{SII}

$$H_{SII} = \frac{1}{1-\frac{N_Z}{100}} \cdot N_{CelkII} \tag{5.12}$$

$$H_{SII} = 578{,}6 Kč \cdot hod^{-1} \Rightarrow \underline{\underline{580 Kč \cdot hod^{-1}}}$$

5.3 Hodinové sazby ostatních strojů

5.3.1 Přehled konvenčního strojního parku

Tab. 5.1 Hodinové sazby konvenčních strojů firmy Vydona (7)

Název a typ stroje	k_i [ks]	H_{Si} [Kč·hod^{-1}]
Grifo RPC4 – profilová bruska	2	600
BN 102 – bruska na čelo a boky	2	500
Generátor GV22 – páječka	1	500
BUA 28 – bruska na díry	1	500
BPH 300 – bruska na plocho	1	600
FA3U – frézka vertikální	1	500
FA4H – frézka horizontální	3	500
R5 – revolverový soustruh	1	500
SV18 – soustruh	1	500
Schenk – dynamická vyvažovačka	1	700
Zoller Smile 300 – optický profil projektor	1	500

5.3.2 Průměrná hodinová sazba pro CNC stroje H_{Spr1}

$$H_{Spr1} = \frac{1}{n_1} \cdot \sum_{i=1}^{n=n_1} (k_i \cdot H_{Si}) \tag{5.13}$$

$$H_{Spr1} = \underline{\underline{533{,}3 Kč \cdot hod^{-1}}}$$

5.3.3 Přehled CNC strojního parku

Tab. 5.2 Hodinové sazby CNC strojů firmy Vydona (7)

Název a typ stroje	k_i [ks]	H_{Si} [Kč·hod^{-1}]
Saacke – 5-osá bruska	1	1300
Weinig – profilová bruska	1	600
Vollmer QM – elektroerozivní brousící centrum	1	2500
Deckel Maho DMU 50 – 5-osá frézka	1	1000
SPT 16 – soustruh	1	600
Metabo – 3-osá gravírovací frézka	1	500

5.3.4 Průměrná hodinová sazba pro CNC stroje H_{Spr2}

$$H_{Spr2} = \frac{1}{n_2} \cdot \sum_{i=1}^{n=n_2} (k_i \cdot H_{Si}) \tag{5.14}$$

$$H_{Spr2} = \underline{\underline{1083{,}3 Kč \cdot hod^{-1}}}$$

5.4 Zhodnocení ceny hodinové sazby

V současných podmínkách je možné stroj používat pouze v jednosměnném provozu, z důvodu absence obsluhy pro směnu druhou. Tím je současná vypočtená hodinová sazba stroje stanovena na 650 Kč·hod^{-1}. Na této ceně mají největší podíl náklady na provoz stroje, významnou roli hraje i pořizovací cena stroje. V případě rozšíření provozu na dvě směny, je možné rozpočítat náklady související s pořízením stroje na větší počet hodin ročně. Tím dojde k celkovému snížení nákladů a výsledná hodinová sazba by se mohla snížit na 580 Kč·hod^{-1} nebo při zachování ceny z výpočtu pro jednosměnný provoz, se urychlí návratnost investice do stroje. Ceny strojů jsou stanoveny s ohledem na zakázkovou a kusovou výrobu, která tvoří drtinou většinu produkce.

Vypočítaná cena 650 Kč·hod^{-1} na stroji Mitsubishi SX10 je v porovnání s průměrnou cenou za cnc stroj ve firmě Vydona nižší, tím se nám bude průměrná cena snižovat. Nejvíce je to způsobeno nízkou pořizovací cenou použitého stroje, v porovnání s nákupní cenou nového stroje.

ZÁVĚR

Byly zpracovány všechny body zadání, včetně praktické realizace řezání konkrétního dílce.

Po zpracování teoretických bodů zadání, bylo provedeno vyřezání polotovaru destičky ze slinutého karbidu, které je detailně popsáno v bodě 4.

Pomocí software EdgeCAM byl sestaven program pro řezání. Jako jediný limitující prvek se projevila hodnota napěťového nastavení IP, kdy docházelo při překroční hodnoty IP 8 k přetržení drátu. A to i za předpokladu, že dle tabulek měla být výsledná hodnota vyšší než 8. Ostatní hodnoty nastavení, týkající se poloměrové korekce a celkových technologických parametrů, byly zvoleny dle tabulek výrobce. Všechny tyto hodnoty tedy ovlivňovaly rychlost řezu. Ta kolísala mezi hodnotami (1,5 až 3,5) $mm \cdot min^{-1}$ pro konkrétní obrobek. Stroj bude zatím využíván hlavně k vnitřním potřebám pro výrobu polotovarů. Pokud bude volná kapacita, je možné použití i pro externí kooperace.

Z technicko-ekonomického hlediska byla stanovena cena hodinové sazby stroje. Započteny byly všechny náklady spojené s pořízením, provozem a údržbou. Výhodou je nižší pořizovací cena stroje, vzhledem k tomu že byl zakoupen jako použitý. Nižší pořizovací cena se kladně projevila v ceně hodiny na stroji, která byla výpočty stanovena na 650 $Kč \cdot hod^{-1}$ při jednosměnném provozu. Nevýhodou byly delší vedlejší časy spojené např. s automatickým navlékání drátu nebo napouštění a vypouštění pracovní nádrže. Což také zásadně ovlivňuje i rychlost práce na stroji, z pohledu celé zakázky. Ukázalo se že hlavně proces navlékání drátu je mnohonásobně pomalejší v porovnání s novějšími stroji.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MAŇKOVÁ, Ildikó. *Pogresívné technologie : Advanced methods of material removal*. Košice : Vienala, 1999. 275 s. ISBN 80-7099-430-4.
2. ASM. *Metals Handbook – Machining*. Vol. 6, ASM International, Březen 1997. 9.ed.
3. SPUR, G. a APPEL, S. Wire EDM cutting of PCD. Industrial Diamond Review , Duben 1997. s. 124-130.
4. HUMÁR, Anton. Technologie I, Technologie obrábění – 3.část [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru "Strojírenská technologie" BS studijního programu "Strojírenství". VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005. 57 s. Dostupné na World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf>
5. ČESKÁ STÁTNÍ NORMA. *Nástroje na obrábění dřeva – Bezpečnostní požadavky – Část 1: Frézovací nástroje a pilové kotouče ČSN EN 847-1.* Praha: Český normalizační institut, Říjen 1998. 40 s.
6. *Katalog frézovacích nástrojů*. VYDONA s. r. o. Česká republika. 2007.
7. *Interní firemní materiály*. VYDONA s. r. o. Česká republika. 2008.
8. HUSENICA, Petr. Frézovací nástroje v praxi. *2. Seminář cyklu dřevořezné nástroje – „Nástroje na frézování dřeva“.* Fakulta lesnická a dřevařská, Mendlova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 17. února 2005.
9. *Mitsubishi wire-cut EDM systems SX series*. Mitsubishi electric corporation. 1994.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
Ag		Stříbro – zkratka dle periodické soustavy pvků
CAM		Computer aided manufacturing
CNC		Computer numerical control
DP		Polykrystalický diamant
E pack		Kompletní balík pro nastavení technologických parametrů při elektroerozivním řezání pro stroj Mitsubishi SX10
EDG		Elektroerozivní broušení (electrical discharge grinding)
EDM		Elektroerozivní obrábění nebo hloubení (electrical discharge machining)
HC		Povlakovaný slinutý karbid
HDF		Vysoce zhuštěná dřevovláknitá deska
HL		Vysokolegovaná nástrojová ocel obsahující více než 5 % obsahu legujících prvků, např. 12 % Cr
HS		Rychlořezná ocel obsahující celkově víc než 12 % obsahu legujících prvků W, Mo, V, Co
HW		Nepovlakovaný slinutý karbid na bázi karbidu wolframu
IP		Napěťové nastavení
MDF		Středně zhuštěná dřevovláknitá deska
PKD		Polykrystalický diamant
SP		Legovaná nástrojová ocel obsahující nejméně 0,6 % C a méně než 5 % legujících prvků

WEDM		Elektroerozivní drátové řezání (wire electrical discharge machining)
dwg		Počítačová přípona elektronických výkresů
s		Směnnost
C_d	$Kč \cdot kg^{-1}$	Cena nákupu mosazného drátu
C_e	$Kč \cdot kWh^{-1}$	Cena elektřiny
C_p	$Kč \cdot kg^{-1}$	Cena výkupu mosazného drátu
C_v	$Kč \cdot l^{-1}$	Cena destilované vody
C_{vz}	$Kč \cdot m^{-3}$	Cena stlačeného vzduchu
F	$mm \cdot min^{-1}$	Řezná rychlost
H1	mm	Poloměrová korekce pro řezání
H_{si}	$Kč \cdot hod^{-1}$	Hodinová sazba stroje
H_{SI}	$Kč \cdot hod^{-1}$	Výsledná hodinová sazba stroje včetně zisku pro jednosměnný provoz
H_{SII}	$Kč \cdot hod^{-1}$	Výsledná hodinová sazba stroje včetně zisku pro dvousměnný provoz
H_{Spr1}	$Kč \cdot hod^{-1}$	Průměrná hodinová sazba konvenčního stroje ve firmě Vydona
H_{Spr2}	$Kč \cdot hod^{-1}$	Průměrná hodinová sazba cnc stroje ve firmě Vydona
N_{CelkI}	$Kč \cdot hod^{-1}$	Celkové náklady na provoz stroje pro jednosměnný provoz
N_{CelkII}	$Kč \cdot hod^{-1}$	Celkové náklady na provoz stroje pro dvousměnný provoz
N_{CI}	$Kč \cdot hod^{-1}$	Náklady na pořízení a zprovoznění stroje pro jednosměnný provoz
N_{CII}	$Kč \cdot hod^{-1}$	Náklady na pořízení a zprovoznění stroje pro dvousměnný provoz
N_{DI}	$Kč \cdot hod^{-1}$	Náklady na doplňkové vybavení stroje pro jednosměnný provoz

N_{DII}	Kč·hod^{-1}	Náklady na doplňkové vybavení stroje pro dvousměnný provoz
N_{OI}	Kč·hod^{-1}	Náklady na obsluhu stroje pro jednosměnný provoz
N_{OII}	Kč·hod^{-1}	Náklady na obsluhu stroje pro dvousměnný provoz
N_{PI}	Kč·hod^{-1}	Náklady na provoz stroje pro jednosměnný provoz
N_{PII}	Kč·hod^{-1}	Náklady na provoz stroje pro dvousměnný provoz
O_d	rok	Odpisová doba stroje
P_{C1}	Kč	Pořizovací cena použitého stroje
P_{C2}	Kč	Doprava a instalace stroje
P_{C3}	Kč	Stěhování a zprovoznění stroje
P_{C4}	Kč	Servisní zásah
P_{C5}	Kč	Čistící prostředek při montáži
P_{C6}	Kč	Dvou denní zaškolení pracovníků
P_{C7}	Kč	Filtrační jednotka pro HW
P_{D1}	Kč	Cena za nerezové přípravky a šrouby
P_{D2}	Kč	Cena za sadu nářadí pro obsluhu
P_{D3}	Kč	Cena za software EdgeCAM pro drátové řezání
P_{D4}	Kč	Cena za postprocesor pro stroj
P_{D5}	Kč·rok^{-1}	Cena za stěrky na vodu
P_{D6}	Kč·rok^{-1}	Cena za textilie k utírání a čištění
P_{O1}	Kč·rok^{-1}	Mzda pracovníka
P_{O2}	Kč·rok^{-1}	Náklady na ošacení pracovníka
P_{O3}	Kč·rok^{-1}	Náklady na pracovní obuv
P_{P1}	kWh	Příkon stroje
P_{P2}	m^3·hod^{-1}	Spotřeba stlačeného vzduchu
P_{P3}	kWh	Osvětlení stroje zářivkami
P_{P4}	Kč·rok^{-1}	Teplo pro vytápění

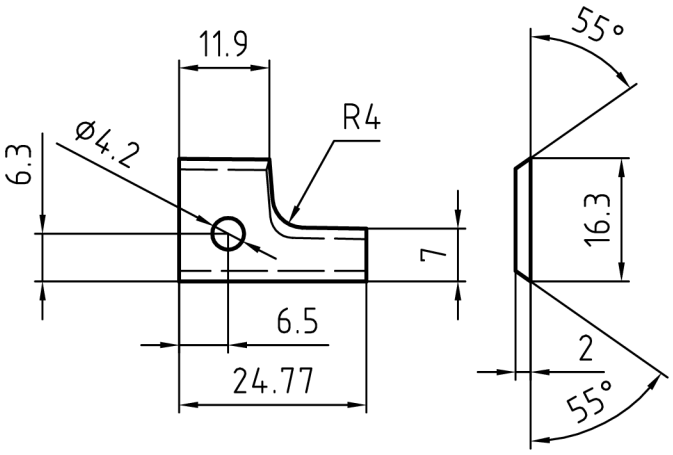
P_{P5}	$l \cdot rok^{-1}$	Spotřeba destilované vody
P_{P6}	$Kč \cdot rok^{-1}$	Cena za spotřebu papírových filtrů
P_{P7}	$kg \cdot hod^{-1}$	Spotřeba drátu
Ra	μm	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
z	%	Náklady na technickou přípravu a organizaci výroby včetně zisku
k_i	ks	Počet strojů
n_1	ks	Celkový počet konvenčních strojů
n_2	ks	Celkový počet cnc strojů
n_{d1}	den	Počet pracovních dní za rok pro jednosměnný provoz
n_{d2}	den	Počet pracovních dní za rok pro dvousměnný provoz
n_{h1}	hod	Počet pracovních hodin za rok
Δ	mm	Vzdálenost elektrod

SEZNAM PŘÍLOH

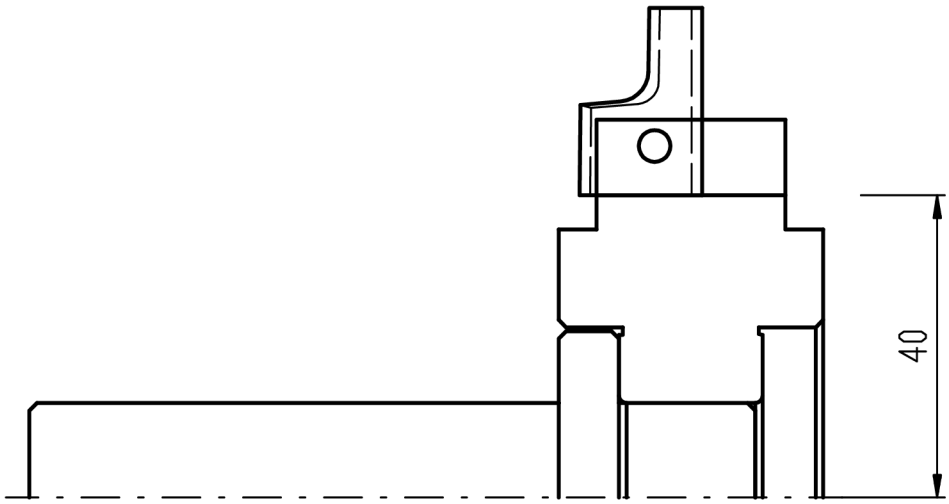
Příloha 1 Tabulka nastavení technologických parametrů pro řezání
Příloha 2 Výkres břitové destičky SMER07008
Příloha 3 Soupis přípravných funkcí G kódů pro programování (I. část)
Příloha 4 Soupis přípravných funkcí G kódů pro programování (II. část)
Příloha 5 Soupis smíšených funkcí M kódů pro programování (I. část)
Příloha 6 Soupis smíšených funkcí M kódů pro programování (II. část)

Wire electrode	Workpiece	Plate thickness (mm)
φ0.25 Brass	Tungsten Carbide	5

Comment	With 3rd Cut Jig			FS, With 5th Cut Jig				
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	4th	5th
E pack NO.	803	1410	1411	803	1410	1411	1413	1414
V0 (Notch)	4	4	7	4	4	7	16	14
IP (Notch)	7	4	2	7	4	2	1	1
OFF (Notch)	1	1	14	1	1	14	1	1
SA (Notch)	3	2	2	3	2	2	1	1
SB (Notch)	8	16	3	8	16	3	1	1
WS (Notch)	12	10	10	12	10	10	10	10
WT (Notch)	11	13	13	11	13	13	13	13
PT (Notch)	14	14	14	14	14	14	14	14
LQ (Notch)	2	1	1	2	1	1	1	1
LR (Notch)	9	9	9	9	9	9	9	9
VG (V)	42 40~44	59 54~64	50 45~55	42 40~44	59 54~64	50 45~55	35 30~40	30 25~35
SC (Notch)	1	1	1	1	1	1	1	1
FS (Notch)	1	1	1	1	1	1	3	3
AE (Notch)	11	11	11	11	11	11	11	11
SE (Notch)	1	1	1	1	1	1	1	1
FA (mm/min)	5.4	4.0	3.0	5.4	4.0	3.0	2.5	2.5
FC (mm/min)	3.9~5.3	4.0~8.0	6.0~7.0	3.9~5.3	4.0~8.0	6.0~7.0	5.0~6.0	5.0~6.0
Offset (μm)	195	145	130	203	153	138	133	130
Surface roughness (μmRmax)			3~4					0.8~1.2



RADIÁLNÍ ÚHEL ČELA : 0°
AXIÁLNÍ ÚHEL ČELA : 0°
RADIÁLNÍ ÚHEL HŘBETU : 05°
AXIÁLNÍ ÚHEL HŘBETU : 35°



Code 00490	Poznámka CTBL ST21-40x20,5x2 – 301076			Netolerované rozměry dle ISO 2768-f	
Řezná destička HW-KCR08	Polotovar těla	Rozměr těla	Kreslil Vančura St.	Datum 05.01.2007	Měřítko 1:1
VYDONA s.r.o. Pravčice 244, 768 24 HULÍN CZ tel: +420 573 351 458, fax: +420 573 350 105 e-mail: info@vydona.cz	NOŽÍK VNITŘNÍ R4				
	Příloha 2 – SMER07008			Zákazník DVÍŘKA – ŠMERDA	

Příloha 3

"Path" kódu G	Skupina	Funkce
G00	A	Vysokorychlostní polohování
G01	A*	Interpolace přímky
G02	A	Interpolace kružnice CW/interpolace spirály CW/ R specifikovaná interpolace kružnice CW
G02.1	A	Interpolace spirály (CW)
G03	A	Interpolace kružnice CCW/interpolace spirály CCW / specifikovaná interpolace kružnice CCW
G03.1	A	Interpolace spirály (CCW)
G04	**1	Prodleva
G05	**1	Pootáčení souřadnic (specifikace středu pootáčení souřadnic)
G06	**1	Zrušení pootáčení souřadnic
G14	**1	Záznam současné hodnoty
G22	D	Vyvolávání podprogramu/pootáčení obrazce
G23	D	Návrat z podprogramu/pootáčení obrazce
G27	**1	Ověřování nulového bodu
G28	**1	Automatický návrat na nulu paměťového typu
G29	**1	Automatické polohování k rovině hrany
G30	**1	Automatické polohování na střed
G40	E*	Zrušení korekce průměru drátu/zruš. úhlu úkosu
G41	E	Korekce průměru drátu (nalevo)
G42	E	Korekce průměru drátu (napravo)
G43	**1	Programové nast. rozměru korekce prům. drátu/nastav. rozměru odsazení soust. pracovn. souřadn.
G43.1	**1	Zápis časových údajů
G44	**1	Programový přenos rozměru korekce průměru drátu
G46	**3	Funkce mikrospoje
G48	**1	Automatický návrat na nulový bod (2.,3,4.) paměťového typu
G50	**1	Zrušení zvětš. obrazce (specif. středu měřítka)
G50.1	**1	Zrušení zrcadl. obrazu (nastav. středu zrcadl. obrazu) příkazem G
G51	**1	Nastav. zvětšení obrazce (specif. středu měřítka
G51.1	**1	Nastav. zrcadl. obrazu (nastav. středu zrcadl. obrazu) příkazem G
G52	**2	Nastavování soustavy lokálních souřadnic
G53	F	Volba soustavy souřadnic stroje
G54	F*	Volba soustavy souřadnic obrobku G54
G54.1	F	Volba soustavy souřadnic obrobku W00 až W99
G55	F	Volba soustavy souřadnic obrobku G55
G56	F	Volba soustavy souřadnic obrobku G56
G57	F	Volba soustavy souřadnic obrobku G57
G58	F	Volba soustavy souřadnic obrobku G58
G59	F	Volba soustavy souřadnic obrobku G59

Příloha 4

"Path" kódu G	Sku-pina	Funkce
G60	**1	Návrat na nulový bod zarážkového typu
G62	**1	Zrcadlový obraz příkazem G
G63	**1	Softwarové vymezení posuvu zapnuto
G64	**1	Softwarové vymezení posuvu vypnuto
G65	D	Prosté vyvolávání maker
G66	D	Modální přístup k makrům A
G66.1	**1	Modální přístup k makrům B
G69	**3	Zrušení kontroly chyby koncového bodu kružnice
G70	G	Příkaz měrové jednotky v palcích
G71	G*	Příkaz měrové jednotky v mm
G78	**1	Automatické vertikální vyrovnání (ukolmení)
G87	B	Identický horní/dolní radius
G88	B	Režim zaoblování rohu R
G89	B*	Režim výpočtu bodu průniku
G90	H	Příkaz absolutní hodnoty
G92	H*	Přednastování nulového bodu
G97	**1	Zaměna os X,Y
G101	J	$a = b$
G102	J	$a = b + c$
G103	J	$a = b - c$
G104	J	$a = b * c$
G105	J	$a = b / c$
G106	J	$a = \sqrt{(a^2+b^2)}$
G107	J	$a = b * \sin C$
G108	J	$a = b * \cos C$
G109	J	$a = \tan^{-1} b/c$
G110	J	$a = \sqrt{(a^2-b^2)}$
G111	J	Výpočet středu pomocí 3 bodů
G200	J	Nepodmínkové větvení
G201	J	Nulová hodnota podmínky větvení
G202	J	Záporná hodnota podmínky větvení
G203	J	Bitový test

Příloha 5

Kód M	Název	Funkce
M00	Zastavení programu	Zastavuje automatický provoz
M01	Volitelné zastav.	Totéž jako výše, aktivní pouze při ZAPNUTÍ spínače *OPTIONAL*.
M02	Konec programu	Ukončuje automatický provoz a resetuje.
M20	Návlek drátu	Návlek drátu autom. navlékačem
M21	Přestřih drátu	Přestřih drátu autom. navlek.
M22	Zkouška návleku	Pojíždí vodící trubičkou automat. navlékače dolů a nahoru.
M23	Návrat do základní polohy	Nastavuje vodící trubičku autom. navlék. do základn.polohy
M30	Konec programu	Ukončuje autom. provoz, vrací program a resetuje.
M46	Korekce start. otvoru 1	Slouží k obrábění matric a zajišťuje zpětný korekční posuv.
M47	Korekce start. otvoru 2	Slouží k obrábění matric a provádí korekční posuv. (načítá korekci z vyhodnocení)
M48	Korekce start. otvoru 3	Slouží k obrábění razníků a provádí korekční posuv.
M49	Korekce start. otvoru 4	Slouží k obrábění razníků a načítá vyhodnocení korekce.
M52	Odnímání odřezků ZAPNUTO	Slouži k autom. odstraňování odřezků.
M53	Výměna obrobků ZAPNUTO	Slouží k autom. výměně obrobků.
M58	Nastavení hladiny kapaliny NÍZKO	Udržuje hladinu kapaliny pod úrovní stolu.
M59	Nastavení hladiny kapaliny VYSOKO	Udržuje hladinu kapaliny nad úrovní stolu.
M60	Výstup vnějších signálů 1 ZAPNUT	ZAPÍNÁ terminál 1 externích výstupů řídící jednotky.
M61	Výstup vnějších signálů 1 VYPNUT	VYPÍNÁ terminál 1 externích výstupů řídící jednotky.

Příloha 6

Kód M	Název	Funkce
M62	Výstup vnějších signálů 2 ZAPNUT	ZAPÍNÁ terminál 2 externích výstupů řídící jednotky.
M63	Výstup vnějších signálů 2 VYPNUT	VYPÍNÁ terminál 2 externích výstupů řídící jednotky.
M64	Výstup vnějších signálů 3 ZAPNUT	ZAPÍNÁ terminál 3 externích výstupů řídící jednotky.
M65	Výstup vnějších signálů 3 VYPNUT	VYPÍNÁ terminál 3 externích výstupů řídící jednotky.
M66	Výstup vnějších signálů 4 ZAPNUT	ZAPÍNÁ terminál 4 externích výstupů řídící jednotky.
M67	Výstup vnějších signálů 4 VYPNUT	VYPÍNÁ terminál 4 externích výstupů řídící jednotky.
M68	Výstup vnějších signálů 5 ZAPNUT	ZAPÍNÁ terminál 5 externích výstupů řídící jednotky.
M69	Výstup vnějších signálů 4 VYPNUT	VYPÍNÁ terminál 5 externích výstupů řídící jednotky.
M74	Příprava dielektr. kapaliny ZAPNUTA	Zapíná přípravu dielektrické kapaliny.
M75	Příprava dielektr. kapaliny VYPNUTA	Vypíná přípravu dielektrické kapaliny.
M76	Cirkulace dielekt. kapaliny ZAPNUTA	Zapíná cirkulaci dielektrické kapaliny.
M77	Cirkulace dielekt. kapaliny VYPNUTA	Vypíná cirkulaci dielektr. kapaliny.
M78	Rychlé napouštění	Rychlé naplnění nádrže kapal.
M80	Dielektrikum ZAPN.	Dodává dielektr. kapalinu.
M81	Dielektrikum VYPN.	Zastavuje dielektr. kapalinu.
M82	Běh drátu ZAPNUT	Spouští dodávku drátu.
M83	Běh drátu VYPNUT	Zastavuje dodávku drátu.
M84	Obrábění ZAPNUTO	Zapíná dodávku proudu.
M85	Obrábění VYPNUTO	Vypíná dodávku proudu.
M88	Tok dielektr. +	Zvyšuje dodávku kapaliny.
M89	Tok dielektr. -	Snižuje dodávku kapaliny.
M90	Adaptivní řízení ZAPNUTO	Zapíná optimální posuv.
M91	Adaptivní řízení VYPNUTO	Vypíná optimální posuv.
M93	Celkové zastavení	Vypíná spínač provozu.
M101	Systém PM VYPNUT	Vypíná systém řízení PM.
M102	ZAPN. syst. PM pro rozdíl. podmínky	Zapíná systém řízení PM. a režim rozdílných podmínek.
M103	ZAPN. syst. PM pro optimální podmínky	Zapíná systém řízení PM a režim optimálních podmínek.
M105	ZAPN. syst. PM pro tenké obrobky	Zapíná systém řízení PM pro režim tenkých obrobků.