

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Racionalizace výroby matrice střížníku

Production Rationalization of Die Punch

Student:

Bc. Jiří Bocek

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Bocek**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie

Specializace: 20 Strojírenská technologie

Téma: **Racionalizace výroby matrice střížníku**
Production Rationalization of Die Punch

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Možnosti elektroerozivního obrábění.
3. Popis stávající technologie.
4. Návrh nové technologie.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

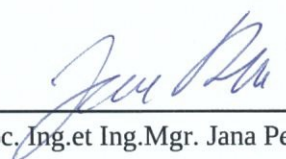
- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [4] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 5.5. 2017



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmů z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, který je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 5.5. 2017


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Jiří Bocek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Konská 362, Třinec, 739 61

Poděkování:

Za cenné rady, příspěvky a odborné vedení bych chtěl poděkovat doc. Ing. Robertu Čepovi, Ph.D. Dále bych chtěl poděkovat pracovníkovi nástrojárny obsluhujícího elektroerozivní stroje za poskytnutí materiálů, jeho ochotu, spolupráci a komunikaci při praktické studii racionalizaci výroby matrice střížníku.

V neposlední řadě bych také chtěl poděkovat mé přítelkyni za podporu a zázemí při studiu.

Anotace diplomové práce

BOCEK, J. *Racionalizace výroby matrice střížníku: diplomová práce.*

Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2017 60s. Vedoucí práce: doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Práce byla zaměřena na racionalizaci výroby matrice střížníku, který je využíván při lisování. Tato matrice střížníku je umístěna v nástroji, který obsahuje několik takovýchto matic. Původně byla tato matrice z důvodu složitosti vyráběna na starším elektroerozivním stroji. Kvůli časté výměně těchto matic se klade důraz na zvýšení přesnosti a kvality s ohledem na udržení nebo snížení výrobních nákladů. Původní zastaralé stroje dosahovaly dostatečných přesností, ale při dosažení vyšší kvality a přesnosti dosáhneme zvýšení životnosti nástroje.

V teoretické části bude pozornost věnována podstatě a principu nekonvenčních principů obrábění, a to převážně elektroerozivnímu obrábění.

Praktická část diplomové práce bude zaměřena na volbu strojů, druhy řezných drátů, volbě optimálních podmínek pro nekonvenční obrábění a výsledné jakosti povrchu. Bude posuzován vliv volby stroje, řezných podmínek, technologií postupu na výslednou výrobu matrice.

V závěrečné části diplomové práce bude posuzováno technicko – ekonomické zhodnocení a vyhodnocení volby stroje na výrobu matrice střížníku.

Annotation of diploma thesis

BOCEK, J. *Production Rationalization of Die Punch: diploma thesis*

Ostrava: VŠB – Technical university Ostrava, Faculty of machine, Department of Machining and Assembly, 2017, 60p. Thesis head: doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

This thesis was focused on the production rationalization of Die Punch, which is used during the pressing. This matrix is placed in a punch tool which contains several of these matrices. Originally was this matrix manufactured on an older type of machine, because of the complexity of the process. The main emphasis, due to the frequent replacement of these matrices, was placed on increasing the accuracy and quality with regard to maintaining or reducing the cost of production. Original old machines achieved sufficient accuracy, but we are able to achieve a longer life service of a tool at a higher quality and accuracy. The work was focused on the rationalization of

production punch matrix, which is used during pressing. This matrix is placed in a punch tool that contains several such matrices. Originally the matrix, because of the complexity electro manufactured on older machines. Due to the frequent replacement of these matrices with emphasis on increasing the accuracy and quality with regard to maintaining or reducing production costs. Original obsolete machines achieve sufficient accuracy, but at a higher quality and accuracy achieved an increase in tool life.

The theoretical section will focus on the essence and principle of non-conventional machining, mostly elektroinvasive machining.

The practical part is focused on the choice of machine, types of cutting wires, the choice of optimal conditions for unconventional machining and the resulting surface finish. The influence of elections machines, cutting conditions, the technology of progress will be considered to the final production of the matrix.

In the final part of this thesis, the technical – economic evaluation and assessment of election machines of Die punch will be considered.

Obsah

1	Úvod diplomové práce	10
2	Seznam použitých značek a symbolů	11
3	Úvod do problematiky nekonvenčního obrábění	13
3.1	Charakteristika nekonvenčního obrábění	13
3.2	Rozdíly konvenčních a nekonvenčních technologií.....	13
3.3	Rozdělení nekonvenčních metod	14
4	Elektroerozivní obrábění EDM.....	14
4.1	Elektrický výboj mezi elektrodou a obrobkem	16
4.2	Výhody EDM	17
4.3	Nevýhody EDM	18
4.4	Dielektrikum	18
4.5	Nástrojové elektrody	19
4.6	Rozměry elektrod	20
4.7	Parametry obrobené plochy.....	21
4.8	Rozdělení EDM obrábění.....	24
5	Elektrojiskrové řezání drátovou elektrodou.....	25
5.1	Parametry metody	27
5.2	Použití metody	28
5.3	Výhody a nevýhody metody	28
5.4	Způsob navlékání drátu	28
6	Elektrojiskrové děrování.....	30
6.1	Parametry metody	30
7	Představení firmy Kovona System a.s.	31
8	Praktická část	32
8.1	Lisovací nástroj využívány v Kovona System a.s.....	32
8.2	Lis EBU 630 stag	34
8.3	Elektro jiskrová drátová řezačka EMOTEK EIR 005 B	34

8.4	Elektro jiskrová drátová řezačka FANUC ROBOCUT α -C600iA.....	35
8.5	Používané řezací dráty	36
8.6	Charakteristika matrice střížníku	37
8.7	Materiál matrice střížníku	37
9	Dnešní způsob výroby matrice střížníku	42
10	Návrh nové technologie výroby matrice střížníku.....	49
11	Srovnání obou technologií výroby matic střížníku	53
12	Technicko – ekonomické zhodnocení.....	55
13	Závěr	57
	Seznam příloh:	58
	Použitá literatura:	59

1 Úvod diplomové práce

Diplomová práce se zabývá technologií výroby matic střížníku pomocí nekonvenční metody nazývané elektrojiskrové obrábění.

Pod pojmem nekonvenční metody obrábění se označují metody obrábění, které se od klasického třískového obrábění liší zejména tím, že v podstatě nepoužívají mechanické práce pro úběr materiálu. [1]

Jedná se většinou o bezsilové působení na obráběný materiál, bez vzniku klasických třísek, které známe z obrábění reznými nástroji. [2]

Obrobitelnost u nekonvenčních metod je limitována převážně mechanickými vlastnostmi obráběného materiálu, mezi hlavní vlastnosti patří pevnost a tvrdost materiálu.

Pojmem nekonvenční metoda si lze představit hned něco zajímavého, nového. Ale není tomu tak, jelikož tyto metody jsou známy několik desítek let. Význam slova nekonvenční není už zdaleka tak přesný, jak tomu bývalo v minulosti. V dnešní době už je většina podniků schopna si takovéto technologie pořídit.

V současné době existuje nekonvenčních metod celá řada, ovšem každá tato metoda je specifická pro konkrétní druh výroby. Vzhledem ke specifickému způsobu úběru materiálu či dosažených kvalitativních vlastností jsou tyto metody omezeny.

Spektrum využití nekonvenčních metod je nižší než při použití konvenčních metod, zejména při použití technologií např. obrábění, frézování. Díky sníženému rozsahu využití je využití těchto metody mnohem dražší. Díky tomuto faktu vyplývá snaha snížit výrobní náklady a maximalizovat efektivitu využití této technologie.

Diplomová práce má za cíl porovnat výrobu matice střížníku pomocí metody WEDM. Hlavní porovnání této metody bude zaměřeno na porovnání využití staršího technologického stroje, pro elektrojiskrové obrábění, s modernějším a výkonnějším strojem. Hlavním parametrem pro porovnání bude sloužit výsledná jakost, kvalita, náročnost obsluhy a výrobní čas.

Pro racionalizaci výroby matic střížníku byla zvolena firma Kovona System a.s. Tato firma se zabývá převážně sériovou výrobou nábytku pro společnosti např. IKEA. Při sériové výrobě musí být kladen velký důraz na životnost a kvalitu nástroje. Některé druhy nástrojů vyráběné v dané firmě jsou tvarově velmi složité a pro třískové obrábění přímo nepoužitelné, proto jsou konstruktéři a technologové nuceni využít nekonvenční metody obrábění.

2 Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název	Jednotka
Ag	stříbro	
AIISI	americká organizace pro normalizaci	
AWT	automatické navlékání drátu	
CAD	počítačem podporovaný návrh	
CNC	počítačem číslicově řízený stroj	
Cr	chrom	
Cu	měď	
ČSN	česká organizace pro normalizaci	
DIN	německá organizace pro normalizaci	
ECM	elektrochemické obrábění	
EDM	elektroerozivní metody obrábění	
EN	evropská organizace pro normalizaci	
HB	tvrdost materiálu dle Brinella	
HRC	tvrdost materiálu dle Rockwella	
I	pracovní proud výboje	[A]
In	indium	
LBM	obrábění paprskem laseru	
PBM	obrábění paprskem plasmu	
Ra	aritmetická drsnost povrchu	[μm]
Rmax	požadovaná drsnost obrobeneého povrchu	[μm]
R _z	největší výška profilu	[μm]
Si ₃ N ₄	karbid nitridu	
SiC	karbid křemíku	

Sn	cín	
T	doba periody	[s]
TiN	titan nitrid	
USM	ultrazvukové obrábění	
U_z	zápalné napětí	[V]
VDI	stupnice kvality povrchu	[Ra]
W_i	energie výboje	[J]
WJM	obrábění paprskem vody	
Zr	zirkonium	
ZrB ₂	borid zirkonu	
K	měrná elektrická vodivost elektrolytu	$[\Omega^{-1} \cdot m^{-1}]$
t_d	doba zpoždění výboje	[s]
t_e	doba výboje	[s]
t_i	doba impulzu s	
t_o	doba pauzy s	
δ_{ER}	chyba vzniklá podstatou elektroeroze	[mm]
$\delta_{NÁST}$	chyba vzniklá při výrobě elektrody	[mm]
δ_{ST}	chyba deformace a nepřesnosti stroje	[mm]
δ_T	chyba vzniklá oteplením elektrod	[mm]

3 Úvod do problematiky nekonvenčního obrábění

3.1 Charakteristika nekonvenčního obrábění

U nekonvenčních metod se nepoužívá klasický řezný nástroj, u kterého lze definovat pracovní části nástroje, jako například čela, hřbet, břit, ostří atd. Netvoří se tříška v pravém slova smyslu, k úběru dochází tepelnými, chemickými, nebo mechanickými (převážně abrazivními) účinky, či jejich vzájemnou kombinací. [3]

Rozsah aplikace nekonvenčních metod obrábění je odezvou na vývoj a používání nových konstrukčních materiálů s vysokou pevností, tvrdostí a houževnatostí, materiálů odolných proti opotřebení apod., které nelze standardními metodami hospodárně obrábět (titanové slitiny, superslitiny, slinuté karbidy, keramika apod.). [4]

Mezi hlavní charakteristiky patří: [5]

- rychlost a výkonnost nezávisí na mechanických vlastnostech obráběného materiálu,
- materiál nástroje nemusí být tvrdší a pevnější než obráběný materiál,
- možnost obrábění složitých tvarů,
- možnost zavedení plné automatizace,
- možnost zvýšení technologičnosti konstrukce, sériovosti výroby a snížení pracnosti výroby,
- současně s výrobou dochází někdy k cílené změně vlastností povrchové vrstvy (odolnost proti korozi, pevnosti apod.).

3.2 Rozdíly konvenčních a nekonvenčních technologií

Tyto technologie byly rozvíjeny v posledních šedesáti letech 20. století.

Mezi vlastnosti konvenčního obrábění patří:

- materiál nástroje má být tvrdší než obráběný materiál obrobku,
- pro obrábění je použit zdroj energie, který se přeměňuje na jednoduchou mechanickou energii,
- při obrábění musí být využito určité množství energie na porušení molekulární soudržnosti materiálu.

Mezi vlastnosti nekonvenčního obrábění patří:

- obrábění je limitováno fyzikálními vlastnostmi obráběného materiálu, jako jsou tepelná vodivost, elektrická vodivost, teplota tavení, elektroerozivní odolnost apod.,
- při úběřů materiálu nevzniká řezný odpor, obrobky se nedeformují vlivem mechanického zatížení,
- odebírání materiálu dochází vlivem impulzů výboje, který odděluje částice materiálu na více pozicích a tak odchází méně tepla do obrobku.

3.3 Rozdělení nekonvenčních metod

Podle převládajících účinků oddělování materiálů se dělí na: [5]

a) Oddělování materiálu tepelným účinkem:

- Elektroerozivní metody obrábění (Elektro Discharge Machining – EDM),
- Obrábění paprskem plasmy (Plasma Beam Machining – PBM),
- Obrábění paprskem laseru (Laser Beam Machining – LBM).

b) Oddělování materiálu elektrochemickým nebo chemickým účinkem:

- Elektrochemické obrábění (Elektro Chemical Machining – ECM),
- Chemické obrábění (Chemical Machining – CM, CHM).

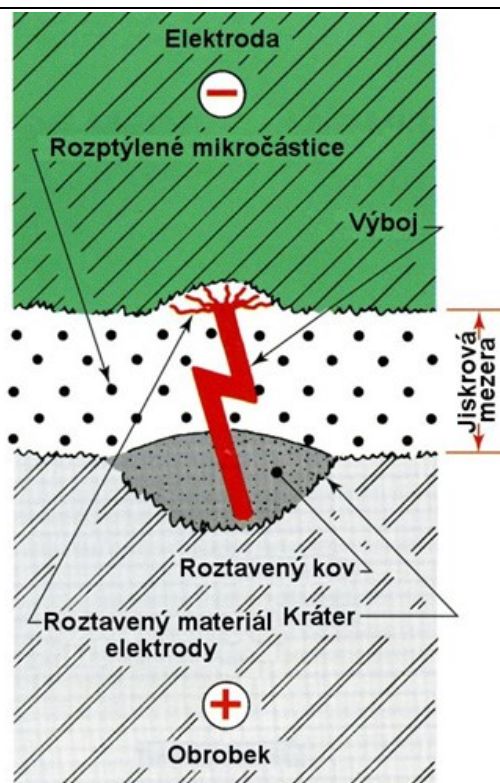
c) Oddělování materiálu mechanickým účinkem:

- Ultrazvukové obrábění (Ultrasonic Machining – USM),
- Obrábění paprskem vody (Water Jet Machining – WJM, Abrasive Water Jet Machining – AWJM).

Pro tyto technologie se používají CNC řízené stroje, které výrazně rozšiřují možnosti aplikace.

4 Elektroerozivní obrábění EDM

Zahrnuje řadu metod, jejichž charakteristickým znakem je, že úběr materiálu je vyvolán periodicky se opakujícími elektrickými výboji mezi nástrojem a obrobkem. Z obráběného materiálu jsou tavením a odpařováním oddělovány velmi malé částice, které jsou odplavovány dielektrickou kapalinou. Jedná se tedy o elektrickou erozi, jev založený na odebírání částic povrchových vrstev materiálů účinkem tepelného a tlakového působení elektrických výbojů. [5]



Obr. 1 Výboj mezi nástrojem a obrobkem [5]

Elektroerozivním obráběním lze opracovávat pouze elektricky vodivé materiály.

Elektroerozivnímu obrábění podléhají všechny elektricky vodivé materiály. Vhodným zapojením a volbou pracovních parametrů elektrického obvodu, lze dosáhnout dvou druhů výbojů [2]:

- a) oblouk, tj. stacionární výboj,
- b) jiskra, tj. nestacionární výboj.

Výboje probíhají mezi elektrodami ve vzdálenosti 5 až 100 mm, intenzita působení výboje závisí na elektrických parametrech výboje: [2]

- a) vzdálenosti mezi elektrodami,
- b) znečištění,
- c) vodivosti dielektrika.

Elektroerozivní obrábění se používá pro: hloubení dutin zápustek a forem, výrobu složitých tvarových povrchů, řezání drátovou elektrodou, leštění povrchů, výrobu malých otvorů (mikroděrování), elektrokontaktní obrábění. [2]

4.1 Elektrický výboj mezi elektrodou a obrobkem

Vznik elektrického výboje mezi elektrodou a obrobkem dělíme do devíti fází.

Mezi nástrojem a obrobkem dochází k elektrickým, popř. obloukovým výbojům.

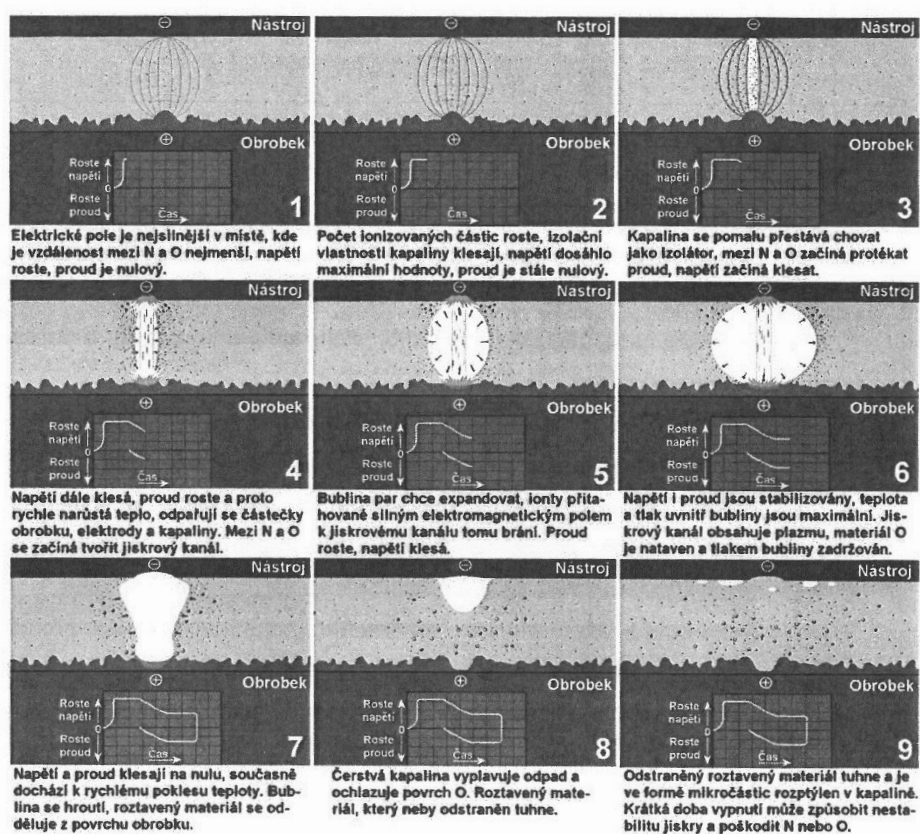
Velikost a tvar kráterů závisí na: [1]

- energii výboje,
- době trvání výboje.

Velikost kráterů má vliv na:

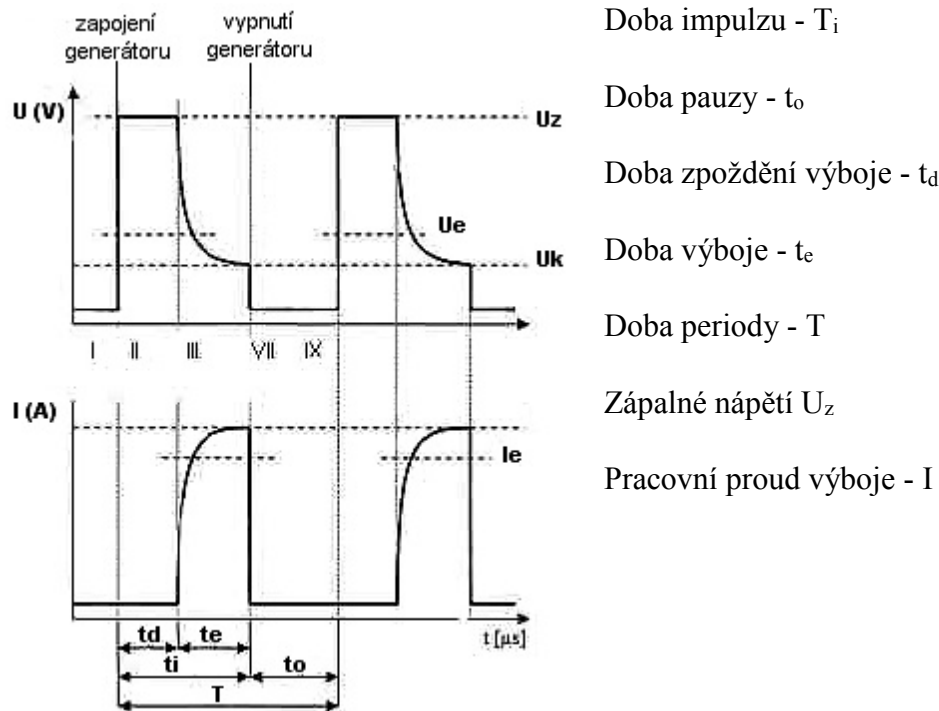
- účinnost procesu obrábění,
- jakost opracovaného povrchu,
- rozměrovou přesnost a stálost.

Fáze výbojů:



Obr. 2 Komplexní průběh výboje mezi nástrojem a obrobkem [1]

Časový průběh výboje:



Obr. 3 Časový průběh výboje [1]

Parametry metody – EDM

- napěťové impulzy $10 \div 300$ V,
- frekvence $0,2 \div 500$ kHz,
- koncentrace energie 10^5 až 10^7 W.mm⁻²,
- kráter velikosti $10^{-3} \div 10^{-5}$ mm³,
- měrná spotřeba energie $0,1 \div 1,0$ kWh. cm⁻³.

4.2 Výhody EDM

- obrábění problematických tvarů,
- snadná automatizace,
- přesnost obrábění v tisícinách milimetru,
- drsnost povrchu až $R_a 0,2$ μ m, možno nahradit broušení,
- velký rozsah pracovních parametrů,
- na obrobek nepůsobí žádné mechanické zatížení.

4.3 Nevýhody EDM

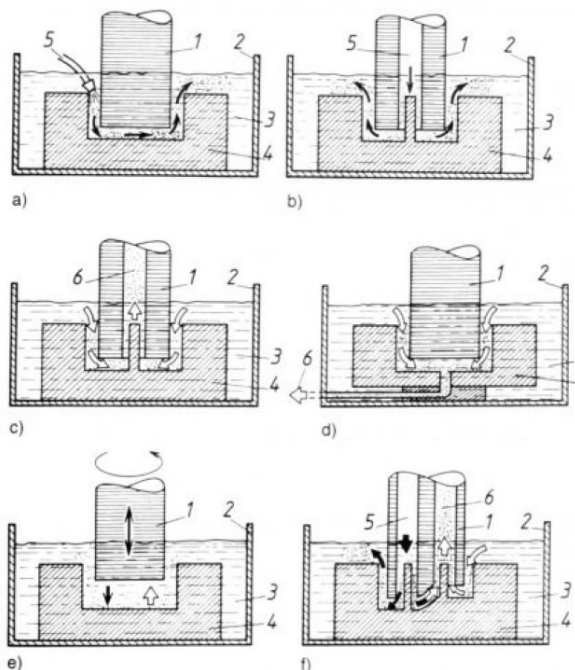
- v porovnání s běžným obráběním je úběr materiálu menší,
- potřeba dielektrika a ponořovací kádě,
- vysoká spotřeba energie,
- nízká produktivita při obrábění měkkých materiálu.

4.4 Dielektrikum

Jako dielektrika se používají strojní olej, transformátorový olej, petrolej, destilovaná voda, deionizovaná voda a speciální dielektrika dodávaná výrobcí strojů.

Přívod dielektrika mezi obrobek a nástrojovou elektrodu, tzv. vyplachování, je možné realizovat několika způsoby: [2]

- a) vnější vyplachování: nejčastěji se používá při obrábění dutin o větší hloubce; je vhodné použít jej v kombinaci s pulzním vyplachováním (viz dále),
- b) vnitřní tlakové vyplachování: dielektrikum je přiváděno otvorem v nástrojové elektrodě přímo do pracovního prostoru. Nevýhodou je menší tvarová přesnost boků vyráběné dutiny,
- c) vyplachování odsáváním: realizuje se odsáváním dielektrika dutinou v nástrojové elektrodě nebo v obrobku. Vyznačuje se velmi dobrou tvarovou přesností obráběné dutiny,
- d) pulzní vyplachování: je charakterizováno přerušením procesu elektroeroze na 0,15 až 10 s za současného oddálení nástrojové elektrody od obrobku o 0,02 až 10 mm, čímž se zvětší pracovní mezera mezi obrobkem a elektrodou, a dosáhne se tak jejího dokonalého vypláchnutí. Tento způsob vyplachování je výhodný při výrobě hlubokých dutin, při použití tenkých elektrod nebo při obrábění načisto. Moderní CNC řídicí systémy umožňují pulzní způsoby vyplachování naprogramovat,
- e) kombinované vyplachování: jedná se o kombinaci vnitřního tlakového vyplachování a odsávání, čímž lze dosáhnout přesných tvarů obráběné dutiny; používá se zejména při hloubení tvarově složitých dutin.



Obr. 4 Princip přívodu dielektrika mezi obrobek a nástrojovou elektrodu [2]

a) vnější, b) tlakové vnitřní, c), d) odsáváním, e) pulzní, f) kombinované
1 – nástrojová elektroda, 2 – pracovní vana, 3 – dielektrikum, 4 – obrobek, 5 – přívod dielektrika, 6 – odsávání dielektrika

4.5 Nástrojové elektrody

Jako nástroje se u elektroerozivního obrábění používají nástrojové elektrody, které jsou důležité z technického (určují přesnost rozměrů, jakost obrobené plochy a výkon obrábění) i ekonomického hlediska. Nástrojová elektroda se navrhuje a konstruuje pro každý případ obrábění samostatně. Náklady na její zhotovení činí až 50 % z celkových výrobních nákladů. [2]

Hlavní požadavky na nástrojové elektrody jsou:

- vysoká elektrická vodivost,
- vysoká odolnost proti tavení,
- dobrá obrobiteľnosť,
- pevnost elektrody (zamezení deformací při práci),
- dosažení co nejnižšího úběru nástroje při obrábění.

Materiály pro výrobu elektrod [2]

- **kovové:** elektrolytická měď, slitina wolframu a mědi, slitina wolframu a stříbra, ocel, slitina chromu a mědi, mosaz,

- **nekovové:** grafit,
- **kombinované:** kompozice grafitu a mědi.

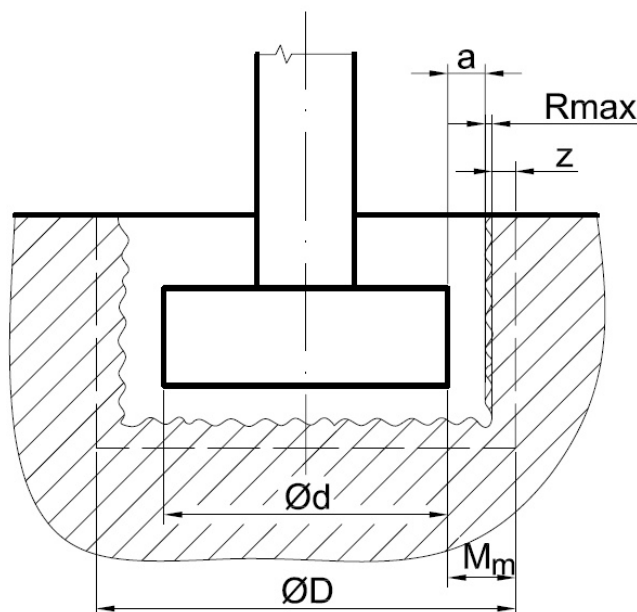
Mezi technologie pro výrobu těchto elektrod patří: obrábění, lisování, lití, prášková metalurgie, stříkání kovu.

4.6 Rozměry elektrod

Při stanovení rozměrů nástrojových elektrod se vychází:

- z požadovaného rozměru dutiny,
- z velikosti pracovní mezery, která je funkcí pracovních parametrů generátoru (volí se z podkladů dodávaných výrobcem strojů),
- z požadované drsnosti obrobeneho povrchu, která je funkcí pracovních parametrů generátoru a tvarové chyby vzniklé např. při hrubování (dané způsobem vyplachování, tvarem dutiny apod.),
- z tloušťky narušení obrobeneho povrchu - má význam pouze při velkých energiích výbojů (obvykle dosahuje hodnot 0,005 až 0,01 mm)
- z minimální hodnoty, o kterou musí být nástroj menší, aby se dosáhlo požadovaného rozměru dutiny.

Při výrobě ostrých rohů je nutná korekce tvaru nástrojové elektrody. Příklad stanovení rozměru hrubovací elektrody na hloubení dutiny kruhového tvaru:



Obr. 5 Rozměr hrubovací elektrody

$$d = D - 2(a + R_{max} + z) = d - 2Mm$$

d - průměr nástrojové elektrody, D - požadovaný rozměr dutiny, a - velikosti pracovní mezery, R_{max} - požadovaná drsnost obrobeného povrchu, z - tloušťka narušeného povrchu, Mm - minimální hodnota, o kterou musí být nástroj menší pro dosažení požadovaného průměru dutiny. Stanovení rozměru dokončovací elektrody je dáno vztahem: $d = D - 2a$.

4.7 Parametry obrobené plochy

Drsnost povrchu po elektroerozivním obrábění má vlastní stupnici kvality povrchu VDI a neudává se dle střední aritmetické úchytky profilu R_a dle ČSN ISO 42871-1. U většiny výrobců hloubicích strojů je erodovaná plocha označována normou VDI 3400. [1]

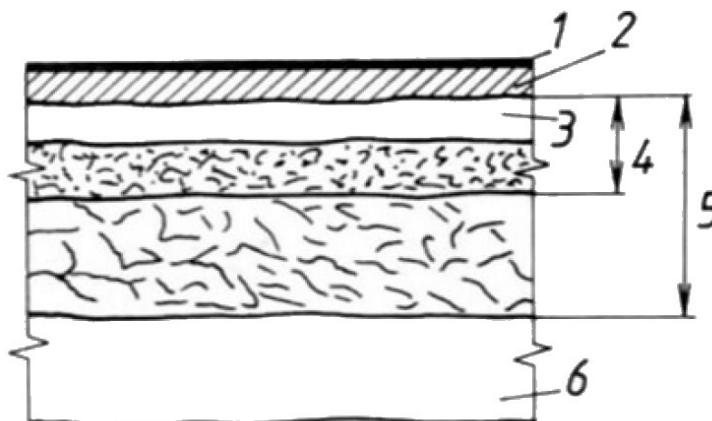
VDI 3400	R_a μm	Aa μin		VDI 3400	R_a μm	Aa μin
00	0.1	4		23	1.4	56
01	0.112	4.48		24	1.6	64
02	0.126	5.04		25	1.8	72
03	0.14	5.6		26	2	80
04	0.16	6.4		27	2.2	88
05	0.18	7.2		28	2.5	100
06	0.2	8		29	2.8	112
07	0.22	8.8		30	3.2	128
08	0.25	10		31	3.5	140
09	0.28	11.2		32	4	160
10	0.32	12.8		33	4.5	180
11	0.35	14		34	5	200
12	0.4	16		35	5.6	224
13	0.45	18		36	6.3	252
14	0.5	20		37	7	280
15	0.56	22.4		38	8	320
16	0.63	25.2		39	9	360
17	0.7	28		40	10	400
18	0.8	32		41	11.2	448
19	0.9	36		42	12.6	504
20	1	40		43	14	560
21	1.12	44.8		44	16	640
22	1.26	50.4		45	18	720

Obr. 6 Parametry povrchu R_a dle VDI 3400

Kvalita obrobené plochy je ovlivněna lokálním vlivem vysokých teplot, které způsobují metalurgické změny v povrchu obrobku, jako trhliny na hranicích zrn, štěpení a vznik tzv. bílé vrstvy. Následné ochlazení způsobuje vznik zbytkových napětí. [2]

Obecně lze říct, že nejlepší kvalita povrchu je dosahována při nižších hodnotách proudu, krátkých impulzech a vysokých frekvencí pulzů. Kvalitní povrch je svázán

se zvýšeným opotřebením nástrojové elektrody, rostoucí energií výbojů a stavem povrchové vrstvy. [1]



Obr. 7 Složení povrchu opracované plochy [2]

Popis složení jednotlivých vrstev vytvořených procesem EDM. [1,2]

1 – mikrovrstva tvořena chemickými sloučeninami vzniklých difuzí částic dielektrika (10 až 40 μm)

2 – vrstva obsahující částice materiálu nástrojové elektrody (250 μm)

3 – tzv. bílá vrstva (silně nauhličená znovu ztuhlá tavenina martenzitické struktury) (obrábění na hrubo – desetiny mm; střední – jednotky μm ; na čisto – nepatrná)

4 – pásmo tepelného ovlivnění (zakalený a popuštěný základní materiál obrobku (400 μm))

5 – pásmo plastické deformace vyvolané rázy pulzů

6 – základní materiál obrobku

ELEKTRODA	OBROBEK	KVALITA POVRCHU
W – KARBID	OCEL	STŘEDNÍ
HLINÍK	OCEL	DOBRÁ
MOSAZ	TITAN	DOBRÁ
MĚĎ	HLINÍK	DOBRÁ
MĚĎ	MOSAZ	DOBRÁ
MĚĎ	ANTIKORO	STŘEDNÍ
GRAFIT	RYCHLOŘEZNÁ	STŘEDNÍ

Obr. 8 Výběr kombinací pro nástroj - obrobek, obrábění na hrubo [8]

ELEKTRODA	OBROBEK	KVALITA POVRCHU
W – KARBID	OCEL	DOBRÁ
HLINÍK	OCEL	ŠPATNÁ =>MOSAZ/OCEL
MOSAZ	TITAN	DOBRÁ
MĚĎ	HLINÍK	DOBRÁ
MĚĎ	MOSAZ	DOBRÁ
MĚĎ	ANTIKORO	STŘEDNÍ
GRAFIT	RYCHLOŘEZNÁ	STŘEDNÍ

Obr. 9 Výběr kombinací pro nástroj - obrobek, obrábění na čisto [8]

Při elektroerozivním obráběním vznikají odchylky od námi požadovaného geometrického tvaru o určitou velikost odchylky δ . Odchylka rozměru a tvaru oproti požadovaným rozměrům dána vzorcem: [1]

$$\delta = \delta_{ST} + \delta_T + \delta_{NAST} + \delta_{ER}$$

δ_{ST} – chyba obráběcího stroje způsobená deformacemi a nepřesnostmi pohybových mechanismů, popřípadě upínacího mechanismu nástrojových elektrod. Tato chyba není výrazná, přibližně 0,003 mm. [1]

δ_T – chyba vzniklá oteplením elektrod během obrábění. Nutno uvažovat především u rozměrnějších elektrod v případě, že stroj nemá tepelnou stabilizaci. [1]

δ_{NAST} – chyba vzniklá při výrobě elektrody. Pro broušené nebo elektroerozí obráběné elektrody se uvažuje:

$$\delta_{NÁST} = \pm 0,002 \div 0,005 \text{ mm}$$

pro elektrody frézované:

$$\delta_{NÁST} = \pm 0,002 \text{ mm} [1]$$

δ_{ER} – Chyba vzniklá podstatou elektroeroze, lze ji kompenzovat vhodným tvarem nástroje nebo vhodnou volbou způsobu obrábění. Tato chyba nepřesahuje řádově hodnoty μm . [1]

Elektroerozivní obrábění vymezuje oblast použití díky vzniku povrchové struktury a dosažené drsnosti povrchu po obrobení. Drsnost povrchu je úzce spjatá s energií jednotlivých pulzů. Pro největší výšku nerovnosti profilu platí vztah: [1]

$$R_z = K \cdot W_i^r$$

Obecně lze říct, že nejlepší kvalita povrchu je dosahována při nižších hodnotách proudu, krátkých impulzech a vysokých frekvencích pulzů. Kvalitní povrch je svázán se zvýšeným opotřebením nástrojové elektrody, rostoucí energií výbojů a stavem povrchové vrstvy. [1]

4.8 Rozdělení EDM obrábění

V závislosti na fyzikálních podmínkách úběru rozlišujeme EDM do těchto kategorií: [1]

- Elektrojiskrové hloubení,
- Elektrojiskrové řezání,
- Elektrojiskrové děrování (mikroděrování),
- Elektrojiskrová tvorba textu,
- Elektrojiskrové leštění,
- Elektrojiskrové nanášení povlaků.

5 Elektrojiskrové řezání drátovou elektrodou

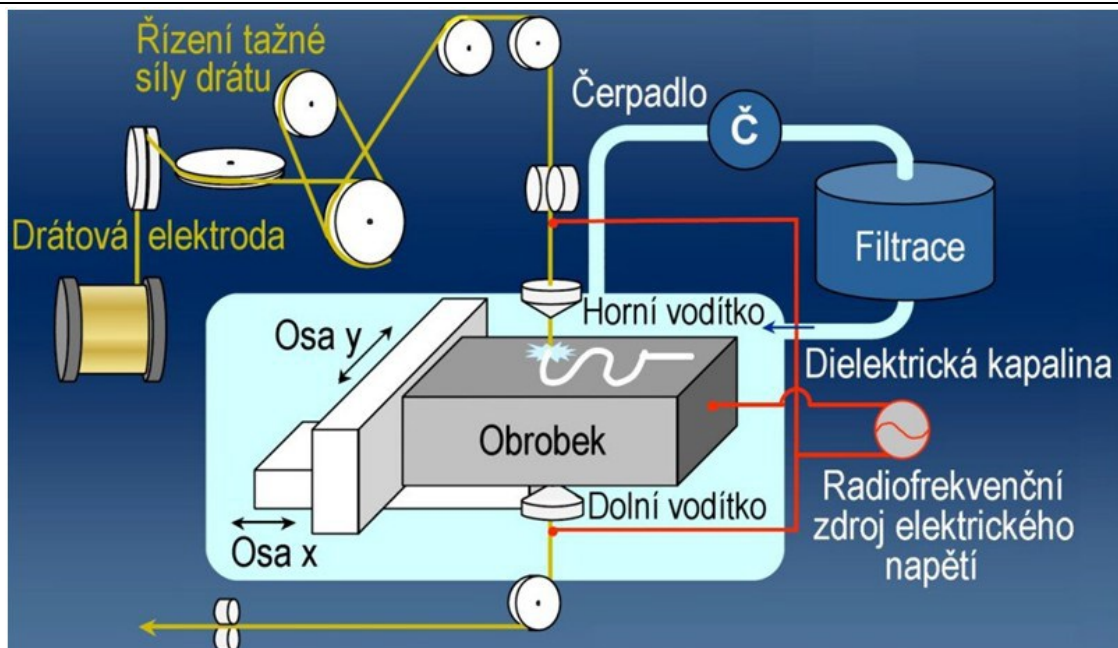
Elektroerozivní drátové řezání (mezinárodní označení Wire Electrical Discharge Machining WEDM, popisuje se také jako Traveling Wire EDM zkráceně WIRE – EDM) je progresivní modifikací elektrojiskrového obrábění. Jeho zavedení znamenalo výrazný pokrok ve vývoji tvářecích nástrojů, především střížných a lisovacích nástrojů. [11]

Tato metoda se vyznačuje minimální šířkou řezu a uplatňuje se při výrobě střížných a lisovacích nástrojů. Elektrodou je tenký drát, který se průběžně odvíjí z cívky a přes vodící zařízení prochází místem řezu. Drát je napínán konstantní silou a prostor mezi obrobkem a drátem je zaplněn dielektrickou kapalinou. [5]

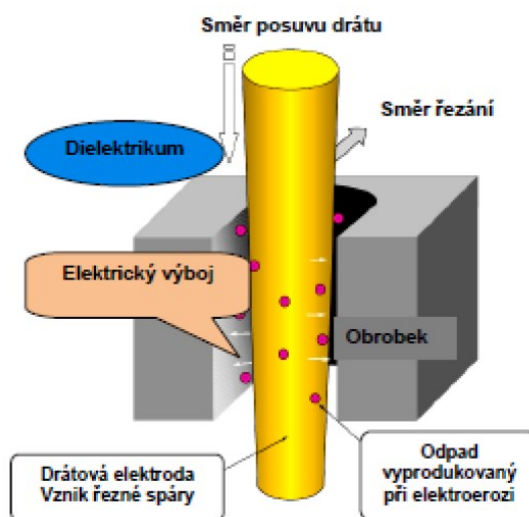
V závislosti na přesnosti povrchové úpravy obrobku, vzniká při jednom řezu hrubě opracovaný povrch. V prvním řezu drát ideálně prochází pevnou částí a při dokončení výřezu upustí odpad vzniklý řezáním. Jeden řez poskytne dostatečnou přesnost pro některé práce, ale pro většinu výrobků je operace dokončovacího řezu nutná.

Dokončovací řez vzniká v místě, kde drát kopíruje hrubě opracovaný povrch s nižším nastavením výkonu a snížením tlaku přívodu dielektrika do místa řezu. Tento řez může být opakován několikrát pro dosažení předepsané přesnosti a drsnosti výrobku. Obvykle se využívají jen dva dokončovací řezy. Dokončovací řez může odstranit až 0,002 μm materiálu nebo ještě méně - 0.0001 μm .

Při obrábění nahrubo (tj prvního řezu) je dielektrikum přiváděno do řezu za vysokého tlaku, s cílem poskytnout dostatek chlazení a odstranění erodovaných částic tak rychle, jak je to možné. Během dokončovacího řezu dielektrikum proudí ve sníženém tlaku tak, aby nedošlo k odchýlení drátu. [13]

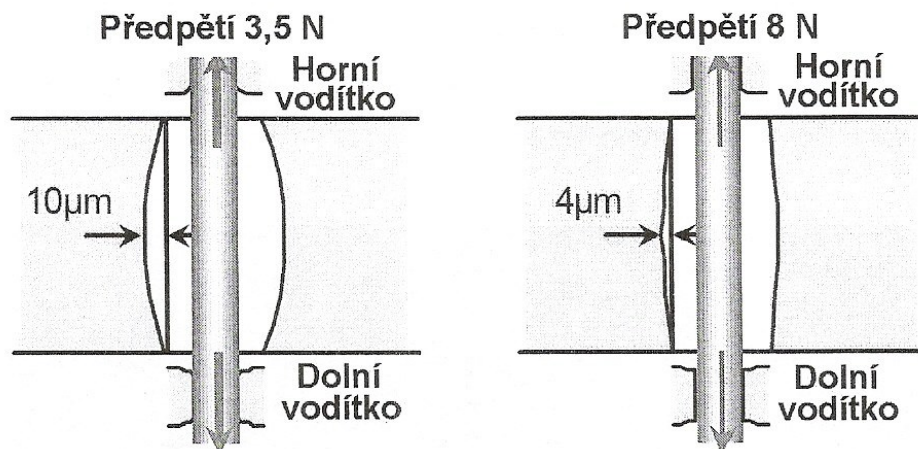


Obr. 10 Princip elektrojiskrového řezání drátovou elektrodou [5]



Obr. 11 Model fyzikálního principu řezání elektrojiskrového řezání

Na následujícím obrázku lze vidět nepřesnost řezání při různém předpětí drátové elektrody. [1]



Obr. 12 Zajištění předpětí drátu

V případě, že je proveden řez jedním řezem, může vzniklý opal drátu způsobit nepřesnost ve vertikálním směru. Tu je možno opravit dalším objetím. Dnešní stroje disponují funkcí, která naklápěním drátu ve vedení tuto nepřesnost koriguje.

Dráty (průměr 0,03 až 0,35 mm) jsou vyráběny z mědi a jejích slitin, nejčastěji z mosazi, pro velmi jemné řezy z molybdenu (průměr 0,03 až 0,07 mm). V současné době jsou též velmi často používány povlakované dráty s jádrem ze slitiny mědi (např. Cu-Cr, Cu-Zr, Cu-Ag, Cu-Sn, Cu-Sn-In) a povlakem, obsahujícím vysoké procento zinku- jádro umožňuje práci s vysokými řeznými rychlostmi, povlak udržuje stabilní výboj a zaručuje vysokou jakost povrchu obrobeneé plochy. [3]

5.1 Parametry metody

Při řezání drátovou elektrodou lze dosáhnout:

- maximálního úběru materiálu $8\text{--}300\text{ mm}^2\cdot\text{min}^{-1}$,
- rovnoběžnosti řezu do $2\text{ }\mu\text{m}$ na 200 mm tloušťky materiálu,
- drsnosti obrobeneého povrchu $R_a = 0,08 - 0,3\text{ }\mu\text{m}$ (po druhém řezu),
- tloušťky řezaného materiálu $0,02 - 400\text{ mm}$,
- přesnost $0,013\text{ mm}$,
- plynule nastavitelný sklon drátu $\pm 45^\circ$,
- přesnost polohy drátu (závisí na tepelné stabilitě): $\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ je $\pm 1\text{ }\mu\text{m}$
 $\pm 3\text{ }^\circ\text{C}$ je $\pm 3\text{ }\mu\text{m}$.

5.2 Použití metody

Metodu elektroerozivního drátového řezání lze uplatnit při:

- dělení nástrojových ocelí,
 - dělení a opracování destiček ze slinutých karbidů, kubického nitridu bóru a polykrystalického diamantu,
 - řezání vysoce tvrdých elektricky vodivých keramických materiálů jako například SiC, Si₃N₄, TiN, ZrB₂ (vodivost materiálů nesmí být nižší než 200 Scm⁻¹, protože by nedošlo k vytvoření elektrického oblouku mezi nástrojem a obrobkem).
- [10]

5.3 Výhody a nevýhody metody

Výhodou je velmi tenký přesný řez závislý na tloušťce elektrodového drátu. Dosahovaná drsnost povrchu se pohybuje okolo 0,8 μm, poté již není nutnost brousit opracovaný povrch. Nevznikají mechanické síly mezi obrobkem a nástrojem a tím dochází k velmi nízkému opotřebení odvíjeného drátu. Můžeme obrábět i velmi těžce obrobitelné materiály, jako jsou slinuté karbidy, titan a kalené nástrojové ocele, důležité je jen, aby měly dobrou elektrickou vodivost.

Nevýhoda této metody je vyvrtání otvoru pro elektrodový drát. Některé dražší stroje zvládnou vyvrtat otvor a poté do něj automaticky navléknout drát. Nemůžeme obrábět slepé díry a dutiny, k tomu je zapotřebí zvolit metodu elektroerozivního hloubení. Řezná rychlost dosahuje jen 500 mm/min.

5.4 Způsob navlékání drátu

Drát jsme schopni navlékat dvěma způsoby:

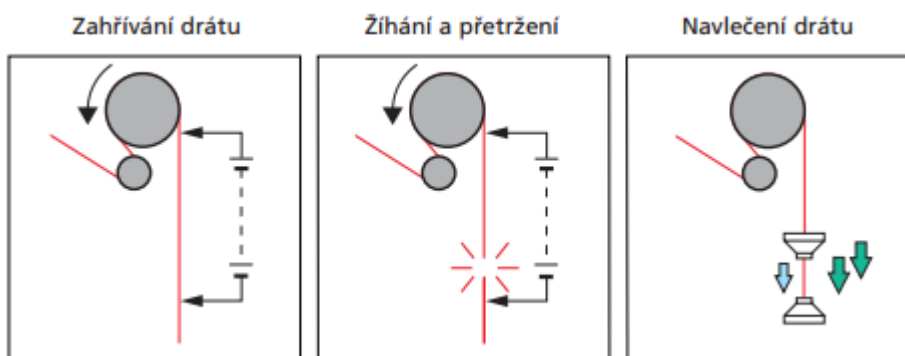
- manuální navlékání drátu,
- automatické navlékání drátu (AWT).

Automatické navlékání drátu dělíme na:

- navlékání drátu se zdvojeným servomechanismem,
- navlékání drátu žíháním a následným odstřížením,
- navlékání drátu pomocí vodní trysky.

Navlékání drátu se zdvojeným servomechanismem:

Drát se nejprve nahřeje elektrickým proudem, potom je žihán. Pomocí žihání je drát vyrovnán a pomocí napnutí je přetržen. Tím je dosaženo toho, že drát je na konci zúžený a hladký. To pomáhá při návleku do kruhových diamantových vodiček. [12]



Obr. 13 Princip metody navlékání zdvojeným servomechanismem [12]

Tato metoda disponuje i navlékáním drátu pod hladinou v napuštěné vaně. Takto se ušetří čas na vypuštění a napuštění vodní vany. Obrobek je stále ponořený ve vodě, bez přístupu vzduchu, a tím je snížena možnost koroze a udržuje se zde stejná teplota obrobku, což přispívá k přesnosti řezání. [12]

Navlékání drátu žiháním a následným odstřižením

Drát je žihán žhavením, podobně jako u předchozí metody. U této metody se ale drát nenapíná, aby se přetrhl, ale provede se zde čisté odříznutí. Výsledkem je tuhý neohebný a nezúžený drát, který má vlastnosti podobné jako jehla. Toto navlékání se provádí s vodním a také bez vodního paprsku.

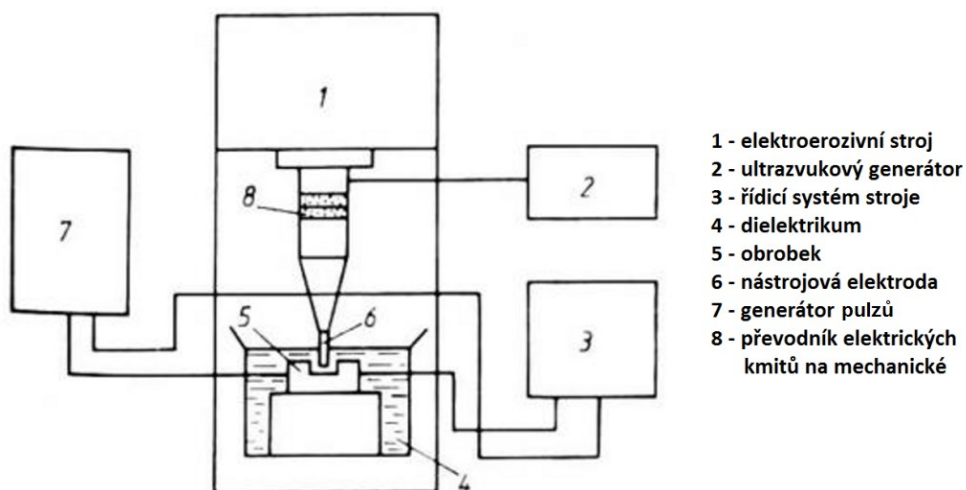
Navlékání drátu pomocí vodní trysky

Používá se systém automatického stříhu proudovým impulzem navlečení pomocí trysky spolu s vytvořením podtlaku ve spodní trysce. Celý cyklus stříhu a navlečení trvá do 10 sekund.

Pro spolehlivé počáteční zavádění drátu existuje také dvojí vodní paprsek na horní a spodní hlavě. [1]

6 Elektrojiskrové děrování

Při použití speciálních strojů s generátory pulzů o malé energii a krátké době trvání (3 až 5 μ s) je možno vrtat kruhové i nekruhové otvory malých rozměrů 0,02 až 5 mm do hloubky až 100 mm.



Obr. 14 Schéma elektrojiskrového děrování – výroby mikrootvorů [14]

6.1 Parametry metody

Elektrojiskrové děrování využíváme pro výrobu otvorů o průměru 0,02 – 5 mm, hloubka otvorů až 100 mm. Pro výrobu startovacích otvorů následného elektrojiskrového obrábění. Při této metodě používáme wolframovou elektrodu s kmitavým pohybem. Dosahované parametry drsnosti jsou 0,08-0,5 μ m. Přesnosti vyhotovení otvoru závisí na daném stroji a použité elektrodě. Rychlost je oproti konvenčním metodám dost pomalá dosahuje rychlosti 1 mm.min⁻¹.

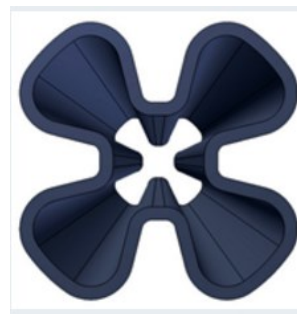
7 Představení firmy Kovona System a.s.

Tato firma je ryze českou, prosperující a globálně orientovanou výrobní společností, jejíž primární aktivitou je velkosériová kovovýroba. Společnost vznikla v roce 2000 po odkoupení výrobních aktiv společnosti Kovona Karviná, a.s.

Firma má dlouholeté zkušenosti s velkosériovou a zakázkovou výrobou, od dělení mateřského ocelového svitku, jeho zpracování, montáž, až po finální dodání výrobku určeného k prodeji.

Vedle primární aktivity společnosti firma nabízí výrobky:

- regálové systémy FUTUR, PRAKTIK, HEAVY, LONG
- válcované uzavřené profily:
 - a) konstrukční a kalibrované trubky,
 - b) čtvercové profily,
 - c) obdélníkové profily,
 - d) plochooválné profily,
 - e) speciální profily.
- válcované otevřené profily typu L, U, C, speciální



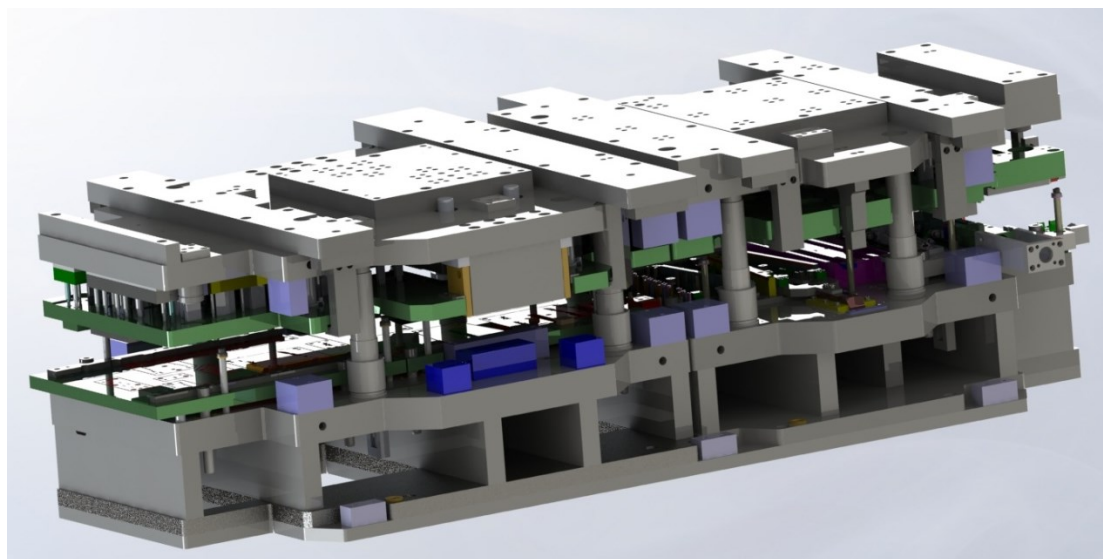
Služby firmy:

- velkosériová výroba,
- výroba na univerzálních, tak jednoúčelových automatizovaných pracovištích, linkách či technologických celcích,
- lisování a ohraňování (maximální tloušťka materiálu 6 mm, šířka 1000 mm),
- svařování ruční, automatizované za pomoci robotu Motoman, Panasonic, Closs,
- bez deformační ohýbání trubek na strojích BLM E-turn, Crippa,
- děrování trubek a profilů pomocí laseru, výstředníkových lisů, automatizovaných děrovacích pracovišť, nebo možnosti včlenění do válcovací linky,
- povrchová úprava pomocí technologie komaxit, galvanické zinkování, chromování technologií třímocného chromu,
- konstrukční a vývojové činnosti.

8 Praktická část

V praktické části se budeme zabývat racionalizací výroby matrice střížníku, která je součástí lisovacího nástroje. Lisovací nástroj slouží k výrobě výrobku Algot bracket, který tato společnost vyrábí pro nadnárodní společnost IKEA.

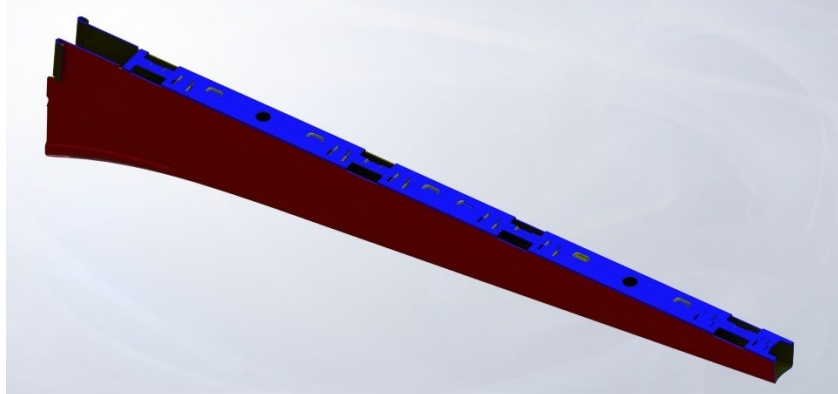
8.1 Lisovací nástroj využívány v Kovona System a.s.



Obr. 15 Vizualizace střížného nástroje

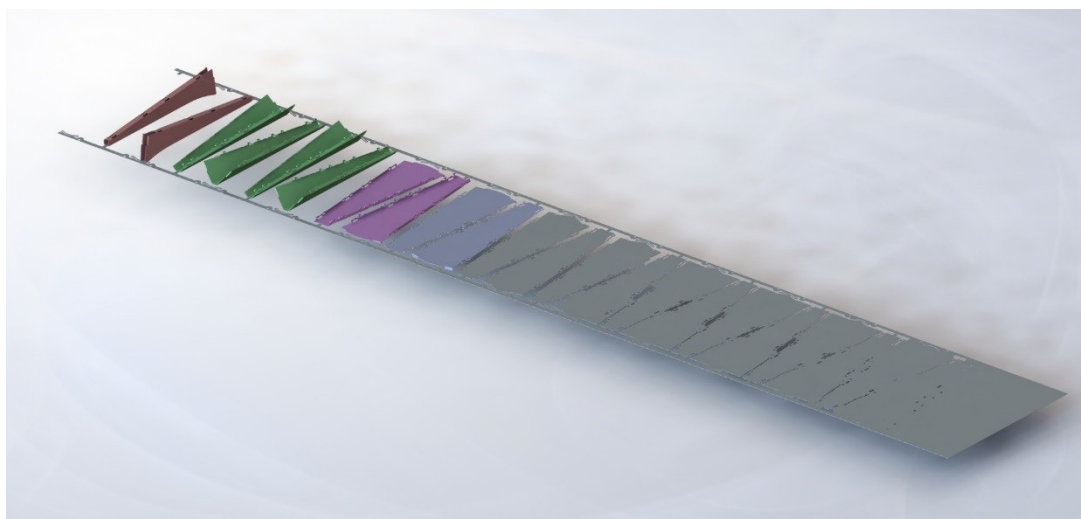
Nástroj se skládá ze segmentů jakými jsou:

- základová deska,
- střížná deska,
- vodící deska,
- kotevní deska,
- opěrná deska,
- upínací deska,
- vodící lišta,
- dorazy,
- upínací čep,
- pružiny.



Obr. 16 Algot bracket 400

Střížný nástroj vyrobila pro firmu Kovona System a.s. švédská firma OptoCom. Na obrázku č.15 lze vidět kompletní vizualizaci nástroje. Nástroj pomocí několika po sobě jdoucích kroků dokáže vyhotovit kompletní díl Algot bracket, hotový výlisek je vyobrazen na obr. č.16. Tento díl se využívá pro nástěnné úložné díly, které distribuuje firma IKEA po celém světě.



Obr. 17 Vizualizace jednotlivých kroků lisovacího nástroje

Parametry střížného nástroje

- tlak – 350 t,
- rozměry nástroje – 2560 x 1300 x 582 mm,
- krok – 233 mm,
- zdvih – 200 mm,
- celková hmotnost – 6860 kg.

8.2 Lis EBU 630 stag

Pro výrobek, který se vyrábí lisováním na postupovém nástroji, využíváme lis s označením EBU 630 stag, tento lis je vyobrazen na obrázku č. 18.



Obr. 18 Lis EBU stag 630 t

8.3 Elektro jiskrová drátová řezačka EMOTEK EIR 005 B

Ve společnosti Kovona System a.s. byla pro výrobu matic střížníku dosud využívána drátová řezačka EMOTEK Eir 005 B vyobrazená na obr. č. 19.



Obr. 19 Vizualizace stroje EMOTEK EIR 005 A

Parametry:

- maximální hmotnost obrobku [kg] – 50 kg,
- pojezdy v ose X a Y [mm] – 200 x 200,
- pojezd v ose Z [mm] – 90,
- maximální úhel řezu – 2° při výšce 90 mm,
- průměr řezacího drátu [mm] \varnothing 0.15 ~ \varnothing 0.30,
- dielektrikum – dionizovaná voda,
- rozměry zařízení - 2200 x 1600 x 1800 mm.

Řízení tohoto stroje zajišťuje počítač s příslušným softwarem.

Na tomto stroji se řezací drát nenavléká automaticky, ale obsluha musí drát navléct ručně.

8.4 Elektro jiskrová drátová řezačka FANUC ROBOCUT α -C600iA

Jelikož stávající drátová řezačka už nevyhovuje současným trendům a požadavkům na kvalitu opracovaných matic střižníku, proto firma v roce 2016 zakoupila nový model drátové řezačky od společnosti Penta. Firma Penta se specializuje na dodávku strojů od firmy FANUC. Tato drátová řezačka byla pořízena s ohledem na budoucí výrobu rozměrově větších výrobků.



Obr. 20 Drátová řezačka FANUC ROBOCUT α -C600iA

Parametry:

- maximální rozměry obrobku [mm] - 730 x 630 x 250,
- maximální hmotnost obrobku [kg] – 500,
- pojezdy v ose X a Y [mm] 400 × 300,
- pojezd v ose Z [mm] 255,
- pojezd v ose U a V [mm] 120 × 120,
- maximální úhel řezu [° / mm] ± 30°/80,
- minimální krok pohonu [mm] 0,0001,
- průměr řezacího drátu [mm] Ø 0.10 ~ Ø 0.30,
- maximální hmotnost drátu [kg] 16,
- dielektrikum – deionizovaná voda.

Pro ovládání tohoto stroje je použit software firmy FANUC s označení FANUC 31i-WB.

Tento stroj disponuje unikátní technologií navlékání drátu AWF2. Tato technologie umožňuje rychlé a spolehlivé navlékání řezací elektrody. Tato elektroda je navlékána přes obrobek proudem vody.

8.5 Používané řezací dráty

Ve společnosti Kovona System a.s. využíváme řezací dráty doporučené společností Penta označované PENTA CUT G.

PENTA CUT G je typ drátu výborné kvality. Tento typ drátu je vyhotoven z mosazi. Garantovaná pevnost drátu je 1000 Nmm⁻². Tento typ vyniká vysokou přímostí při odvinu bez deformační paměti. Výrobce tohoto typu zaručuje chemické a mechanické vlastnosti. Je vhodný pro využití bezobslužného provozu s využitím automatického navlékání drátu. Objednávaný typ, který se využívá ve společnosti Kovona System a.s. má průměr 0,25 mm a hmotnost cívky je 8 kg.



Obr. 21 Cívka s drátem Penta cut G

8.6 Charakteristika matrice střížníku

Matrice střížníku neboli střížná deska se u tohoto nástroje skládá z několika matic. Matrice jsou rozděleny z důvodu dosažení rychlejší výměny a renovace. U daného nástroje dochází k nerovnoměrnému opotřebení nástroje, což je hlavním důvodem rozdělení nástroje do několika segmentů.

Matrici střížníku považujeme za jednu z nejzákladnějších částí nástroje. Otvory v této desce jsou vyhotoveny metodou EDM, nejčastěji metodou WEDM. WEDM metoda se používá z důvodu vysokých výrobních přesností, které jsou opodstatněny vysokými požadavky na malé střížné vůle. Velké nepřesnosti ve výrobě této matrice mohou mít negativní vliv na výlisek (vznik otřepů).

Přesný otvor je vyhotoven jen do určité hloubky, takovýto vyhotovený otvor nazýváme fazetkou. Hloubka fazetky je závislá na konstrukci nástroje a požadované životnosti matrice. Ve velkých případech stačí matrici opravit pouhým přebroušením střížné hrany. Zbylá část otvoru je vyhotovena pod úkošem, který slouží k snadnějšímu vypadávání odpadu vzniklého odstřížením.

8.7 Materiál matrice střížníku

Matrice střížníku se vyrábí především z vysoce legované oceli např. 1.2379 (X155CrVMo12-1, 19573).

Ve firmě Kovona System a.s. se pro výrobu matic střížníku pro daný nástroj využívá tři druhy materiálů:

- a) 1.2379 (X155CrVMo12-1),
- b) Sverker 21,
- c) Rigor.

a) Materiál 1.2379

Výkonná nástrojová ocel pro práci za studena. Chrom-molybden-vanadová, vysoce legovaná ledeburitická, ke kalení v oleji a na vzduchu, s velkou prokalitelností (lepší než u ocelí 19 436 a 19 437). Velká odolnost proti opotřebení a tlakovému namáhání. [15]

Použití:

- velmi namáhané střížné nástroje do tlouštěk asi 10mm,
- nástroje pro ostříhování výkovek, výkonné ploché a kotoučové nože,
- ražení, tažení, průvlaky, protlačování,
- nástroje pro tváření za tepla, s velkými požadavky na tvrdost a otěruvzdornost za tepla, při malých nárocích na houževnatost,
- řezné nástroje k obrábění kovů o menší pevnosti a tvrdosti, menšími až středními řeznými rychlostmi, protahovací a protlačovací trny,
- velmi namáhané formy a vložky forem,
- drcení, mletí – kladiva a čelisti drtičů.

Chemické složení:

Tab. č. 1

Chemické složení v [%]									
Označení	Dle	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W
1.2379	ČSN EN	1,45	0,10	0,20	11,00	0,70	-	0,70	-
X153CrMoV12	ISO 4957	1,60	0,60	0,60	13,00	1,00		1,00	
1.2379	DIN	1,50	0,10	0,15	11,00	0,60	-	0,90	-
X153CrMoV12-1	17 350	1,60	0,40	0,45	12,00			1,10	

Tepelné zpracování

Tab. č. 2

ZPŮSOB	TEPLOTA °C	POSTUP
Žihání na snížení pnutí	600 - 650	1 až 2 hodiny, pak pomalu ochlazovat v peci
Kalení	980 - 1030	Ochlazovat v oleji, na vzduchu nebo v solné lázni
Popouštění	150 - 300	Ochlazovat na vzduchu (viz popouštěcí diagram)
Kalení na sekundární tvrdost	1040 - 1080	Ochlazovat v oleji, na vzduchu nebo v solné lázni
Popouštění na sek. tvrdost	500 - 550	Ochlazovat na vzduchu (viz popouštěcí diagram).

b) SVERKER 21

SVERKER 21 je obchodní název firmy UDDEHOLM, jedná se o ekvivalent oceli k nástrojové oceli 1.2379.

Použití:

SVERKER 21 je možné doporučit na nástroje, od kterých se požaduje velmi vysoká odolnost proti opotřebení ve spojení s dostatečnou houževnatostí. Tato ocel se používá i ke stříhání tlustších a tvrdších materiálů a na nástroje, které jsou vystavené značnému namáhání.

Tab. č. 3 Chemické složení materiálu SVERKER 21

Chemické složení v [%]							
Označení	Dle	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
Sverker 21	AISI D2, W.Nr. 1.2379	1,55	0,3	0,4	11,8	0,8	0,8

Tepelné zpracování

Tab. č. 4 Tepelné zpracování materiálu

ZPŮSOB	TEPLOTA °C	POSTUP
Žihání na měkko	800 - 850	Ocel prohřát na 850°C, pomalu ochlazovat v peci rychlost 10°C/hod. Po dosažení teploty 650°C ochladit na vzduchu.
Žihání na snížení pnutí	600 - 650	Výdrž 2 hodiny, pak pomalu ochlazovat v peci po dosažení 500°C ochladit volně na vzduchu.
Kalení	940 - 960	Ochlazovat solná lázeň, vzduch, vakuum, olej jen pro velmi jednoduché tvary nástroje. Při dosažení teploty 50-70°C ihned popustit.
Popouštění	150 - 300	Ochlazovat na vzduchu (viz popouštěcí diagram)

Pro elektro erozivní obrábění je dobré, pokud aplikujeme tuto metodu, nástroj dodatečně popustit přibližně na teplotu o 25°C nižší než byla předchozí popouštěcí teplota.

RIGOR

RIGOR je na vzduchu nebo v oleji kalitelná Cr-Mo-V legovaná ocel, pro kterou jsou charakteristické vlastnosti jako dobrá obrobiteľnosť, vysoká rozměrová stálost po kalení, vysoká pevnost v tlaku, dobrá kalitelnost, dobrá odolnost proti opotřebení.

Použití:

Vhodné pro využití pro stříhací operace, kde je požadováno vysoké odolnosti proti vylamování rezných hran.

Chemické složení:

Tab. č. 5 Chemické složení materiálu RIGOR

Chemické složení v [%]							
Označení	Dle	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
Sverker 21	AISI A2, BA2, W. Nr. 1.2363	1,0	0,3	0,6	5,3	1,1	0,2

Dodává se ve stavu měkce žíhaném na cca 215 HB.

Tepelné zpracování:

Tab. č. 6

ZPŮSOB	TEPLOTA °C	POSTUP
Žíhání na měkko	800 - 850	Ocel prohřát na 850°C, pomalu ochlazovat v peci rychlost 10°C/hod. Po dosažení teploty 650°C ochladit na vzduchu.
Žíhání na snížení pnutí	600 - 650	Výdrž 2 hodiny, pak pomalu ochlazovat v peci po dosažení 500°C ochladit volně na vzduchu.
Kalení	940 - 960	Ochlazovat solná lázeň, vzduch, vakuum, olej jen pro velmi jednoduché tvary nástroje
Popouštění	150 - 300	Ochlazovat na vzduchu (viz popouštěcí diagram)

Pro elektro erozivní obrábění je dobré, pokud aplikujeme tuto metodu, nástroj dodatečně popustit přibližně na teplotu o 25°C nižší než byla předchozí popouštěcí teplota.

9 Dnešní způsob výroby matrice střížníku

Společnost Kovona System a.s. využívá pro výroby matric střížníku polotovary, které nakupuje od firmy Uddeholm, Meusburger. Tato společnost dodává desky v surovém stavu na rozměry požadovány zákazníkem. Výhodou takto objednaného materiálu je snížení pracnosti na dělení z větších kusů. U takto objednaného materiálu jsme schopni zvolit i požadovaný směr vláken, které mají za následek zvýšení výdrže dané matrice. Správnou volbou směru vlákna můžeme dosáhnout zvýšení výdrže matrice o 20 až 30 %.

Nákup materiálu:

Po zaslání poptávky do firmy Meusburger na desku o rozměru 100x63x50 z materiálu RIGOR jsme obdrželi cenovou nabídku z této společnosti viz tab. č. 7.

Tab. č. 7


Popis	Množství	Cena v €	Cena v Kč
RIGOR (100x85x50)	1 ks	89	2403

V ceně nabídky je zahrnuta doprava, plus požadované dělení na rozměr 100x63x50 s přesností +0,08; +0,05. Deska je standardně dodávána ve stavu žíhaném na měkko při tvrdosti 255 HB. Termín dodání tohoto polotovaru je 3-5 dní.

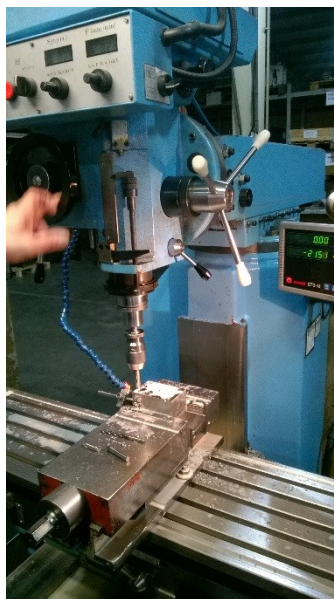
Příprava materiálu na proces elektrojiskrového řezání:

Dodaný materiál dále použijeme při výrobě matrice střížníku, dle technologického postupu, který je vyobrazen v tabulce č. 8.

Tab. č. 8 Technologický postup

		Technologický postup	
Číslo operace	Pracoviště	Popis práce	Použitý nástroj
1	Frezka	Vrtání upinacích, startovacích otvorů	Vrták Ø5 mm, Vrták Ø6,6 mm, Záhlučník s vodícím čepem M6
2	Frezka	Sražení hran všech otvorů	Záhlučník s třemi břity
3	Externí prac.	Sekundární kalení na tvrdost 63 HRC, vakuově	
4	Bruska	Broušení a srovnání úhlu	Brusný kotouč
5	EIR	Řezat střížné hrany dle CAD	Drátová elektroda Penta
Vytvořil	Bc. Jiří Bocek	Výkres: 19844-114-Dyna	
Datum	18.3.2017		

Jako první putuje materiál na vertikální frézku vyobrazenou na obr. 22. Jelikož je materiál připraven na požadovaný rozměr matrice, vyhotovíme na tomto pracovišti upeňovací otvory a startovací otvor pro následné elektrojiskrové řezání. Startovací otvory slouží pro následné provlečení drátu, které jsou nezbytně nutné pro proces elektrojiskrového řezání. Startovací otvory umísťujeme v zásadě co nejbližší kontury uvnitř obrysu, kterou chceme vyrobit. Tyto otvory umísťujeme takto proto, abychom zkrátili proces řezání.



Obr. 22 Vertikální frézka



Obr. 23 Připravený výrobek na tepelné zpracování

Tepelné zpracování

Pro tepelné zpracování opracované matrice střižníku, využívá firma Kovona System a.s. externí firmu Böhler Uddeholm CZ s.r.o. V této firmě je daná matrice vakuově kalena a popouštěna na požadovanou tvrdost 60 HRC. Po dokončení tepelného zpracování putuje výrobek zpět do firmy Kovona System a.s., kde se

výrobek přebrušuje na konečný rozměr 100x85x50 mm. K této úpravě je využívána vodorovná rovinná bruska.

Takto předpřipravený materiál putuje na nejdůležitější operaci samotné výroby matrice střížníku, proces značený pod zkratkou EIR (pracoviště elektrojiskrového obrábění).

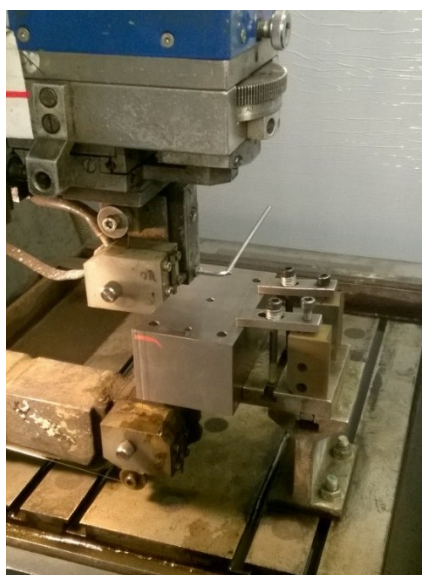
Elektrojiskrové drátové řezání na stroji EMOTEK EIR 005 B

Připravený materiál se všemi předchozími operacemi putuje na pracoviště EIR. Dle výkresu musí být vyhodnocen postup, který definuje průběžné pořadí tvorby otvorů. Jelikož se jedná o matici střížníku, která se skládá ze dvou přesných otvorů pro kolíky a tvarovým otvorem, budou jako první vyrobeny otvory pro kolíky dle výkresové dokumentace.

Postup výroby:

1. Upnutí polotovaru

Pomocí upínek, které jsou k dispozici na pracovišti EIR byl polotovar upnut tak, aby bylo dosaženo co nejpřesnějšího uložení. Styl a kvalita upnutí má zásadní vliv na WEDM obrábění. Z důvodu toho, že ve spodní části střížné matrice je úkos musí operátor stroje otočit polotovar o 180°. Důvodem otočení matrice je konstrukční omezení. Po takto upnutém polotovaru obsluha stroje srovná drát a vytvoří si referenční bod pro následné obrábění. Pro tvorbu referenčního bodu byl zvolen levý roh polotovaru.



Obr. 24 Upnutí obrobku

2. Výpočet technologie

V programu stroje musí být navoleny příslušné parametry pro následný výpočet korekcí a volby celkové technologie drátového řezání. Pro navolení parametru je v řízení stroje nástroj pro výpočet parametrů řezání, do kterého se zapisují všechny důležité parametry dle tab. č. 9.

Tab. č. 9 Parametry pro výpočet

Vzdálenost vodiček	79 mm
Výška materiálu	50 mm
Vzdálenost spodní roviny materiálu od vodítka	17 mm
Výška fazetky	5 mm
Úhel podřezání	1°
Průměr drátu	0,25 mm

Z těchto hodnot program vypočte potřebné údaje pro WEDM obrábění.

Důležité parametry:

Nástroj pro výpočet parametrů po zadání parametru dle tab. č. 9, vypočítá příslušné parametry, které pak využijeme v celém procesu drátového řezání.

- 1) Začátek vyklonění horního vodítka 1,379 mm,
- 2) Korekce na vyklonění 0,384 mm,
- 3) Korekce na průměr drátu 0,1600 mm.

3. Řezání kolíkových otvorů

Pomocí programu stroje operátor zvolí příslušný program pro výrobu otvoru kolíku $\varnothing 8$ mm. Dle výkresu a pomocí souřadnicového systému stroje musí drátová řezačka najet do prostoru prvního kolíku. Po najetí stroje do středu prvního kolíku, jehož střed je brán jako referenční bod, musí být stroj v této poloze vynulován.

Po těchto úkonech musí operátor ručně provléct drát přes startovací otvor. A následně spustí program.

Pro první hrubování využíváme praktických zkušeností operátora. Zvolíme následující řezné parametry: řezná rychlost 0,5 mm/min a korekce 0,160. Řezná rychlost, která byla využita, byla nejvyšší možná, kterou daný stroj mohl využít, aniž by byl drát přetržen.

Po dokončení hrubování přišlo na řadu dokončení (šlichtování). Pro dokončení byly využity parametry řezné rychlosti 30 mm/min a korekce 0,138 mm.

Po samotné výrobě otvoru kolíku byla ověřena funkcionality vyhotoveného otvoru, pro kterou byl použit kalibrovaný kolík průměru $\varnothing 8$ mm.

Tento postup byl opakován i pro druhý otvor kolíku.

4. Výroba tvarového otvoru

Při výrobě tohoto otvoru byl zvolen příslušný program, který byl vytvořen dle výkresu a kontury, kterou operátor obdržel ve formátu dxf. U výroby tohoto otvoru musí být počítáno s úkosem matrice 1° , tento úkos je nezbytný pro správné vypadávání střížného materiálu.

Jakmile řezací hlavou stroje najedeme dle požadovaných souřadnic na polohu startovacího otvoru, provlečeme mechanicky drát a bude možno spustit řezání příslušného otvoru. Po spuštění řezání a prořezání k nejbližší střížné hraně dojde k vyřezávání samotného střížného otvoru.

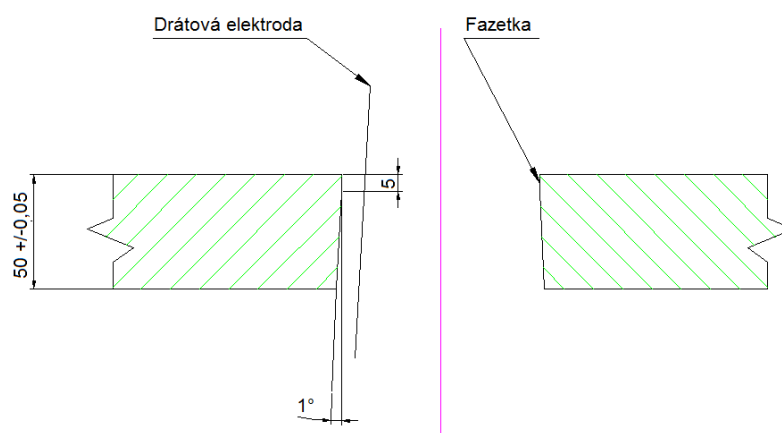
Pro první hrubování využíváme nejvyšší možné rychlosti 0,5 mm/min, která byla ověřena při tvorbě otvoru střížných kolíků. Obvod střížného otvoru je 182 mm.



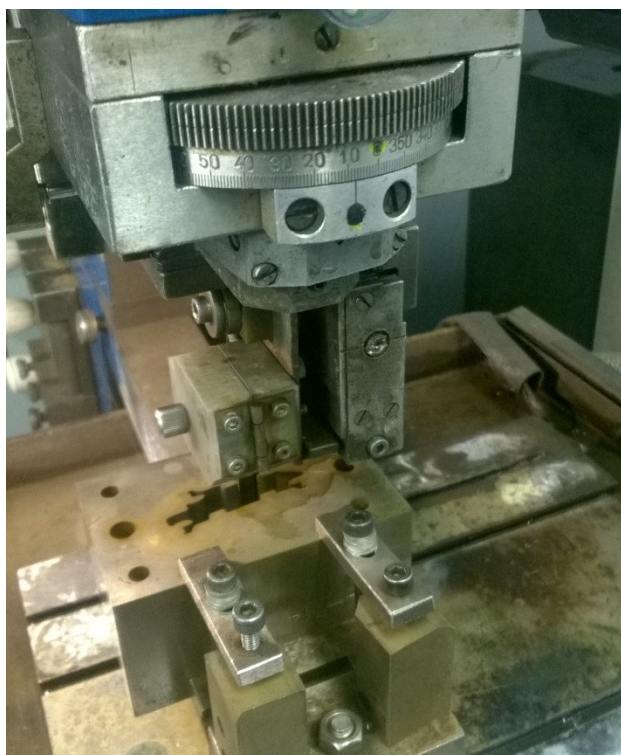
Obr. 25 Hrubování střížného otvoru

Po hrubování střížného otvoru se provede dokončení fazetky (šlichtování). Jelikož nyní odebíráme podstatně menší množství materiálu, než tomu bylo v předchozím kroku, dochází k zvýšení dokončovací rychlosti na 30 mm/min.

V následující operaci, se horní vodítko vykloní o patřičný úhel (vyplývající přímo z programu pro WEDM obrábění), což způsobí naklonění drátové elektrody o požadovaný 1° . S takto ustavenou elektrodou, bude v materiálu podél obvodu vyhrubován úkos, jenž slouží k bezpečnému propadu výstřížku. Jelikož úkos nebude plnit žádnou technologicky náročnou funkci, postačí jej jen vyhrubovat. Pro hrubování použijeme řeznou rychlost 0,5 mm/min.



Obr. 26 Princip hrubování úkosu



Obr. 27 Naklonění drátové elektrody



Obr. 28 Odpad s EIR

5. Kontrola rozměrů a drsnosti

Po dokončení proběhla následná kontrola rozměrů za pomoci střížníku pro danou matici. Drsnost porovnána s etalonem dle VDI 3400, výsledná drsnost matrice střížníku je 24, což je dle této normy ekvivalent $Ra\ 1,6\ \mu m$. Výrobní čas celé matrice byl 18 hodin.

10 Návrh nové technologie výroby matrice střížníku

Pro nový postup výroby bude využíváno stejné technologie a stejného průběhu, jak bylo vyráběno doposud. Hlavní a zásadní rozdíl nastane na pracovišti EIR.

Průběh jednotlivých výrobních kroků bude totožný se stávajícím postupem, až do volby stroje, který bude místo původního stroje EMOTEK nahrazen strojem FANUC ROBOCUT α -C600iA.

Elektrojiskrové drátové řezání na stroji FANUC ROBOCUT α -C600iA.

Postup výroby:

1. Upnutí polotovaru

Upnutí polotovaru probíhá pomocí upínek dodaných přímo k tomuto novému stroji. V upínce byl upnut polotovar tak, aby bylo dosaženo co nejpřesnějšího uložení. Toto upnutí má zásadní vliv na WEDM obrábění. Zásadní rozdíl v upínání je ten, že nemusíme otáčet střížnou maticí o 180° , jelikož stroj umožňuje vychýlení spodního vodítka. Po takto upnutém polotovaru bylo najeto na levý zadní roh, a na stroji bylo spuštěno automatické najetí do referenčního bodu. Pokud je polotovar správně vyuhlován a přesně osazen stroj detekuje referenční bod do pár sekund.



Obr. 29 Upnutí obrobku a kontrola rovinnosti

2. Výpočet technologie

Pro výpočet příslušné technologie musí být do stroje opět vloženy důležité parametry viz tab. č. 10

Tab. č. 10 Parametry pro výpočet

Výška materiálu	50 mm
Výška fazetky	5 mm
Úhel podřezání	1°
Průměr drátu	0,25 mm

Přímo ve stroji se volí (např. v závislosti na jakosti materiálu), jaká technologie bude pro daný řez použita. Každá z technologií uložených ve stroji definuje další pracovní parametry, jako např. velikost pracovního proudu, výplach či rychlost odvinu drátu do materiálu.

U tohoto stroje nám software vypočítá všechny důležité parametry a rychlosti, které si sám koriguje.

3. Řezání kolíkových otvorů

Postup pro výrobu kolíku byl obdobný jak u předchozího WEDM obrábění. Opět byl zvolen program pro průměr kolíku $\varnothing 8$ mm. Pomocí souřadnicového systému bylo najeto do prostoru prvního kolíku, kde byl dle výkresu referenční bod. V tomto místě byl určen i nulový bod celého polotovaru.

Při spuštění řezání je výhoda automatického navlékání drátu, kde stroj po pokynu zapnutí procesu navleče drát skrz startovací otvor a spustí operaci hrubování.

Pro první hrubování bylo využito řezné rychlosti 3,35 mm/min a korekce 0,227 mm. Rychlost WEDM obrábění je pouze orientační, nebo průměrná, jelikož stroj automaticky upravuje rychlost dle složitosti obráběného tvaru.

Po hrubování přešel stroj do dokončovací fáze, kde využil parametrů řezné rychlosti stejné jako předchozí a korekci 0,23 mm.

Po zakončení operace pro ověření funkcionality otvoru byl použit kalibrovaný kolík pro průměr $\varnothing 8$.

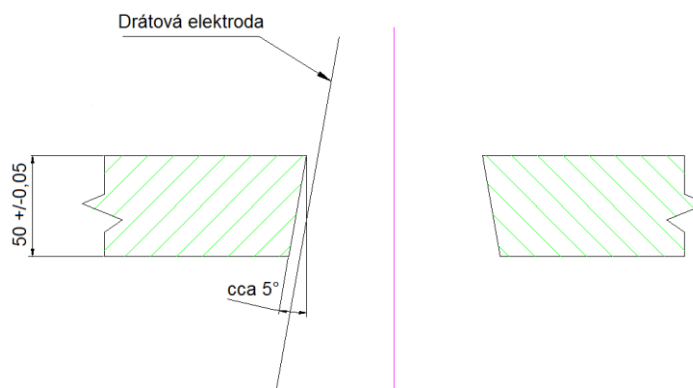
Tento postup byl opakován i pro druhý otvor kolíku.

4. Výroba tvarového otvoru

U tvorby tvarového otvoru dochází oproti stávající technologii k významné změně v postupu. Prvním krokem není výroba otvoru podél obrysové hrany, nýbrž vyklonění

drátové elektrody z vertikální polohy o určitý stupeň, kterým tento stroj disponuje. Touto úpravou postupu vytvoříme úkos již v prvním kroku, což bude mít významný vliv na další obrábění.

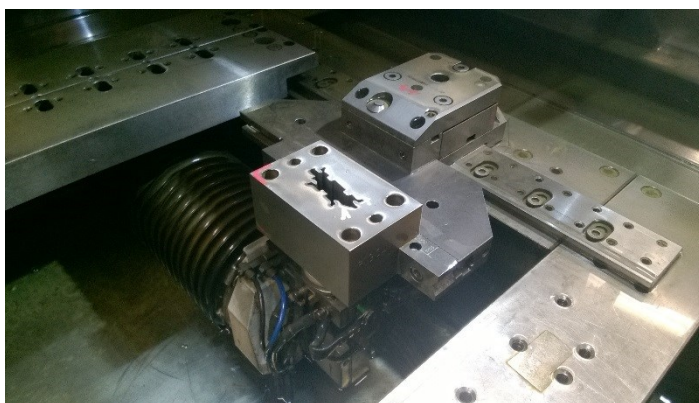
Jelikož se jedná o hrubovací operaci, využijeme řeznou rychlost, kterou nabízí technologie stroje 3,35 mm/min a korekci 0,1710 mm.



Obr. 30 Princip hrubování úkosu

V dalším kroku uvedeme elektrodu zpět do vertikální polohy a odřízneme zbylou část pro tvorbu fazetky. Touto úpravou dosáhneme snížení řezné tloušťky materiálu 50 mm na 5 mm což bude mít za následek zvýšení řezné rychlosti. Řeznou rychlost volíme dle stroje 10,6 mm/min a korekci 0,201 mm.

Po dokončení hrubované fazetky zbývá poslední operace, kterou je dokončování fazetky na požadovaný rozměr. Pro dokončení byla použita průměrná řezná rychlost 6,7 mm/min a korekce 0,131 mm.



Obr. 31 Dokončený výrobek upnut ve stroji FANUC ROBOCUT



Obr. 32 Výsledný odpad

5. Kontrola rozměrů a drsnosti

Po dokončení proběhla následná kontrola rozměrů za pomoci střížníku pro danou matici. Vůle u takto vyrobené matrice byla o něco málo nižší. Drsnost porovnána s etalonem dle VDI 3400, výsledná drsnost matrice střížníku je 18, což je dle této normy ekvivalent $R_a 0,8 \mu\text{m}$. Výrobní čas celé matrice byl 4 hodiny.

11 Srovnání obou technologií výroby matic střížníku

Při srovnání stávajícího a nového postupu výroby, bylo předvídatelné že novější technologie stroje firmy FANUC, předstihne starý nicméně spolehlivý stroj firmy EMOTEK.

U stroje EMOTEK se musela kvůli omezení naklápění hlavy zvolit nejdříve výroba střížného otvoru hrubováním. Stroj při operaci hrubování mohl využít maximální rychlost 0,5 mm/min. Po dokončení hrubování byl následně proveden dokončovací řez opět po celé tloušťce polotovaru, kde byla řezná rychlost 30 mm/min. Poslední operace spočívala v naklonění hlavy motoru o 6°. Při mechanickém nastavení vyklonění hlavy motoru může dojít k nepřesnému nastavení úhlu. Toto nastavení je omezeno ozubenými koly umístěnými ve stroji. Při nastavení námi definovaného úhlu došlo k mírnému „odskočení“. Při takovéto nepřesnosti stroje musí být bráno v potaz, zda-li je přípustná delší nebo kratší fazetka. Při výrobě dané matrice byl zvolen úhel větší o 1°, což mělo za následek vytvoření větší fazetky, řezná rychlost byla opět 0,5 mm/min. Při daném technologickém postupu je problém vzniklý hrubováním dvakrát v průřezu celé matrice. Kvůli hrubovací operaci v takovéto tloušťce nebylo možné dosáhnout zvýšení řezné rychlosti. Při výrobě této matrice musí být bráno v úvahu ruční navlékání drátu po každé operaci, kde bylo zapotřebí odebrat přebytečný materiál.

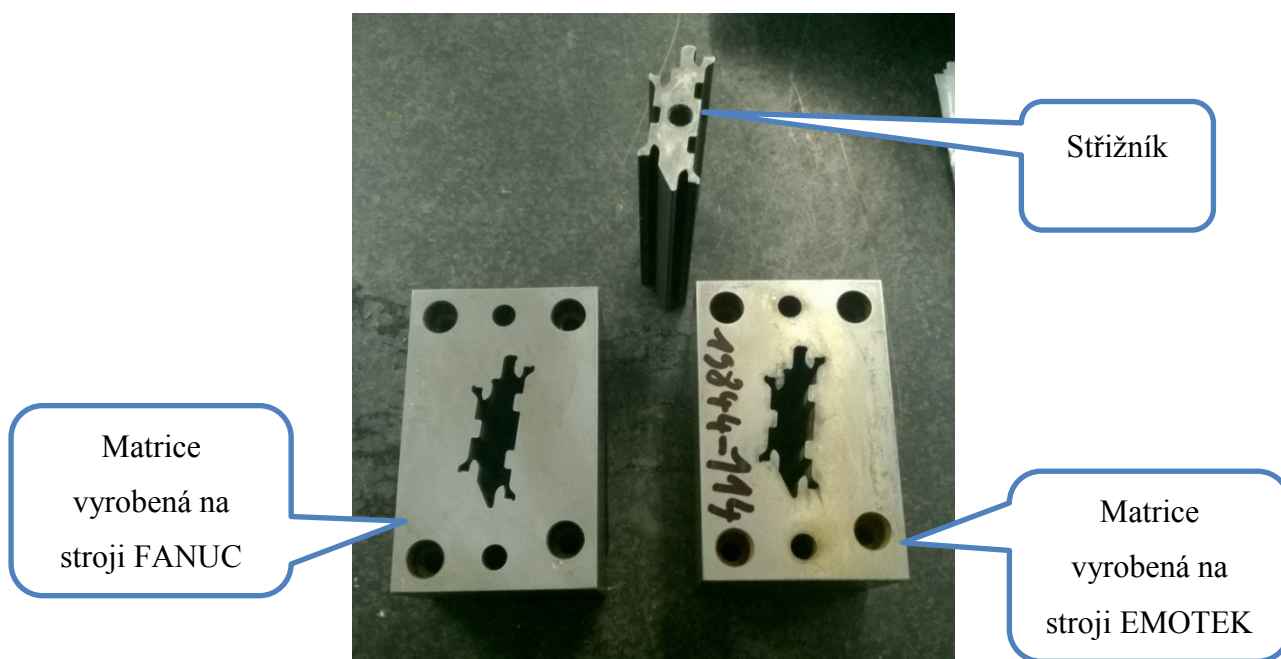
Nový stroj firmy FANUC přinesl nespočet výhod oproti stroji EMOTEK. Velkou výhodou je i automatické navlékání drátu, které obsluhu velmi zdržuje. Při automatickém navlékání drátu stroj pracuje bezobslužně a obsluha se může věnovat programování dalších CNC programů.

Při výrobě matrice na novějším stroji ROBOCUT bylo možné díky modernějšímu provedení stroje změnit technologii výroby. Při výrobě tvarového otvoru bylo možné využít vyklonění spodní hlavy vedení drátu oproti stroji firmy EMOTEK, který disponoval vykloněním horní hlavy vedení drátu. Takovýmto vykloněním spodní hlavy vedení drátu bylo umožněno vytvořit úkos již při první operaci obrábění. Druhou výhodou je přesné nastavení požadovaného úhlu, který vede k přesné výrobě výšky dané fazetky. Při výrobě úkosu byla použita průměrná řezná rychlost 3,35mm/min, tato rychlost je několikrát vyšší než u staršího stroje firmy EMOTEK.

Díky změně technologie bylo dosaženo vytvoření úkosu již v první operaci a při následném hrubování fazetky nebyl odebírán materiál v celém průřezu. Hrubování fazetky probíhalo pouze přes zbylý průřez, což je velikost fazetky 5 mm.

Pomocí odstranění hrubování přes celý průřez mohla být opět použita vyšší řezná rychlost. Řezná rychlost pro hrubování fazetky byla 10,6 mm/min. Poté následoval dokončovací řez fazetky, při dokončení bylo použito řezné rychlosti 6,7 mm/min.

Změnou technologie a stroje jsme dosáhli významné úspory času. I přes to, že novější stroj vytváří dokončovací řezy podstatně pomaleji, než stroj původní dohání to novější stroj v operacích hrubování, kde můžeme použít vyšší řezné rychlosti. Zásadní je i možnost vyklonění spodní hlavy vedení drátu, kde touto inovací stroj ušetří opravdu markantní čas.



Obr. 33 Finální výrobek matrice střížníku na obou technologiích

Na obr. 33 jsou vyobrazeny obě matrice vyráběné na odlišných strojích za použití mírně odlišné technologie. Matrice vyrobená na stroji FANUC dosahuje lepších parametrů než matrice vyrobená na stroji EMOTEK. Při porovnání kvality matic je markantní dosažená drsnost, která u matrice vyrobené na modernějším stroji je o řád vyšší než u stroje stávajícího. Dosažená drsnost R_a je $0,8\mu\text{m}$ na stroji firmy FANUC a $1,6\mu\text{m}$ na stroji firmy EMOTEK. I dosažená přesnost matrice byla znát při vložení střížníku do matrice, kde na modernějším stroji byla střížná vůle o něco nižší.

12 Technicko – ekonomické zhodnocení

V tomto zhodnocení se budeme zabývat úsporou v technologii elektroerozivního obrábění.

Vezmeme v potaz výrobu obou matic střížníku za pomoci dvou různých strojů EIR a nebudeme pro složitost výpočtu kalkulovat s odpisy stroje. Převědeme vyčíslení všech známých parametru do tab. č. 11 a 12.

Tab. č. 11 Výrobní čas matrice na stroji EMOTEK EIR 005B

Technologický proces	Řzná rychlost [mm/min]	Obvod [mm]	Doba trvání [min]
Výroba 1. kolíku hrubování	0,5	31,7	63,4
Výroba 1. kolíku dokončování	30	31,7	1,1
Výroba 2. kolíku hrubování	0,5	31,7	63,4
Výroba 2. kolíku dokončování	30	31,7	1,1
Výroba tvarového otvoru fazetky hrubováním	0,5	184,8	369,6
Výroba tvarového otvoru fazetky dokončováním	30	184,8	6,2
Výroba úkosu hrubováním	0,5	181,7	363,4
Celková doba trvání		14,5 hod	
Skutečný čas i s manipulací		18,0 hod	

Tab. č. 12 Výrobní čas matrice na stroji FANUC ROBOCUT α -C600iA

Technologický proces	Řzná rychlost [mm/min]	Obvod [mm]	Doba trvání [min]
Výroba 1. kolíku hrubování	3,35	31,7	9,462686567
Výroba 1. kolíku dokončování	3,35	31,7	9,462686567
Výroba 2. kolíku hrubování	3,35	31,7	9,462686567
Výroba 2. kolíku dokončování	3,35	31,7	9,462686567
Výroba tvarového úkosu hrubováním	3,35	181,7	54,23880597
Výroba tvarového otvoru fazetky hrubováním	10,6	184,8	17,43396226
Výroba tvarového otvoru fazetky dokončováním	6,7	184,8	27,58208955
Celková doba trvání		2,3 hod	
Skutečný čas i s manipulací		4,0 hod	

Tab. č. 13 Srovnání obou technologií

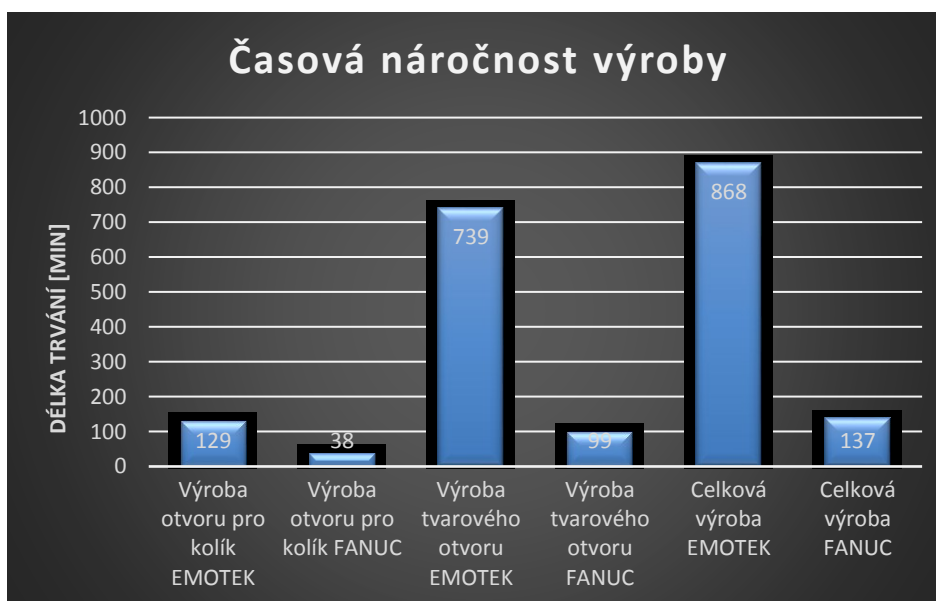
	FANUC ROBOCUT α -C600iA	EMOTEK EIR 005 B
Celkový čas výroby	137 min	868 min
Dosažena drsnost	0,8 μ m	1,6 μ m
Cena výroby WEDM	16 200 Kč	3600 Kč
Vůle matrice/ střížník	Nižší, než stroj EMOTEK	Vyšší, než stroj FANUC
Velikost fazetky	5 mm	5,95 mm

Z výsledných tabulek můžeme vidět razantní změny ve výrobních časech obou matric. Pro výpočet ceny jednotlivých matric jsme zvolili hodinovou sazbu stroje 900 Kč/hod. Pro původní výrobu matrice, kde není možné vyklonit drátovou elektrodu ihned v prvním kroku vychází cena WEDM obrábění matrice střížníku na 16200 Kč.

Pokud na výrobu matrice využijeme novou technologii, která umožňuje vyklonění drátové elektrody hned na začátku WEDM obrábění je cena WEDM obrábění 3600 Kč.

Z tabulky č. 13 je jasné, že výroba na novém stroji firmy FANUC je rychlejší, přesnější a dosahuje lepší drsnosti povrchu, což vede k zvýšení životnosti nástroje.

Novým způsobem výroby společnost Kovona System a.s. ušetří 12 600 Kč a 14 hodin výrobního času, které může věnovat produkci dalších výrobků.



Obr. 34 Graf časové náročnosti výroby

13 Závěr

Záměrem této práce bylo porovnat efektivitu výroby střížných matic za pomoci WEDM obrábění na stávajícím a novém stroji v Kovona System a. s. Pro hlubší uvedení do problematiky bylo nutné načíst problematiku elektroerozivního obrábění z literatury, která se touto problematikou zabývá, a také konzultace s operátorem firmy Kovona System a. s.

Pro porovnání byla nejdřív vyrobena matrice střížníku na původním stroji EMOTEK, tak aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výrobních časů.

Po výrobě první matrice střížníku, prostudování problematiky WEDM obrábění a parametrech nového stroje byla navržena změna technologie výroby matrice střížníku. Tato změna spočívala ve změně posloupnosti operací v technologickém postupu a změnou stroje. Tento návrh byl následně realizován. Nejen že byl změněn postup, který znatelně uspořil množství času i díky změně stroje za výkonnější a modernější, ale bylo dosaženo i vyšších řezných rychlostí. Celkově vedla změna stroje a technologie k markantní úspoře výrobního času.

Dle dosažených výsledků této diplomové práce může být zjevné, že použití staršího, přesto spolehlivého stroje není ekonomicky vhodné. Hlavní výhodou původního stroje je to, že při výrobě velmi malých drobných součástí by se tyto součásti při použití nové technologie mohly tzv. ztrácet v nádrži s vodou.

V ekonomickém hodnocení byl proveden propočet ceny pro samotnou operaci WEDM obrábění. S využitím nového stroje a změně technologie firma dle jednoduchých propočetů odlehčených od složitých manažerských odpisů ušetří 14 hodin na jedné střížné matrici daného střížného nástroje.

Kromě úspory času byla výrobní cena teoreticky snížena o 12 600 Kč. Tato finanční úspora se může v konečném důsledku projevit rovněž na celkové výrobní ceně za celý lisovací nástroj.

Volbu nového stroje a změnu technologie postupu této výroby střížných matic je možno využít pro všechny stávající střížné matrice, které firma Kovona System a.s. potřebuje pro svou sériovou výrobu. Volba nového stroje a změna technologie postupu umožní technologický náskok před konkurenčními firmami.

Seznam příloh:

Výkres číslo: 19844-114-Dyna

Použitá literatura:

- [1] SADÍLEK, Marek. *Nekonvenční metody obrábění I: elektroerozivní, elektrochemické a chemické obrábění*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 978-80-248-3943-1. [cit. 2017-02-02].
- [2] [online]. [cit. 2017-02-02]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni.html>
- [3] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. [I]Technologie II 2. díl. [I] Ostrava: Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978–80–248–1822–1. [cit. 2017-02-02].
- [4] HUMÁR, Antonín. *TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část* [online]. Brno, 2005, s. 57. [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf
- [5] Nekonvenční metody obrábění [online]. [cit. 2017-02-04].
Dostupné z: <http://coptel.coptkm.cz/reposit.php?action=0&id=33789&instance=2>
- [8] KALINOVÁ, Jana. *Fyzikální metody obrábění* [online]. 2013 [cit. 2017-02-07].
Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3664343/>
- [9] POSLUŠNÝ, Petr. Elektroerozivní obrábění. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2006 [cit. 2017-03-18].
Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/elektroerozivni-obrabeni.html>
- [10] CYGALOVÁ, Pavla. *Návrh nové technologie výroby kotevních desek ve firmě MASSAG Stamping a.s.* Ostrava, 2011. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D. [cit. 2017-03-18]
- [11] MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie: Advanced methods of material removal*. Košice: Vienala, 2000. ISBN 80-7099-430-4. [cit. 2017-03-18].
- [12] MAŘATA, Ladislav. *Drátové řezačky řada FANUC ROBOCUT: Návod k obsluze*. 2014. [cit. 2017-03-20].
- [13] How EDM works [online]. [cit. 2017-03-22].
Dostupné z: <http://www.xactedm.com/edm-capabilities/how-edm-works/>
- [14] ŘASA, Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3. 2. vyd.* Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-336-3. [cit. 2017-03-22]

[15] 1.2379 (19 573) [online]. [cit. 2017-03-25].

Dostupné z: [http://www.bolzano.cz/assets/files/materialove_listy/1.2379_\(19%20573\).pdf](http://www.bolzano.cz/assets/files/materialove_listy/1.2379_(19%20573).pdf)

[16] *VDI 3400* [online]. [cit. 2017-03-26]. Dostupné z:

<http://www.vdi3400.com/comparison/>