

Vzorkování povrchu mělkými drážkami elektroerozivní technologií

Bc. Martin Daněk

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jan Hošek, Ph.D.

Abstrakt

Cílem práce na téma „Vzorkování povrchu mělkými drážkami elektroerozivní technologií“ je výroba 2 - 5 μm hlubokých a 40 - 70 μm širokých drážek na naleštěném ocelovém povrchu pokusného vzorku. Práce ukazuje metodiku výroby na elektroerozivním stroji Sodick APL1 a to především optimalizaci souboru pracovních podmínek a problémy spojené s výrobou detailů za hranicí udávanou výrobcem stroje.

Klíčová slova

EDM, vzorkování, mikroerozivní obrábění

1. Úvod

Cílem práce je tvorba mikrostrukturovaného vzorku, na kterém budou prováděny tribologické testy. Povrch kruhového vzorku z nerezové oceli je třeba opatřit drážkami s hloubkou 2 – 5 μm a šířkou 40 – 70 μm . Po vytvoření různých sítí drážek bude na vzorek naprášena velmi odolná samomazná vrstva Mo–S–C. Účelem celého pokusu je potvrdit hypotézu, že při určitém mikrovzorkování povrchu a při použití vhodné vrstvy, může být součinitel tření proti pohybu nižší, než na leštěném povrchu. Byly zvoleny tři různé orientace drážek – rovnoběžné, křížící se a hvězdčovitě. Pro výrobu byla zvolena technologie mikroelektroerozivního obrábění obzvláště kvůli tomu, že při křížení dvou drážek nevzniká v místě střetu dvojnásobně hluboká drážka, jak je tomu například u laseru.

2. Elektroerozivní obrábění

Elektroerozivní obrábění (dále EDM z angl. Electro-Discharge Machining) nebo také vyjiskřování je elektrotermální obráběcí proces, který využívá erozivního efektu elektrického výboje mezi nástrojovou elektrodou a obrobkem k odstranění materiálu. Elektroda i obrobek jsou ponořeny v nevodivé kapalině, dielektriku, které usměrňuje elektrický výboj, chladí obrobek i elektrodu a odstraňuje zbytky materiálu. Obrábění materiálu se realizuje pomocí jiskrových výbojů. Jako generátor slouží zdroj stejnosměrného proudu, který je řízen generátorem pulzů. Po přiblížení pracovní elektrody k obrobku natolik, že elektrické pole je schopné ionizovat dielektrikum, se vytváří vodivý kanál mezi obrobkem a elektrodou. Generátor podrží tento kanál přesně určenou dobu (v řádu mikrosekund) a jiskrové výboje roztaví a odpaří materiál v místě výboje. Teplota tohoto výboje se pohybuje mezi 3000° – 12 000°C [1] (podle použité energie), což činí tuto technologii díky vysoké tavicí teplotě použitelnou pro každý vodivý materiál a je možné ji modifikovat i pro nevodivý materiál. Místo, kde proběhne elektrický výboj je dáno největším gradientem intenzity elektrického pole, tedy pozicí, kde je elektroda nejbližší obrobku. Jeden cyklus (vytvoření kanálu, obrábění, chlazení, případně výplach) trvá několik mikro- až milisekund. Servosystém udržuje stálou mezeru mezi elektrodou a obrobkem, aby nedocházelo ke zkratu a aby se obrábělo

požadovanými podmínkami. Mezera mezi obrobkem a elektrodou je v řádu setin milimetru. Je nutné vzít v úvahu, že při tomto procesu nedochází pouze k úběru obrobku, ale také úběru elektrody. Tento úběr závisí na použitých strojních podmínkách a je jedním z největších činitelů přesnosti.

2.1 Mikroobrábění

Pro realizaci mikro obrábění namísto konvenčního elektroerozivního makroobrábění je třeba zejména změnit materiály nástrojové elektrody a obrobku a přizpůsobit obráběcí podmínky stroje. V laboratoři je používán stroj Sodick APL1, který se v průmyslu používá převážně k ostření nástrojů či výrobě přesných forem. Pro zadaný úkol je třeba pracovat na jeho spodní hranici opakovatelnosti, což vnáší do celého procesu spoustu problémů popsaných později. Rozlišení os XYZ je $0,1\text{ }\mu\text{m}$ a uváděné dosažitelné detaily jsou $8\text{ }\mu\text{m}$. Materiály elektrod pro mikroobrábění jsou omezeny na slitiny wolframu či čistý wolfram. Používají se elektrody W-CU (1-2mm), W-Ag (1-0,5mm) a W (pod 0,5mm). Materiál obrobku je třeba také velmi opatrně zvolit. Podle literatury [6] je průběh obrábění závislý na elektrické vodivosti, tepelné vodivosti a teplotě tání obrobku i elektrody. U mikroobrábění není na rozdíl od standardního EDM žádoucí, aby měl materiál obrobku nízkou teplotu tavení

3. Obráběcí proces

Pro dosažení hloubky obrábění drážek v rozsahu $2 - 5\text{ }\mu\text{m}$, tedy za hranicí technických možností stroje udávaných výrobcem, bylo na základě předchozích zkušeností s realizací různých mikrostruktur rozhodnuto, že obrábění bude prováděno rotační wolframovou elektrodou s průměrem $50\text{ }\mu\text{m}$ tak, že elektroda za rotace bude přejíždět nad povrchem ve zvolené vzdálenosti tak, aby byla zhruba na limitní jiskrové mezeře (mezera, kdy ještě dojde k obrábění). Tím se zajistí, aby se nebyla hloubka drážky moc hluboká, což by znemožnilo pozdější povlakování.

3.1 Volba obráběcích podmínek

Požadovaná geometrie je těsně u hranice výrobních možností stroje APL1, a proto je nutno nastavit většinu hlavních parametrů ovlivňujících velikost elektrických sil na minimum, viz tabulka 1.

Tabulka 1. – Hodnoty hlavních elektrických podmínek

Parametr	Význam	Hodnota
PL	Polarita elektrody	Záporná
ON	Doba výboje	$1\text{ }\mu\text{s}$
IP	Maximální vybíjecí proud	7 mA
V	Hlavní napětí	90 V

Byla vyslovena hypotéza, že při obrábění s těmito požadavky mohou mít zásadní vliv ještě další podmínky. Pro každou podmínku byly zvoleny tři hodnoty, viz tabulka 2. Z dřívějších pokusů je patrné, že limitní (mezera, kdy ještě dojde k obrábění) jiskrová mezera pro obrábění za použití parametrů v tabulce 1) je $6\text{ }\mu\text{m}$. Pro obrábění byla použita wolframová rotační elektroda s průměrem $50\text{ }\mu\text{m}$.

Tabulka 2. – Dodatečné obráběcí podmínky

Parametr	Význam	Hodnota
HP	Zapojení dodatečného napětí, impulzního řízení	0,5; 1; 2,5 A
PP	Připojení vypínacího obvodu	Vypnuto, vypnutí středního

		a nízkého napětí
C	Připojení kondenzátoru	0,62; 7; 400 nF
Jiskrová mezera	Mezera mezi obrobkem a elektrodou	3, 4, 5 μm

Byl vytvořen soubor podmínek kombinující všechny hodnoty zkoumaných parametrů (dohromady 81 podmínek obrábění). Bylo rozhodnuto, že pro měření vlivu bude prováděno interferenčním mikroskopu a bude měřen vliv podmínek na úběr elektrody, hloubku drážky a šířku drážky. Pokus byl vyhodnocen pomocí čtyř tabulek (Tabulka 3,4,5,6), kde každá zobrazuje vliv obráběcí podmínky na zkoumaný parametr.

Tabulka 3. – Vliv kondenzátoru

C [nF]	Šířka drážky [μm]	Hloubka drážky [μm]	Úběr elektrody [μm]
400	30,8	1,6	3
7	43,3	2,7	14
0,62	31,1	1,5	3

Tabulka 4. – Vliv HP

HP [A]	Šířka drážky [μm]	Hloubka drážky [μm]	Úběr elektrody [μm]
0,5	31,7	1,8	3
1	35,5	2,1	7
2,5	38,0	2,1	9

Tabulka 5. – Vliv PP

PP - odpojeno napětí	Šířka drážky [μm]	Hloubka drážky [μm]	Úběr elektrody [μm]
Vypnuto	33,1	2,1	7
Střední	36,7	2,1	6
Nízké	35,1	1,8	6

Tabulka 6. – Vliv Jiskrové mezery

Jiskrová mezera [μm]	Šířka drážky [μm]	Hloubka drážky [μm]	Úběr elektrody [μm]
3	37,2	1,8	7
4	34,0	2,1	6
5	34,0	2,1	6

Z naměřených hodnot lze vyčíst, že největší vliv na obrábění, má parametr C, tedy kondenzátor a to jak na šířku a hloubku drážky, tak i na úběr elektrody. Při volbě HP, impulzního řízení, 0,5 A je možné dosáhnout polovičního úběru elektrody, což je výhodné, protože se tím výrazně zkrátí doba obrábění. Vliv vypínacího obvodu i jiskrové mezery je zanedbatelný. Pro konečný program byly tedy na základě dat provedených experimentálních řezů zvoleny parametry v tabulce 7.

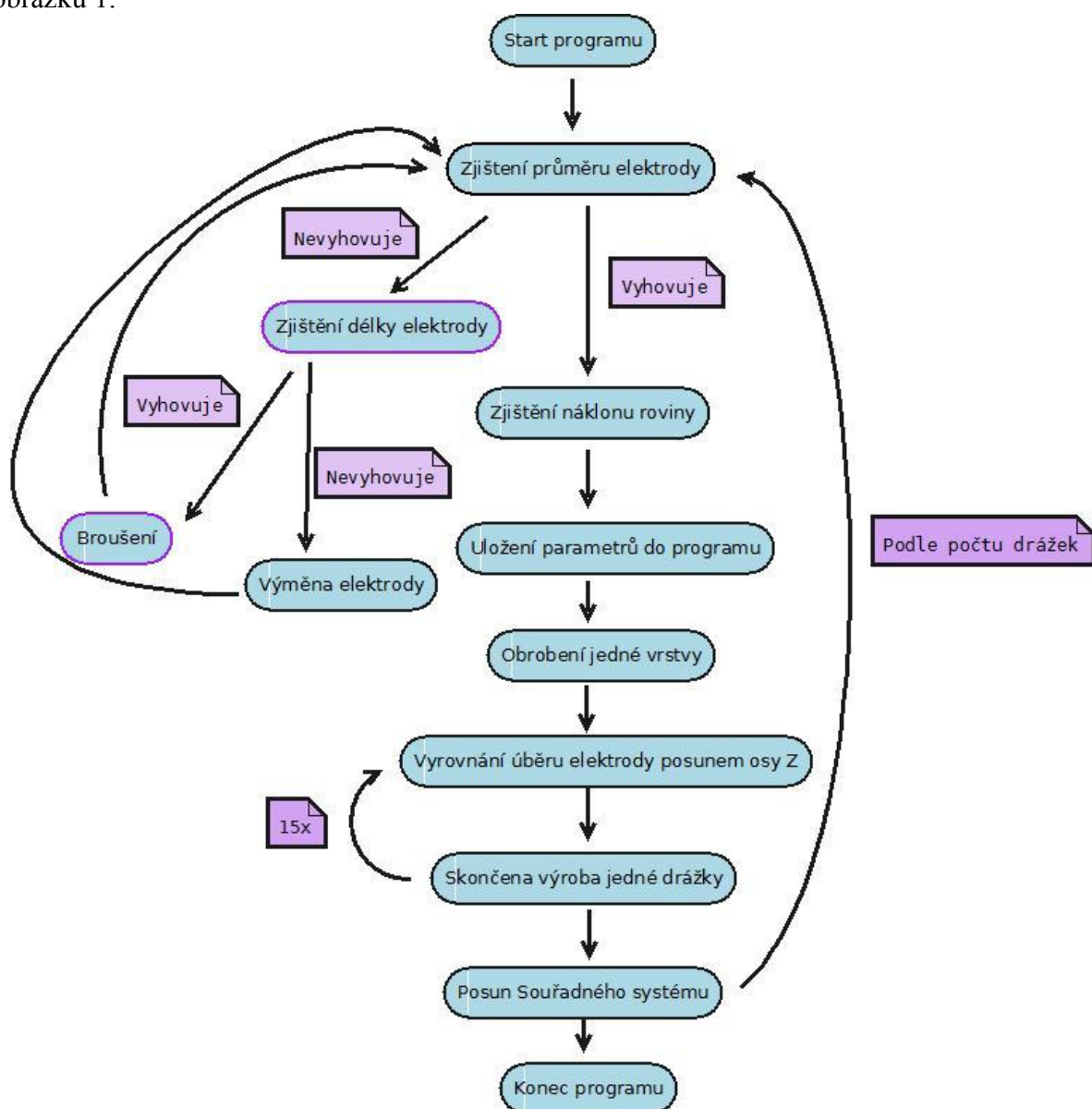
Tabulka 7. – Zvolené dodatečné obráběcí podmínky

Parametr	Význam	Hodnota
HP	Zapojení dodatečného napětí, impulzního řízení	0,5 A
PP	Připojení vypínacího obvodu	Střední
C	Připojení kondenzátoru	0,62 nF
Jiskrová mezera	Mezera mezi obrobkem a elektrodou	5 μm

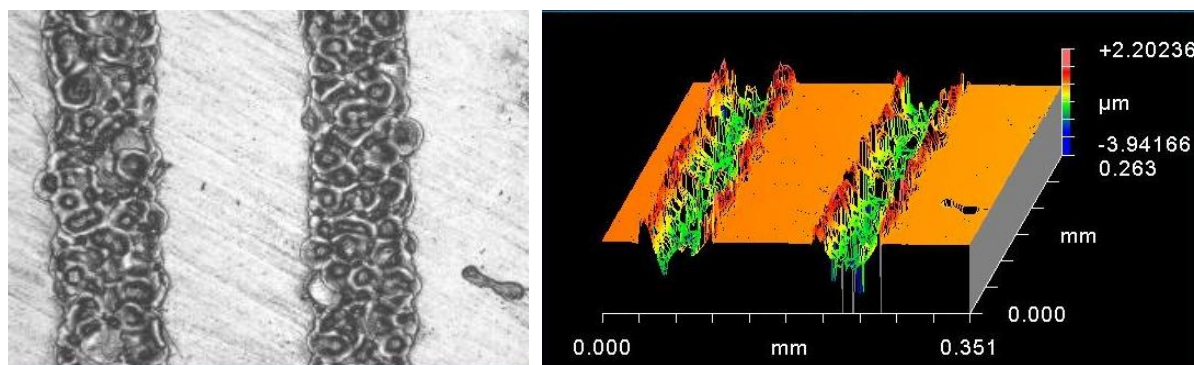
3.1 Obráběcí program

Pro řízení elektroerozivního stroje Sodick AP1L se používá běžný CNC kód. Experimentálně bylo zjištěno, že k dosáhnutí rovnoměrné drážky, je třeba ji obrábět 15x za stejných podmínek. Tím se dosáhne toho, že se postupně spojí místa, která nebyla obrobená předchozím průběhem obrábění. Rozteč drážek na paralelních vzorcích byla zvolena 150 μm ,

což znamená 80krát 12 mm dlouhá drážka a počet drážek pro hvězdčovitý vzorek $\varnothing 22$ mm byl zvolen 240, tedy 1 drážka na $1,5^\circ$. Chod programu znázorňuje vývojový diagram na obrázku 1.



Obr. 1. Vývojový diagram CNC programu



Obr. 2. Hotové drážky

4. Komplikace při výrobě

Při výrobě se vyskytla řada komplikací, které výrazně protáhly dobu výroby vzorků, která i tak činila průměrně 72 hodin na vzorek. Mezi hlavní komplikaci patřilo přesné nabroušení elektrody, které se provádí také na stroji o brusný kámen ze slitiny Ag-W. Vzhledem k tomu, že při každém broušení se mění geometrie brusného kamene, je velmi obtížné zajistit i přesné rozměry elektrody. S tím souvisí i fakt, že elektroda nemá po celé délce broušení (3,5 mm), stejný průměr, ale mírně se zužuje směrem ke špičce, proto je nutné měřit průměr elektrody při každém novém obrábění. Problém broušení byl vyřešen použitím nového brusného kamene, přerušením programu a úpravou brusného kamene, snížením tolerance na přesný průměr elektrody a změnou obráběcích podmínek tak, aby docházelo k menšímu úběru elektrody a nebylo tudíž nutné brousit tak často. Po prvním návrhu obráběcích podmínek docházelo během obrábění ke zkratu. Tento problém byl vyřešen připojením vypínacího obvodu, který rozeplnul obvod při vysokých proudtech. Po konzultaci s technikem firmy Sodick, bylo možné tento problém řešit i nastavením servomotoru tak, že by neměl nastavený pohyb dopředu, ale dopředný pohyb by se realizoval pouze tak, aby bylo dosaženo potřebného napětí mezi elektrodou a obrobkem. Zvolené řešení měla za následek prodloužení obráběcího času o 30%.

5. Závěr

Podařilo se vyrobit požadované vzorky v zadaném čase, i když šířka čar se pohybuje okolo 65 μm a nejsou všechny stejně široké. Nejzajímavějším poznatkem práce je, že lze, za vhodných podmínek, obrábět 30 μm širokou drážku i s 50 μm širokou elektrodou. Tento jev připisují zúžení špičky elektrody při obrábění vlivem vysoké hustoty proudu. Dalším výsledkem je, že se podařilo pracovat se strojem za hranicí udávanou výrobcem, což otevírá prostor k dalším nestandardním aplikacím. Během výroby se vyskytly výše popsání komplikace, které připisují hraničním limitům stroje Sodick APL1, a které se mi po řadě experimentálních pokusech podařilo překonat. Bylo fakticky prokázáno, že takováto výroba je v možnostech stroje, je ale třeba častých softwarových i optických kontrol celého výrobního procesu, což velmi výrazně zvyšuje výrobní čas.

Seznam symbolů

PL	obráběcí podmínka – polarita nástrojové elektrody	[-]
ON	obráběcí podmínka – doba výboje	[μs]
IP	obráběcí podmínka – maximální vybíjecí proud	[mA]
V	obráběcí podmínka – hlavní napětí	[V]
HP	obráběcí podmínka – zapojení dodatečného napětí, impulzního řízení	[-]
PP	obráběcí podmínka – připojení vypínacího obvodu	[-]
C	obráběcí podmínka – připojení kondenzátoru	[μF]

Seznam použité literatury

- [1] Sommer, C. Non-Traditional Machining Handbook, Houston: Advance Publishing, Inc., 2000.
- [2] Hošek, J., Daněk M., Full Metal Micro Gripper Made by Electro Discharge Technique ,The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, 2010 .
- [3] J. V. Pimentel, T. Polcar, A. Cavaleiro, Structural, mechanical and tribological properties of Mo–S–C solid lubricant coating, Surface and Coatings Technology 205, 2011.

- [4] Mahardika M, Tsujimoto T, Mitsui K. A new approach on the determination of ease of machining by EDM processes, Yokohama, 2007.
- [5] Manuál ke stroji Sodick APL1, Blansko: Zenit s.r.o., 2010.
- [6] Uhlíř, I. Elektrické obvody a elektronika, Praha: ČVUT, 2008.
- [7] Yu Z., Rajurkar K. P., Prabhuram P. D., Study of contouring micro EDM characteristics, Lincoln: 2002
- [8] internet: <http://www.mech.kuleuven.be/micro/topics/edm/>
- [9] internet: http://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_discharge_machining
- [10] Kočka, J., přednáška Úvod do nanotechnologie a měřících technik, předmět Nanotechnologie, 2006.