



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

POROVNÁNÍ ÚČINNOSTI A EFEKTIVITY DRÁŽKOVÁNÍ TRADIČNÍM ZPŮSOBEM S TECHNOLOGIÍ TROCHOIDNÍHO OBRÁBĚNÍ

COMPARE THE EFFICACY AND EFFICIENCY OF TRADITIONAL MILLING
TECHNOLOGY WITH TROCHOIDAL MILLING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Artur FERFECKI

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Kateřina MOURALOVÁ

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Artur Ferdecki

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

Porovnání účinnosti a efektivity drážkování tradičním způsobem s technologií trochoidního obrábění

v anglickém jazyce:

Compare the efficacy and efficiency of traditional milling technology with trochoidal Milling

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Rozbor konvenčních způsobů drážkování
2. Porovnání technologie trochoidního obrábění s konvenčními způsoby výroby drážek
3. Návrh specifických podmínek pro aplikaci technologie trochoidního obrábění
4. Nastínění přínosů vyplývajících z aplikace trochoidního obrábění

Cíle bakalářské práce:

Úkolem studenta je zpracovat analýzu současných způsobů drážkování ve výrobě a porovnat s technologií trochoidního obrábění a definovat vhodnost aplikace této technologie do podniků. Závěrem práce je vhodné pokusit se nastínit přínosy vyplývající z nahrazení tradičních metod drážkování technologií trochoidního obrábění.

Seznam odborné literatury:

1. PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
3. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
4. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2005. 272 s. ISBN 80-214-3068-0.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kateřina Mourolová

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 20.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá možnými způsoby výroby drážek v průmyslových podnicích a zahrnuje novou technologii výroby pomocí trochoidního drážkování. Součástí této práce je porovnání technologie trochoidního drážkování s výrobou stejné drážky pomocí konvenčního frézování na konkrétním příkladu a vyvození vhodnosti, výhod a nevýhod plynoucích z použití technologie trochoidního drážkování. Práce vznikla ve spolupráci s firmou Seco Tools CZ s.r.o. a s jejími odbornými zaměstnanci.

Klíčová slova

drážkování, trochoidní drážkování, vysokorychlostní obrábění, Seco Tools, trochoida

ABSTRACT

This thesis deal with possible ways of producing grooves in industrial companies and include a new technology using trochoidal grooving. Part of this work is compare the technology of trochoidal grooving with the production of the same groove using conventional milling on the concrete example and draws the suitability, advantages and disadvantages of using trochoidal grooving technology. Thesis was created in cooperation with Seco Tools CZ s.r.o. and with its specialized employers.

Key words

grooving, trochoidal grooving, high speed machining, Seco Tools, trochoidal toolpath

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FERFECKI, Artur. Porovnání účinnosti a efektivity drážkování tradičním způsobem s technologií trochoidního obrábění. Brno 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 29 s. 1 příloh. Ing. Kateřina Mouralová.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Porovnání účinnosti a efektivity drážkování tradičním způsobem s technologií trochoidního obrábění** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Artur Ferfecki

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat odborným konzultantům panu Ing. Romanu Šimíkovi a Ing. Radkovi Kasanovi, kteří mi poskytli spoustu cenných poznámek a připomínek z praxe, dále pak panu Ing. Marianovi Cechelovi za umožnění prohlídky výrobních prostor Třineckých Železáren a.s., během které jsem měl možnost seznámit se s různými technologiemi na vlastní oči. Zvláštní poděkování pak věnuji paní Ing. Kateřině Mouralové za cenné rady a čas, který mi věnovala při vypracování mé bakalářské práce.

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
ÚVOD.....	8
1 VÝROBA DRÁŽEK KONVENČNÍMI TECHNOLOGIEMI.....	9
1.1 Drážkování na obrážece	9
1.2 Frézování drážek	11
1.2.1 Rozdělení drážek.....	11
1.2.1.1 Rozdělení drážek z hlediska tvaru	11
1.2.1.2 Rozdělení drážek z hlediska hloubky	11
1.2.1.3 Rozdělení drážek z hlediska průběžnosti	12
1.2.2 Postup výroby jednotlivých typů drážek	12
1.2.2.1 Pravoúhlé drážky	12
1.2.2.2 Rybinové drážky.....	14
1.2.2.3 T drážky.....	14
1.3 Drážkování na protahovače	15
1.4 Elektroerozivní obrábění.....	16
1.4.1 Elektroerozivní drátové řezání.....	16
1.4.2 Elektroerozivní hloubení.....	17
2 SPOLEČNOST SECO TOOLS AB	18
2.1 Představení společnosti	18
2.2 Historie společnosti Seco Tools AB	18
2.3 Řešení společnosti Seco Tools AB pro průmyslová odvětví	19
2.4 Pobočka společnosti Seco Tools AB v České republice.....	20
3 TECHNOLOGIE TROCHOIDNÍHO OBRÁBĚNÍ	21
3.1 Vysokorychlostní obrábění	21
3.2 Trochoidní drážkování	23
4 POROVNÁNÍ EFEKTIVITY TROCHOIDNÍHO OBRÁBĚNÍ	25
ZÁVĚR.....	27
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	28

ÚVOD

„Technický vývoj směřuje vždy od primitivního přes komplikované k jednoduchému“ [1]

Antoine de Saint-Exupéry

Drážky jsou důležitým konstrukčním prvkem, který nachází uplatnění v širokém spektru výrobků. Rozmanitost tvarů a typů drážek vedla k potřebě vytvoření různých technologií pro samotnou výrobu drážek. Při výběru technologie pro výrobu drážek je třeba zohledňovat mnoho faktorů, jako například objem výroby, požadovanou přesnost, materiál obrobku, pružnost výroby a zejména ekonomické faktory.

Bakalářská práce shrnuje možné způsoby výroby drážek v průmyslových podnicích a přidává novou technologii drážkování pomocí trochoidního obrábění. Klade si za cíl nastínit oblasti použití konvenčních technologií a navrhnout oblasti, kde by bylo možné aplikovat způsob výroby drážek pomocí trochoidního drážkování a dosáhnout tak maximální časové a ekonomické úspory.

První pokusy o využití trochoidy pro návrh dráhy nástroje při výrobě drážky byly provedeny již před 20 lety. Ve své podstatě je použití trochoidy při drážkování velice jednoduché a velkou výhodou je, že pro úspěšné zavedení této technologie do podniku nejsou nutné žádné rozsáhlé investice do nákupu nových strojů ani jiného vybavení provozu. Tato technologie je pro strojírenské podniky velice atraktivní, díky svým výhodám jim může mnoho nabídnout a budeme se s ní setkávat stále častěji.

1 VÝROBA DRÁŽEK KONVENČNÍMI TECHNOLOGIEMI

1.1 Drážkování na obrážece

Obrázení je vhodné pro výrobu drážek, protože se ze své podstaty jedná o vyhotovování rovinných ploch (vodorovné, šikmé i svislé) menších rozměrů. Obrázením lze také obrobit i vnitřní drážky (drážky v dírách). Jako nástroje pro obrázení se zpravidla používá jednobřitý nástroj.

Nástroj vykonává hlavní pohyb, který je přímočarý a vratný. Posuvný pohyb je přerušovaný, kolmý na směr hlavního pohybu a probíhá na konci každého pracovního dvojzdvihu. Největší nevýhodou obrázení je zpětný chod, který značně snižuje efektivitu a produktivitu této metody. Během zpětného chodu běží stroj na prázdko, protože nástroj není v záběru a musí být oddálen od obráběné plochy, aby nedošlo k poškození nástroje nebo obrobené plochy. Z tohoto důvodu jsou obrážecí stroje konstruovány tak, aby byl zpětný chod podstatně rychlejší než rychlost řezného pohybu, což vede ke zvýšení efektivity. Další nevýhodou je zpravidla obrábění pouze jednoho obrobku.

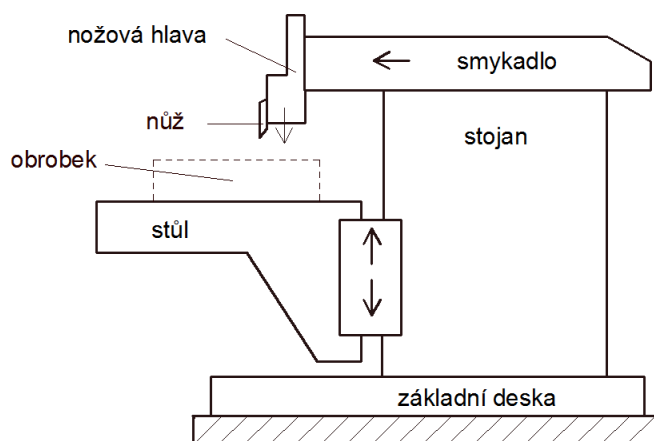
Jako nástroje pro obrázení se používají obrážecí nože, které jsou vyrobeny převážně z rychlořezných ocelí. Nože používané pro vodorovné obrážecíky mají krátkou upínací část, geometrie řezné části je obdobná geometrii soustružnických nožů. Oproti tomu nože pro svislé obrážecíky mají delší stopku, tvar řezné části odpovídá požadované obrážecí operaci a geometrie je také podobná do geometrie soustružnických nožů. [2, 3]

Obrážecí stroje lze rozdělit do dvou základních skupin:

- vodorovné obrážecíky
- svislé obrážecíky

Vodorovné obrážecíky

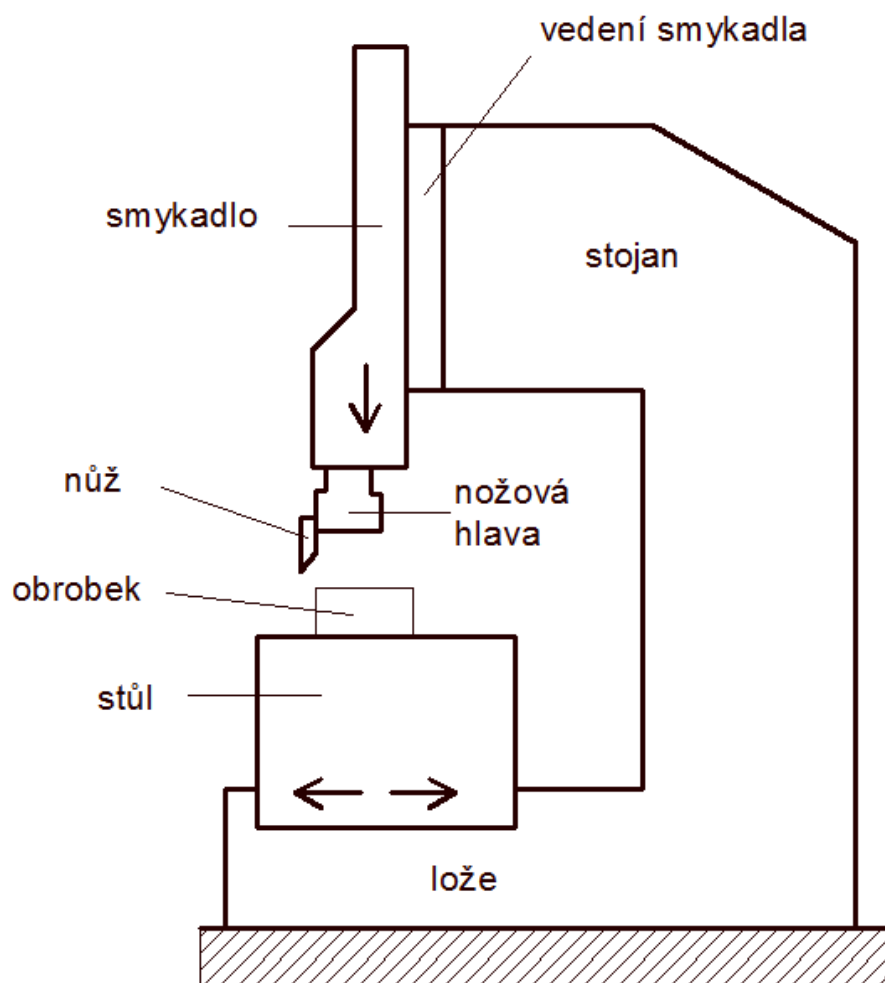
Jsou charakteristické vodorovným pohybem smykadla s nástrojem. Vodorovné obrážecíky používají mechanický nebo hydraulický pohon smykadla. Schéma vodorovné obrážecíky je znázorněno na obr. 1. [2]



Obr. 1 Schéma vodorovné obrážecíky [4]

Svislé obrážky

Jsou charakterizovány svislým pohybem smykadla s nástrojem, jak můžeme vidět na obr. 2. Primárně jsou určeny pro obrábění vnitřních tvarových ploch, používají se také pro obrábění vnějších tvarových ploch a svislých rovinných ploch. [2]



Obr. 2 Schéma svislé obrážky [4]

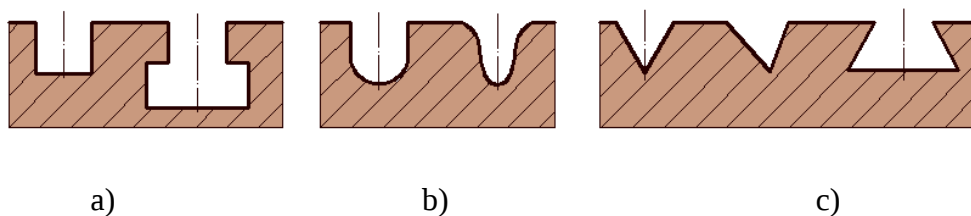
1.2 Frézování drážek

Frézování drážek patří mezi základní frézařské operace. Drážky můžeme vyrábět na klasických frézách nebo na frézách, které jsou zvlášť upraveny pro danou operaci. Nejčastějšími drážkami, které se frézují, jsou drážky rybinové, pravoúhlé a drážky tvaru T. [5]

1.2.1 Rozdělení drážek

1.2.1.1 Rozdělení drážek z hlediska tvaru

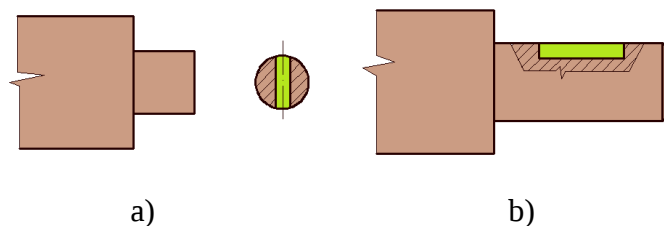
- a) pravoúhlé drážky tvaru U
 tvaru T
- b) tvarové drážky rádiusové
 modusové
- c) úhlové drážky souměrné
 nesouměrné
 rybinové



Obr. 3 Tvary drážek [6]

1.2.1.2 Rozdělení drážek z hlediska hloubky

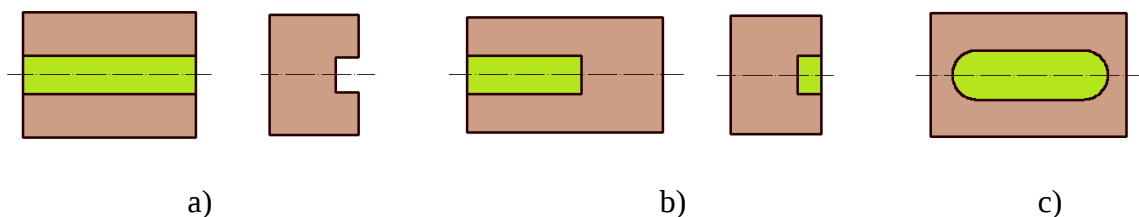
- a) průchozí
- b) zapuštěné



Obr. 4 Hloubka drážek [6]

1.2.1.3 Rozdělení drážek z hlediska průběžnosti

- a) průběžné
- b) polozavřené
- c) uzavřené



Obr. 5 Průběžnost drážek [6]

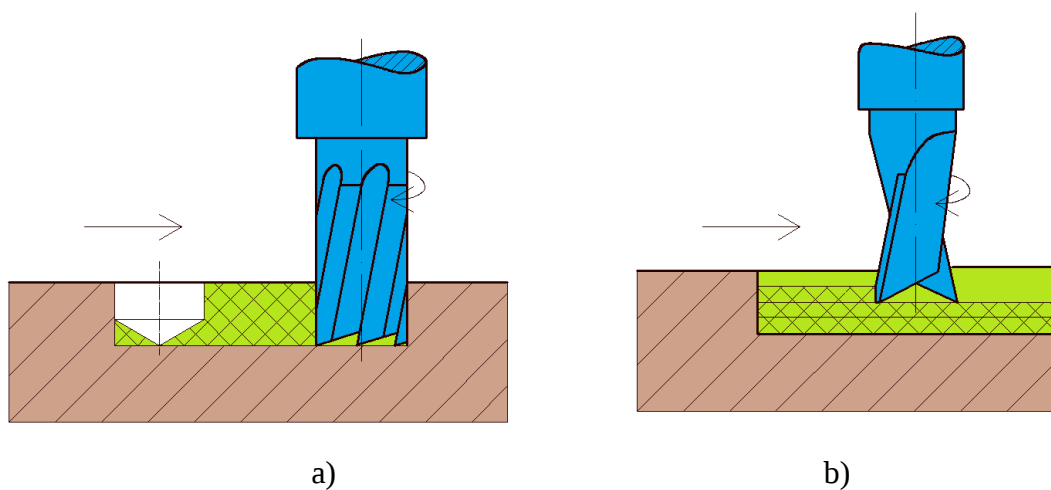
1.2.2 Postup výroby jednotlivých typů drážek

1.2.2.1 Pravoúhlé drážky

Zapuštěné pravoúhlé drážky jsou na strojních součástech široce používány pro těsné pero, které slouží k vytvoření rozebíratelného spojení mezi hřídelí a nábojem. Takovéto spojení umožňuje přenášet otáčivý pohyb z hnací části na část hnanou. Rozměry drážky musejí splňovat předepsané tolerance, aby během funkce spoje nedocházelo k opotřebení pera a tím i ke zkrácení jeho životnosti. Při frézování drážky pro pero musíme zajistit přesnou polohu, šířku a hloubku drážky. [5]

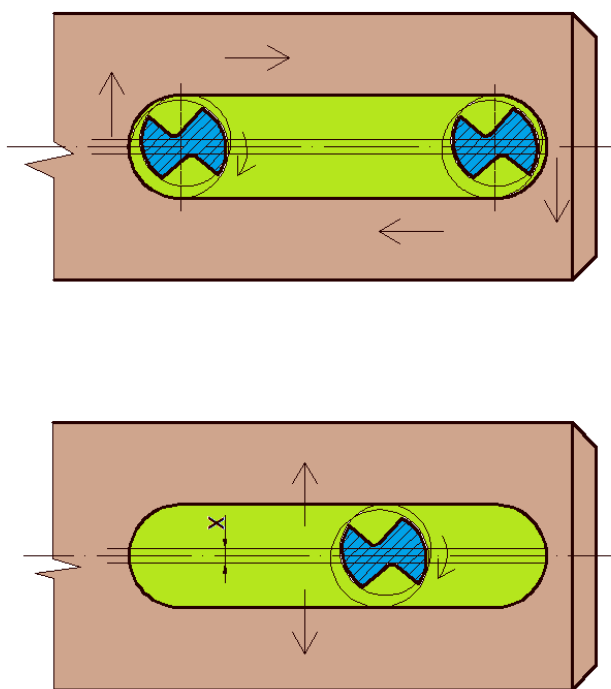
Požadovanou hloubku drážky můžeme dosáhnout dvěma způsoby:

- a) Celou hloubku drážky frézujeme najednou. Pro dosažení požadované hloubky na jeden záběr je nutné nejdříve předvrtat v drážce díru. Při tomto způsobu fréza odebírá velké množství třísek, z tohoto důvodu je nutné zmenšit posuv na zub. Tento způsob si můžeme prohlédnout na obr. 6 a).
- b) Jak můžeme vidět na obr. 6 b) drážka je postupně prohlubovaná po vrstvách. Pro tento způsob se používá dvoubřitá fréza, která odřezává jednotlivé vrstvy o tloušťce do 0,3 mm. Fréza vniká do materiálu čelními břity ve směru osy otáčení v krajních polohách.



Obr. 6 Frézování pravoúhlé drážky: a) najednou, b) po vrstvách [5]

Přesnou šířku drážky dosáhneme rozjížděním frézy, která má menší průměr než je předepsaná šířka drážky. Po vyhrubování drážky se postupně ofrézuje levá a pravá boční plocha drážky. Pro docílení přesné šířky drážky lze také použít tzv. házející frézu. Výhodou použití házející frézy je nezávislost na průměru frézy. Házející frézu získáme tím, že stopkovou frézu upneme výstředně ve speciálním sklíčidle. Velikost výstředného uložení je nastavitelná a lze ji změnit pootočením pouzdra ve sklíčidle, což umožňuje regulaci šířky drážky (viz obr. 7). [5]



Obr. 8 Házející fréza [5]

1.2.2.2 Rybinové drážky

Rybinové drážky jsou takové drážky, jejichž plochy svírají jiný úhel než 90° .

Pro výrobu rybinových drážek používáme tři frézy:

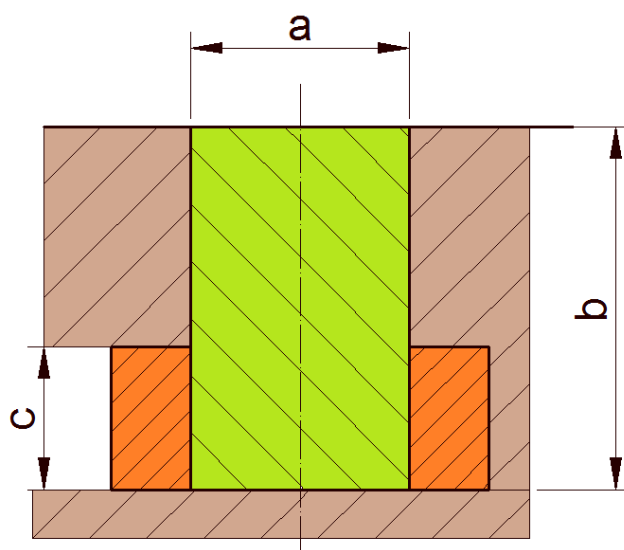
- 1) nejdříve drážkovací frézou vytvoříme pravoúhlou drážku,
- 2) následně frézou úhlovou rozjíždíme boky drážky pod zamýšleným úhlem,
- 3) nakonec čelní válcovou frézou se zaoblenými špičkami zubů vyfrézujeme odlehčení na dně drážky. Posledním krokem snížíme smykové tření posouvajících se součástí v drážce.

Rybinové drážky je nutné pravidelně kontrolovat a měřit, zvláště pak je důležité zaměřit se na rovnoběžnost boků v určitých délkách pomocí základních měrek. [5]

1.2.2.3 T drážky

Drážky ve tvaru písmene T se objevují na stolech obráběcích strojů (např. podélný stůl frézky), na upínacích deskách různých přípravků (např. kruhová upínací deska otočného stolu), dále v základových deskách a podobně. Vkládají se do nich šrouby s hlavou ve tvaru T, kterými se upínají svěráky, dělicí přístroje, upínací přípravky, opěrky nebo přímo obráběné součásti.

První krok pro frézování T drážky je obdobný jako u výroby rybinové drážky. Nejdříve vyfrézujeme kotoučovou nebo stopkovou frézou pravoúhlou drážku o rozměrech $a \times b$. Následně speciální frézou na upínací drážky ve tvaru T dofrézujeme rozšířenou část drážky $c \times d$ (viz obr. 9). V závislosti na požadované přesnosti, jakosti povrchu a velikosti drážky volíme, zda rozšířenou část drážky vyfrézujeme na jeden nebo na několik záběrů. Při frézování T drážky je důležité, aby osa frézy byla shodná s osou pravoúhlé drážky. Hloubku frézování nastavíme od horní plochy, aby čelní břity zarovnaly dno drážky. Po odstranění ořepů a očištění obrobku přezkontrolujeme rozměry drážky. [5]



Obr. 9 T drážka [7]

1.3 Drážkování na protahovačce

Protahování drážek patří k vysoce produktivním způsobům obrábění. Nástroj koná přímočarý pohyb, zatímco obrobek je nehybný. Pro protahování se používá mnohobřité tyče, které mají různý tvar v závislosti na tvaru drážky, kterou chceme vyrobit. Průřez tyče se postupně rozšiřuje.

Podstatou protahování je postupný záběr jednotlivých zubů nástroje do obráběného materiálu. V záběru je vždy současně tolik zubů protahovacího trnu, kolikrát se jejich rozteč opakuje na délce obráběné plochy.

Nástroje pro protahování, obvykle označované jako protahovací trny, mají několik druhů zubů. Zuby rozdělujeme na kalibrovací, řezací a hladicí. Hladicí zuby se používají u trnů, které se používají pro obrábění drážek, u nichž je zvýšený nárok na drsnost povrchu. Protahovací trny jsou vybaveny krčkem. Krček má nejmenší průměr z celého nástroje a slouží jako ochrana nástroje při přetížení, protože se nástroj přeruší právě v tomto místě a ne mezi zuby. Trny se vyrábějí z rychlořezné, nebo slitinové ocele a mohou být povlakovány vrstvami otěruvzdorného materiálu.

Protahovací stroje dělíme do dvou hlavních skupin:

- a) vodorovné protahovačky
- b) svislé protahovačky

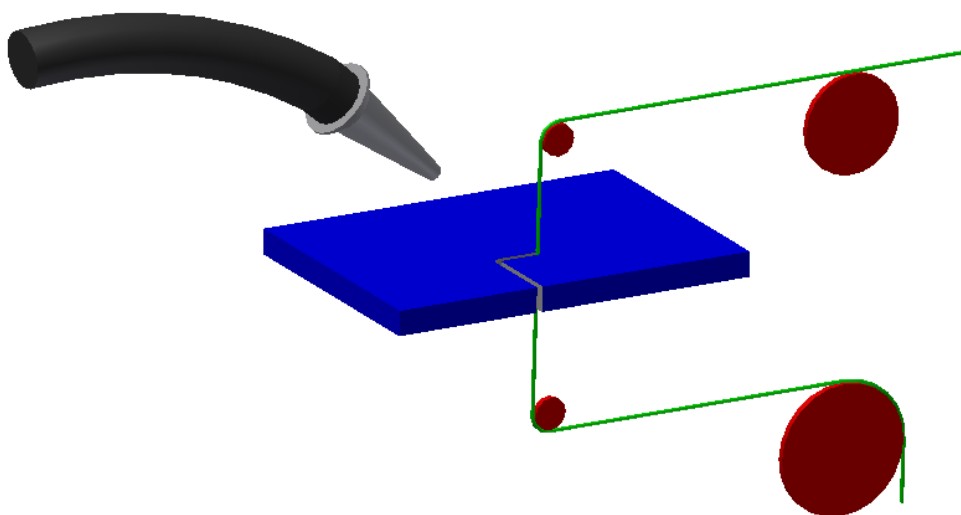
Vodorovná protahovačka je oproti svislé protahovačce, za předpokladu stejné délky zdvihu a stejné průrazné síly, levnější. Nevýhodou vodorovné protahovačky je, že vlastní hmotnost trnu způsobuje jeho průhyb, a tím dochází ke snížení přesnosti výroby. Výhodou u těch svislých protahovaček, které jsou k tomuto účelu konstruovány, je možnost upnutí více trnů současně. [2]

1.4 Elektroerozivní obrábění

Elektroerozivní obrábění se řadí do skupiny obrábění elektrickým výbojem. Tento proces je známý pod zkratkou EDM (Electrical Discharge Machining). Základním fyzikálním jevem, na kterém je technologie EDM postavena, je elektroeroze. Při elektroerozi dochází, pomocí rychle se opakujících periodických impulsů (doba impulsů je přibližně 10^{-4} až 10^{-6} s), k úběru materiálu pomocí elektrických nábojů vzniklých mezi katodou (často tvořenou obrobkem) a anodou (většinou tvořenou obráběcím nástrojem). Tímto způsobem se taví a odpařují mikroskopické částčky materiálu obrobku. Tyto částčky se odplavují z prostoru obrábění. Tímto způsobem opracujeme obrobek do požadovaného tvaru a požadované přesnosti. Celý proces probíhá v prostředí dielektrika, což je kapalina s vysokým elektrickým odporem, jejímž hlavním úkolem je odplavování odtavených částček obrobku a odvádění vzniklého tepla. Elektroerozivní obrábění lze aplikovat pouze na materiály s elektrickou vodivostí. Materiály zároveň musí podléhat elektroerozivním zákonům. [8]

1.4.1 Elektroerozivní drátové řezání

Mezinárodně se tato technologie označuje jako WEDM (Wire Electrical Discharge Machine). Elektroerozivní drátové řezání využívá elektroerozivní zákon a jako obráběcí nástroj se využívá tenkého drátu, který se odvíjí pomocí speciálního zařízení. Elektrickými výboji, které vzniknou mezi drátem a obrobkem, vzniká jiskrová mezera a tím i příslušný řez (viz obr. 10).

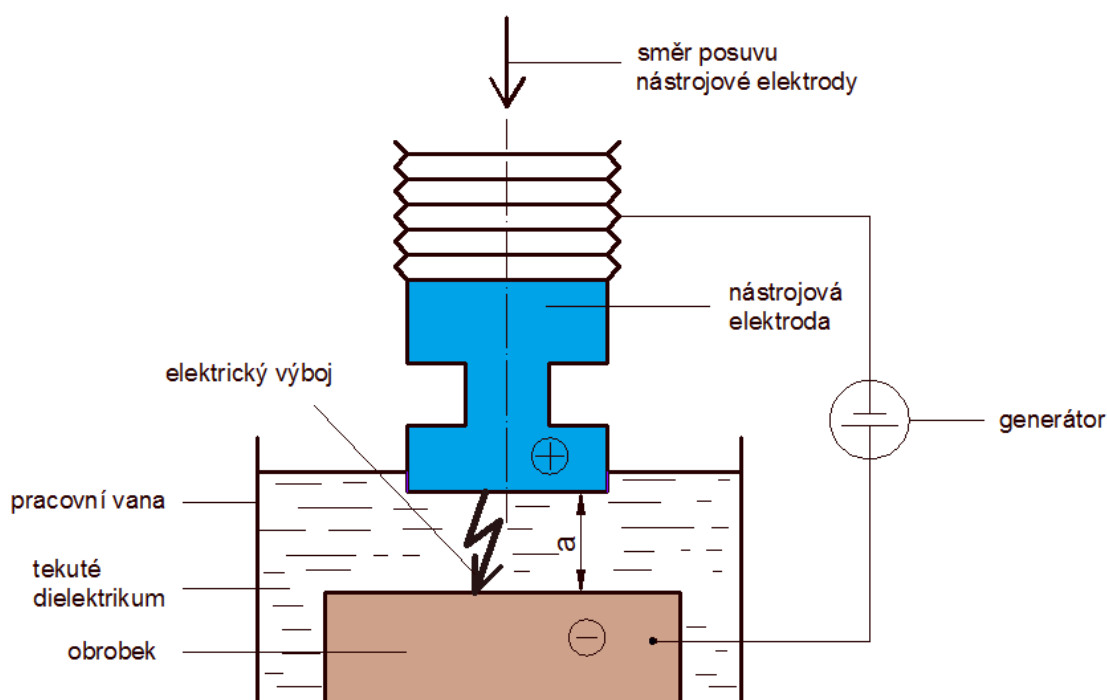


Obr. 10 Schéma WEDM [8]

Hlavními oblastmi, ve kterých je opodstatněné použití výroby drážek pomocí elektroerozivního řezání, je výroba tvarově složitých drážek, dále pak výroba drážek ve velmi tvrdých materiálech jako například v zakalených ocelích, vysoce tvrdých elektrických vodivých keramických materiálech a slinutých karbidech. Dále je tato technologie vhodná pro mikroobrábění (obrábění součástek o velikosti několika desítek mikrometrů) a výrobu drážek v nábojích. [8]

1.4.2 Elektroerozivní hloubení

Elektroerozivní hloubení využívá elektroerozivního zákona a jako nástroj používá monolitní elektrodu, která se ponořuje do dielektrické kapaliny. Použitý nástroj má stejný tvar jako vyráběná drážka. Pro každou dutinu většinou potřebujeme jinou elektrodu, která přesně kopíruje tvar požadované drážky. U elektroerozivního hloubení odpadá nutnost výroby startovacích děr jako u WEDM, protože nástroj vniká do obrobku pomocí elektroeroze. Díky tomu lze vyrobit i neprůchozí dutiny, což nebylo u WEDM možné. Pro elektroerozivní hloubení platí, stejně jako u WEDM, vysoká tvarová a rozměrová přesnost. Princip elektroerozivního hloubení je znázorněn na obr. 11. [9]



Obr. 11 Princip elektroerozivního hloubení [9]

2 SPOLEČNOST SECO TOOLS AB



2.1 Představení společnosti

Společnost Seco Tools AB je jedním z největších světových dodavatelů nástrojů pro průmysl. Společnost Seco Tools AB má zastoupení ve více jak 50 zemích světa prostřednictvím oficiálních kanceláří a další země jsou zastoupeny díky vysokému počtu distributorů a prodejců. Firma Seco Tools AB je držitelem celosvětově uznávaného certifikátu ISO 9001:2008, který zaručuje vysokou kvalitu všech jejich výrobků.

K důležitým oblastem, na které se společnost Seco Tools AB zaměřuje, je vývoj a výzkum nových technologií, materiálů, technologických postupů a nástrojů, které by přispěly k zefektivnění, a tím ke snížení nákladů v průmyslové výrobě.

2.2 Historie společnosti Seco Tools AB

- | | |
|--------------------|---|
| 1929 | Založení firmy Fergestem Bruckem. |
| 1929-1932 | Vývoj nové rychlořezné oceli pro konkurenci rychlořezné oceli „Widia“ firmy Krupp. |
| 1932 | Postavení závodu pro výrobu rychlořezné oceli. |
| 1939 | První experimenty s pájenými břitovými destičkami. |
| 1940 | Začátek výroby wolfram karbidových nástrojů pro vrtání hornin. |
| 1941 | Jednání o nové továrně v Sovětském svazu, která vyústila v neúspěch z důvodu 2. světové války. |
| 1944 | Dokončení nového výrobního závodu v New Yorku. |
| 1945 | Založení společného podniku s finskou firmou Airam O/Y pod názvem O/Y Kovametalli. |
| 1953 | Zahájení plánování budoucnosti celé mateřské společnosti Fagersta, do které patřila také divize Seco. Plán počítal s masivními investicemi do rozšíření portfolia produktů a s vývojem nových řešení divize Seco. |
| 1966 | Společnost Seco představuje systém uchycení břitové destičky Secodex. |
| 1968 - 1971 | Rozšíření výrobních prostor díky odkupu několika švédských výrobců slinutého karbidu, postavení nového výrobního komplexu ve Švédsku. |
| 1986 | Začlenění společnosti Carboloy Inc do společnosti Seco Tools group. |
| 1993 | Odkoupení podniků Planche SA (francouzského specialistu na výstružníky) a EPB (společnost zaměřující se na nástrojové upínací systémy). |
| 2002 | Zahrnutí dánské firmy Jabro specializující se na mlecí nástroje. |

2.3 Řešení společnosti Seco Tools AB pro průmyslová odvětví

Společnost Seco Tools AB se zabývá vývojem a dodáním výkonných řešení pro obrábění v různých oblastech. Každé odvětví má své speciální požadavky a na ty je nutno dbát při návrhu technologického postupu. Mezi hlavní obory patří letecký průmysl, průmysl větrných elektráren, těžba ropy a zemního plynu, dále pak automobilový průmysl, energetika a zdravotnický průmysl.

Pro letecký průmysl jsou nachystaná komplexní řešení pro výrobu součástí motorů, součástí podvozků letadla a dalších konstrukčních částí. Na obr. 12 můžeme vidět zvolené parametry obrábění a nástroj pro lopatku leteckého motoru.



Lopatka

Materiál: Ti6Al4V

Operace: Hrubovací a dokončovací frézování závěsu lopatky

Kritérium: Rozměry, jakost povrchu, životnost

Výsledek: Dobrá jakost povrchu, dlouhá životnost

Nástroj: ↗ **Jabro™ speciální fir tree fréza**

Řezné podmínky: $vc = 80 \text{ m/min}$, $fz = 0.06 \text{ mm/zub}$, plný profil, $ae = 1/0.1 \text{ mm}$

Obr. 12 Lopatka motoru [10]

V automobilovém průmyslu se společnost Seco Tools AB zaměřuje především na obrábění bloku motorů, obrábění klikových hřídelí a obrábění částí poháněných mechanismů jako například převodových skříní (viz obr. 13), otočných čepů řízení a brzdových kotoučů. Většina řešení je prováděná na zakázku přesně podle požadavků zákazníka.



Převodová skříň

Materiál: Hliníková slitina 8% Si

Operace: Frézování do rohu

Kritérium: Jakost povrchu, životnost

Výsledek: Životnost 10 000 součástí

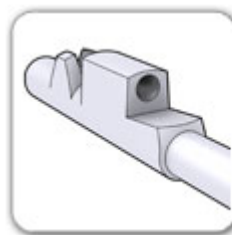
Nástroj: ↗ **R220.69-0050-12-5A**

↗ **XOEX120404FR, PCD20**

Řezné podmínky: $vc = 600 \text{ m/min}$, $fz = 0.08 \text{ mm/zub}$, $ap = 0.3 \text{ mm}$

Obr. 13 Převodová skříň [10]

U zařízení pro těžbu ropy a zemního plynu se očekává bezchybné fungování i v extrémních podmínkách od arktických teplot a velkých mořských hloubek po vysoké teploty v poušti a působení korozního prostředí. Na obr. 14 je ukázka zvoleného nástroje pro výrobu pojistného ventilu pro těžbu ropy.



Pojistný ventil

Materiál: 9Cr

Operace: Frézování vysokým posuvem

Kritérium: Úběr materiálu, životnost

Výsledek: 5-6 krát rychlejší než předchozí řešení

Nástroj: ↗ **R220.21-0063-R160.5A**

Obr. 14 Pojistný ventil pro těžbu ropy [10]

Turbíny v energetickém průmyslu jsou vystaveny nepříznivým podmínkám, které kladou přísné požadavky na materiál. Mezi požadavky se řadí také požadavek na vysoký výkon řezných nástrojů a řešení těchto kritických součástí, zvláště lopatek, které jsou vystaveny působení vysokých teplot. Na obr. 15 si můžeme prohlédnout způsob výroby oběžného kola turbíny pomocí nástrojů společnosti Seco Tools AB. [10]



Oběžné kolo turbíny

Materiál: Ocel

Operace: Hrubování a polodokončování, protahování

Kritérium: úběr materiálu

Výsledek: 50% nižší výrobní čas a náklady

Nástroj: ↗ **Speciální protahovací trn**

Řezné podmínky: $v_c = 60 \text{ m/min}$ ↗

Obr. 15 Oběžné kolo turbíny [10]

2.4 Pobočka společnosti Seco Tools AB v České republice

Seco Tools CZ s.r.o.

Londýnské náměstí 2

CZ-639 00 Brno

Česká republika

3 TECHNOLOGIE TROCHOIDNÍHO OBRÁBĚNÍ

Trochoidní metoda výroby drážek byla vyvinuta pro frézování drážek pomocí technologie HSM (High Speed Machining) – vysokorychlostní obrábění.

3.1 Vysokorychlostní obrábění

Základní podstatou technologie HSM je použití výrazně vyšších otáček vřetene a posuvů než u klasického obrábění. Zvýšením těchto parametrů a vhodným nastavením ostatních parametrů získáme velmi hladký povrch, velký objem odebíraného materiálu za jednotku času a snížení zátěže nástroje. [11]

Princip vysokorychlostního obrábění

Při vysokorychlostním obrábění se teplota třísky blíží teplotě tavení obráběného materiálu. Při určité velikosti řezné rychlosti dochází k náhlé změně řady chemických, metalurgických a mechanických vlastností třísky. Při přechodu třísky střížnou rovinou dochází k rychlému zvýšení teploty v celém jejím průřezu, díky čemuž změkne a tím se zmenší přitlačná síla působící na čelo nástroje. Důsledkem toho je snížení celkového řezného odporu a třecí síly, dojde ke zvětšení úhlu smykové roviny, ztenčí se průřez třísky a zvýší se rychlost odchodu třísky z kontaktní zóny. Tímto se zmenší i samotná plocha kontaktní zóny a omezí se sekundární nárůst teploty třísky třením v kontaktní zóně. Díky vysoké odchozí rychlosti nestačí tříska předat teplo nástroji ani obrobku a drtivá většina tepla odchází s třískou ven z pracovního prostoru. Tímto je vysvětleno omezení opotřebení nástroje i přes značný nárůst teploty. Důsledkem poklesu řezných sil a snížením tepelného toku do obrobku stoupne i přesnost obrábění. [11]

Aplikace

Vysokorychlostní obrábění lze rozdělit do 3 kategorií, v závislosti na řezných podmínkách a parametrech stroje, které se odvíjí od jejich využití v průmyslových odvětvích:

- 1 000–5 000 ot.min⁻¹, 10–20 kW, HSM obrábění s těmito parametry nachází uplatnění v automobilovém průmyslu, například k čelnímu frézování bloků motorů, v medicínském průmyslu a u výroby velmi malých dílů,
- 10 000–30 000 ot.min⁻¹, 20–40 kW, takovéto parametry jsou využívány v leteckém průmyslu pro obrábění konstrukčních dílů křídel, trupů a dalších tenkostěnných a rozměrných dílů z hliníku, které se zhotovují odebráním velkého objemu materiálu,
- 20 000–100 000 ot.min⁻¹, 1–1,5 kW, tato kategorie má využití hlavně v dokončovacích operacích, jako je leštění nebo finišování pro součásti, u kterých požadujeme vysokou kvalitu povrchu. [11]

Stroje pro vysokorychlostní obrábění

Při konstrukci a projektování zařízení, která mají být použita pro HSM obrábění, je důležité se zaměřit na hlavní vlastnosti, kvůli kterým se aplikace HSM provádí, a tím je zvýšení výkonu a kvality obrobku, zvýšení životnosti nástroje, snížení řezných sil a snížení tepelného ovlivnění obrobku.

Hlavním rysem, ve kterém se liší stroje určené pro HSM obrábění, je instalovaný výkon, který je několikanásobně vyšší. [11]

Nástroje pro vysokorychlostní obrábění

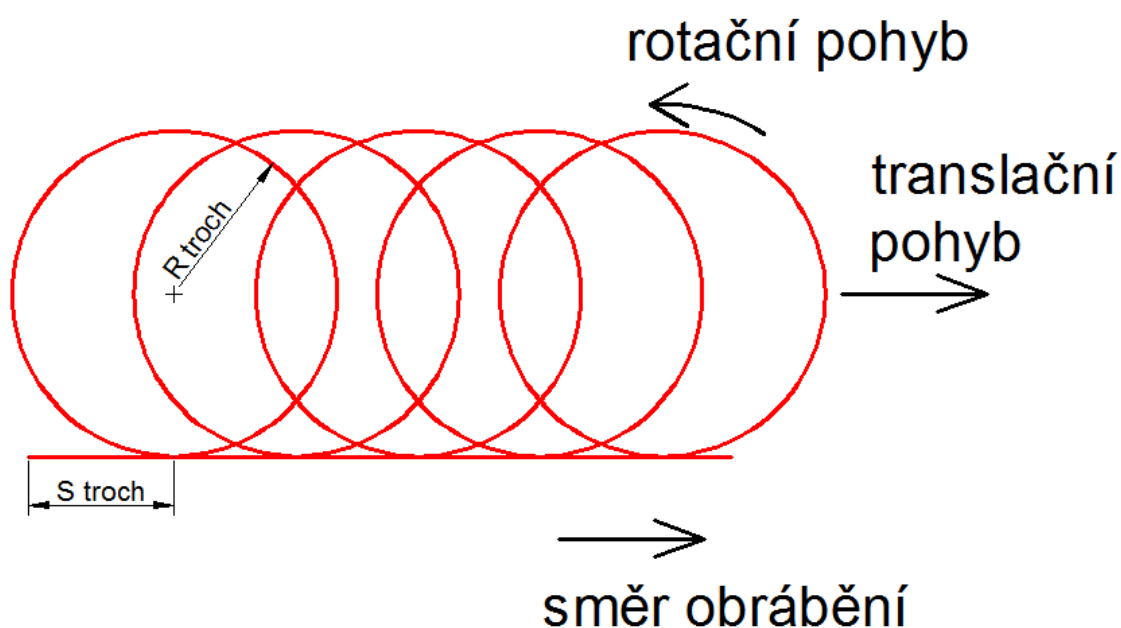
Kvůli vyloučení možnosti náhlého lomu nástroje následkem mechanických nebo tepelných šoků a kvůli snaze snížit opotřebení nástroje musí mít materiály určené k výrobě řezných nástrojů pro HSM vysokou houževnatost, tvrdost povrchu a vysokou odolnost proti chemickému opotřebení. Z podstaty technologie HSM vyplývá, že je nutné, aby tyto vlastnosti byly zachovány i při vysokých teplotách a těžkých záběrových podmínkách řezného procesu. Nejdůležitějším cílem při volbě materiálu pro řezné nástroje je zajištění dostatečné převahy tvrdosti nástroje nad tvrdostí obráběného materiálu v potřebném rozsahu teplot. [11]

Řezné podmínky

Pro maximální využití strojů je nejvhodnější se pohybovat v oblasti nejvyšších otáček, které můžeme pro daný stroj dosáhnout. V těchto oblastech nabývá výkon a krouticí moment svých maximálních hodnot. Nejvhodnější je pohybovat se v těchto oblastech při hrubování. Pro obrábění nanečisto, zvláště u malých průměrů nástrojů, není nutné pracovat v oblasti jmenovitých otáček. Tato skutečnost je dána tím, že při obrábění na čisto malými průměry nástroje, k dosažení optimálních řezných podmínek potřebujeme vyšších otáček při nižších výkonech a krouticích momentech. Optimální volbou a nastavením řezných podmínek docílíme požadovaných efektů HSM. Optimální řezné podmínky se liší pro každý obráběný materiál a pro každý použitý stroj a nástroj. Každý výrobce nástrojů pro HSM udává doporučené řezné podmínky tak, aby byla zajištěna maximální životnost nástroje při odpovídajícím úběru materiálu a odpovídající kvalitě obrobku. [11]

3.2 Trochoidní drážkování

Trochoidní pohyb je definován jako kombinace rotačního a translačního pohybu nástroje, viz obr. 16. Spojením takovýchto pohybů obdržíme spojitou radiální trajektorii, která ve spojení s vhodnými řeznými podmínkami snižuje zatížení nástroje a tím snižuje jeho opotřebení. Ke snížení opotřebení dochází díky tomu, že konkrétní bod nástroje není celou dobu v záběru a v době kdy jede naprázdno, má čas se ochladit. Tato skutečnost má i své zápory, protože při výrobě totožné drážky, při které se nástroj pohybuje po trochoidě oproti dráze tvořené přímkou, narůstá strojní čas potřebný k vytvoření drážky.

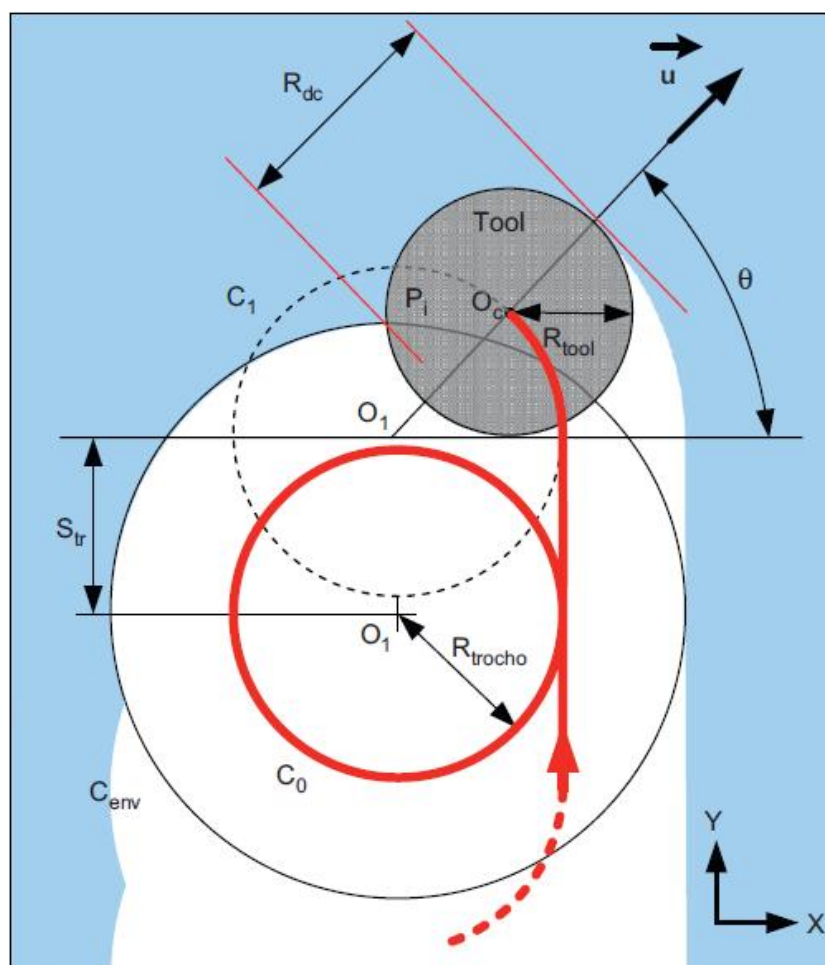


Obr. 16 Dráha trochoidy [12]

Hlavními parametry, které charakterizují trochoidu jsou poloměr trochoidy, krok posuvu a úhel trochoidy:

- poloměr trochoidy (R_{troch}) – udává poloměr kružnice, která opisuje valivý pohyb po pevné základní přímce vycházející ze středu nástroje,
- krok trochoidy (S_{troch}) – definuje vzdálenost mezi středy dvou sousedních kružnic, které charakterizují posun nástroje o danou vzdálenost,
- úhel opásání trochoidy (θ) – určuje úhel záběru, který vzniká mezi dvěma vektory popisujícími oblast, která vznikne při kontaktu nástroje a materiálu.

Tyto parametry charakterizují množství materiálu, které odebere nástroj z obrobku za jednu otáčku trochoidy. Stěny drážky, která byla vyrobena touto technologií, nejsou zcela rovné, ale mají tvar drobných kruhových oblouků. Kvalita povrchu stěny drážky závisí na zvoleném kroku a poloměru trochoidy. Obecně platí, že čím větší poloměr a krok, tím se kvalita povrchu zvětšuje. Síly, které působí na nástroj v průběhu obrábění, jsou silně závislé na těchto parametrech a pomocí těchto parametrů můžeme zásadně ovlivnit působení sil na nástroj. Pro lepší orientaci si tyto parametry můžeme prohlédnout na obr. 17. [12]



Obr. 17 Parametry charakterizující trochoidu [12]

V současné době většina dodavatelů CAM softwaru zahrnuje výpočtové modely pro vytvoření dráhy trochoidy do svých produktů. Pro každou aplikaci a pro každý nástroj je potřeba optimalizovat řezné podmínky a parametry trochoidy.

Použití trochoidního způsobu drážkování klade velké nároky na obráběcí stroje, které musí být schopné zajistit dostatečně velké zrychlení pro zajištění předepsané dráhy pohybu obrobku a musejí mít dostatečně velký výkon pro zajištění požadovaných otáček.

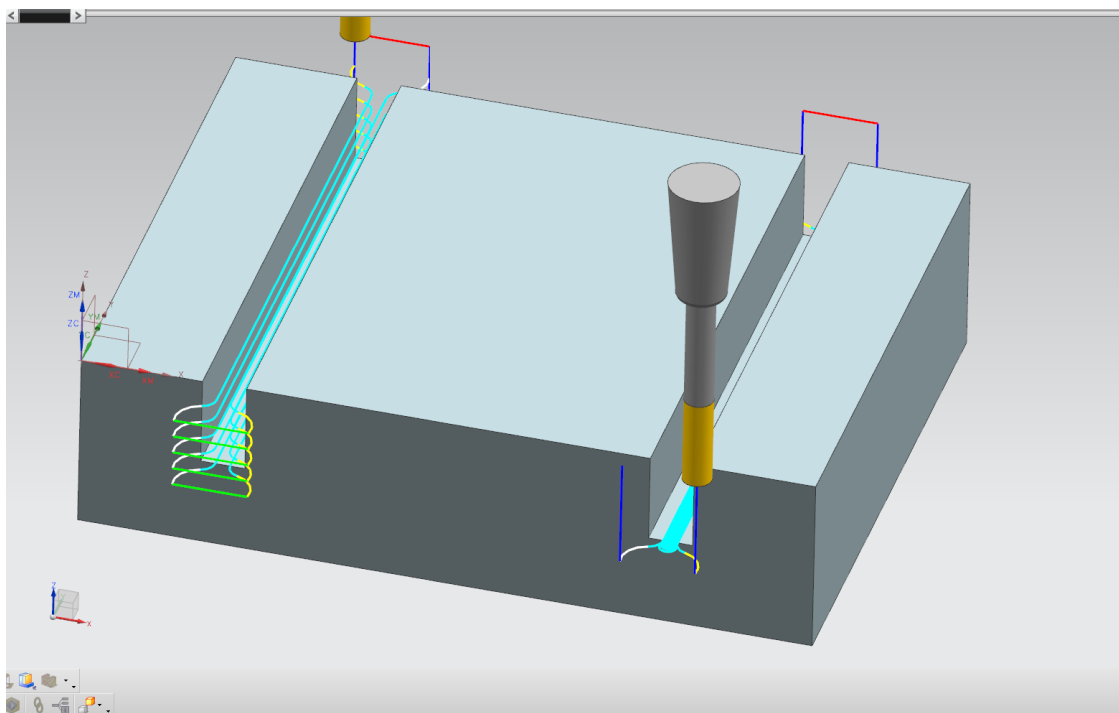
Trochoidní způsob obrábění nachází široké uplatnění při obrábění tvrdých materiálů, jako například slitiny titanu pro letecký průmysl, pomocí nástrojů ze slinutého karbidu, u kterých je velice důležité nezvyšovat úhel opásání. Použití technologie trochoidního obrábění značně zmenšuje úhel opásání právě pomocí přidání kruhových pohybů. [12]

Použití chladicí emulze je potřeba zvážit pro každý případ zvlášť, protože z odborných studií vyplývá, že výsledky obrábění po použití emulze se značně liší a použití emulze může být v některých případech kontraproduktivní.

4 POROVNÁNÍ EFEKTIVITY TROCHOIDNÍHO OBRÁBĚNÍ

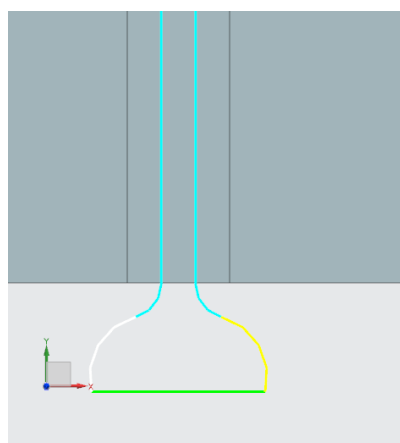
Pro demonstraci účinnosti technologie trochoidního obrábění byl vytvořen virtuální model obrobku, na kterém byly nasimulovány dvě drážky. První drážka byla vytvořena běžným pohybem nástroje po přímce (obr. 18), při simulaci druhé drážky bylo využito trochoidních pohybů nástroje. Hloubka drážky je 50 mm a šířka 24 mm.

Jako nástroj pro vyhotovení drážek byla použita monolitní karbidová fréza společnosti Seco Tools AB s označením 554160R05024.0-SIRON-A o průměru 16 mm a se 4 zuby. Simulace byla provedená za použití softwaru Siemens NX Unigraphics 8, který ve své nejnovější verzi obsahuje modul pro výpočet trochoidního pohybu.

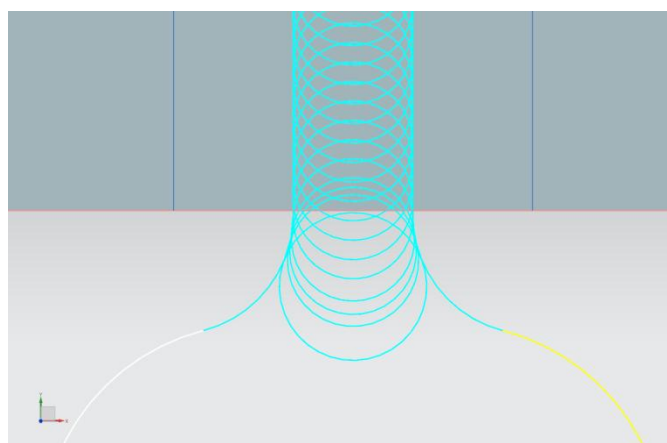


Obr. 18 Náhled drah nástroje

Jak můžeme vidět na obr. 18, při výrobě drážky běžným způsobem bylo potřeba frézovat drážku v 5 krocích, protože pokud bychom zvolili výrobu této drážky najednou, hrozilo by zlomení nástroje vlivem velké hloubky záběru třísky. U trochoidní metody si můžeme dovolit vyfrézovat tuto drážku najednou, protože na nástroj působí daleko menší řezné síly a nemusíme se obávat poškození nástroje. U takto dlouhých drážek může, při klasickém frézování, nastat problém s odvodem třísky, protože nástroj neposkytne prostor, kde by třísky mohly volně odcházet, což způsobí nárůst teploty nástroje díky teplu, které získal z třísek. Při použití trochoidních pohybů nástroje, vzniká díky kruhovitým pohybům dostatečný prostor pro odvod třísky a díky tomu většina tepla odchází z pracovního prostoru spolu s třískou. Na obr. 19 je detailnější pohled na dráhu nájezdu nástroje pro obě porovnávané způsoby výroby drážky.



a)



b)

Obr. 19 Dráha nájezdu nástroje a) frézování po přímce, b) trochoidní obrábění

Tab. 1 Shrnutí řezných podmínek a časů

řezné podmínky	přímé frézování drážky	drážkování s využitím trochoidy
v_c	140	270
f_n	0,095	0,13
t	3:45	2:29

V tabulce 1 můžeme vidět, jakou časovou úsporu nám může přinést použití trochoidního pohybu nástroje. Současně s časovou úsporou se výrazně zvýší životnost nástroje.

Další častou metodou pro výrobu drážek je použití frézy se zuby ve šroubovici. Takovéto nástroje se používají u drážek větších průměrů (od 50 mm). Pokud použijeme takovýto nástroj a pohyb nástroje bude přímočarý s velkou hloubkou záběru (v našem případě 50 mm) je nutné frézovat na stroji o velkém výkonu, protože při nezajištění dostatečného výkonu by došlo k trhavému pohybu nástroje, stroj by se rychleji opotřeblal a výsledná drážka by neměla odpovídající kvalitu. Při použití stejné monolitní frézy jako v předchozím příkladu a použití trochoidního pohybu nástroje snížíme čas potřebný pro výrobu drážky a současně snížíme opotřebení nástroje a stroje.

Obecně lze říci, že technologie trochoidního obrábění nachází uplatnění při výrobě drážek větších rozměrů. Při použití této technologie pro výrobu plochých drážek s malou hloubkou záběru třísky by naopak došlo k prodloužení času výroby, protože dráha, kterou by musel nástroj urazit, je značně větší, než při frézování po přímce.

ZÁVĚR

Dlouhodobým trendem ve strojírenství jsou stále se zvyšující požadavky na rychlost, přesnost a ekonomičnost výroby. Strojírenské podniky jsou nuceny pod tlakem konkurence hledat nové technologie, které by vyhověly těmto rostoucím požadavkům. Použití technologie trochoidního obrábění může značně přispět k zefektivnění výroby drážek, jak bylo ukázáno na příkladu v kapitole 4.

Nespornou výhodou zavedení této technologie do provozu je, že veškerá změna oproti konvenčnímu způsobu simulace dráhy se odehrává na úrovni softwaru a tím odpadá výroba nákladných forem, nákup speciálních strojů, nástrojů či nějaké zásadní uzpůsobení pracoviště. Díky těmto skutečnostem je použití trochoidy pro modelování dráhy nástroje snadno dostupné i pro menší podniky, které si nemohou dovolit rozsáhlé investice. K výhodám dané technologie patří také fakt, že jeden nástroj může být použit pro výrobu drážek různých šířek a hloubek za současného zachování výhod této technologie.

Při rozhodování, zda použít tuto technologii je ale třeba mít na paměti, že není zcela univerzální a u každé drážky by se měla zvlášť posuzovat vhodnost této technologie.

Tato práce pouze představuje metodu výroby drážek pomocí trochoidního obrábění jako alternativu k běžným způsobům výroby drážek a popisuje výhody a zároveň i úskalí, které přináší její aplikace. Práce se nezabývá detailním rozbořem sil působících na nástroj v průběhu obrábění a jejich vliv na životnost nástroje a kvalitu povrchu drážky. Na tuto problematiku se v současnosti zaměřuje několik vědeckých týmů a nepochybně i vývojová centra výrobců řezných nástrojů. V tématu trochoidního obrábění by bylo možné pokračovat a rozvinout ho například v diplomové práci, která by se mohla zaměřit na nastavení řezných podmínek pro co nejefektivnější obrábění touto technologií.

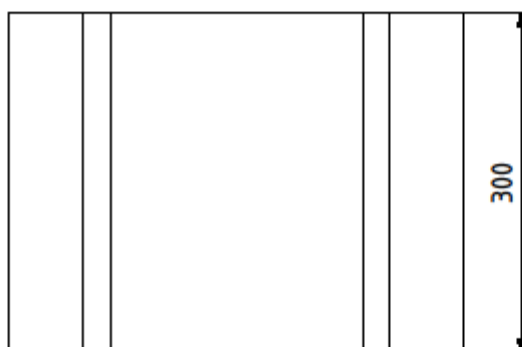
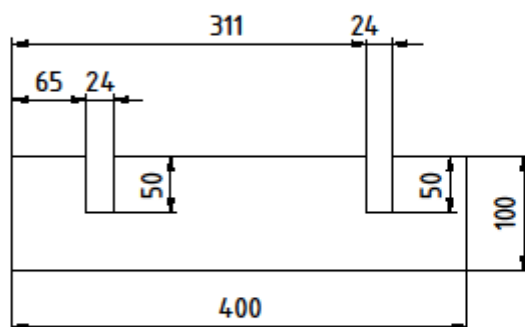
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Poeta. *Poeta.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.poeta.cz/citaty/kategorie/pokrok>
2. HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ - 2. část* [online]. Brno, 2004 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory>. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT FSI.
3. Hoblování a obrážení. In: *Techstroj* [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: techstroj.g6.cz/T/T18.pdf
4. Obráběcí stroje. *Www.jhamernik.sweb.cz* [online]. 11.11.2006 [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/OBRSTROJ.htm>
5. Frézování drážek. *Zozei.sssebrno.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://zozei.sssebrno.cz/frezovani-draek/>
6. Tvary drážek. *Mechatronika* [online]. 2012 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://coptel.coptkm.cz/index.php?action=2&doc=24556&instance=2>
7. FRÉZOVÁNÍ SPECIÁLNÍCH DRÁŽEK (FRÉZOVÁNÍ T DRÁŽEK). *Strojírenství - frézování* [online]. 2009 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.cz/2011/03/27-frezovani-specialnich-drazek.html>
8. BARTOŠ, Pavel. *ELEKTROEROZIVNÍ DRÁTOVÉ ŘEZÁNÍ* [online]. Brno, 2011 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39135. Diplomová práce. VUT FSI.
9. MARŠÁLEK, Jaroslav. *RACIONALIZACE TECHNOLOGICKÉHO PROCESU ELEKTROEROZIVNÍHO OBRÁBĚNÍ HLOUBENÍ* [online]. Brno, 2009 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/13537/Diplomov%C3%A1%20pr%C3%A1ce,%20Bc.%20Jaroslav%20Mar%C5%A1%C3%A1lek.pdf?sequence=1>. Diplomová práce. VUT FSI.
10. Seco Tools [online]. 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.secotools.com/cs>
11. Technologie HSC. *Technik* [online]. 2002 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://technik.ihned.cz/c1-11353150-technologie-hsc>
12. Improving trochoidal toolpaths generation and implementation using process constraintsmodelling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* [online]. 2009, č. 49 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695508002332>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
AB	[-]	aktiebolaget
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing
EDM	[-]	Electrical Discharge Machining
HSM	[-]	High Speed Machining
WEDM	[-]	Wire Electrical Discharge Machine

Symbol	Jednotka	Popis
R_{troch}	[mm]	poloměr trochoidy
S_{troch}	[mm]	krok trochoidu
f_n	[mm]	posuv na otáčku
t	[s]	strojní čas
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
θ	[°]	úhel opásání trochoidy



Struktura povrchu:		Hrany:		Měřítko 1:5	Přesnost ISO 2768-mK
					TolerováníISO 8015
					Promítání 
Materiál10058	Polotovár PLO310X110-410			Hmotnost11,3 kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ	Druh dokumentu VÝKRES SOUČÁSTI			Název SUPORT	
	Kreslil ARTUR FERHECKI				
	Schválil			Číslo dokumentu 1	
	Datum vydání 22.5.2013				
List /					