



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# VÝVOJ A KONSTRUKCE MODULOVÉ FRÉZY Z HSS OCELI

DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF HSS MODULAR MILLING CUTTER

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Beneš

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

BRNO 2016



## Zadání bakalářské práce

|                   |                                |
|-------------------|--------------------------------|
| Ústav:            | Ústav strojírenské technologie |
| Student:          | <b>Ondřej Beneš</b>            |
| Studijní program: | Strojirenství                  |
| Studijní obor:    | Strojírenská technologie       |
| Vedoucí práce:    | <b>Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.</b>  |
| Akademický rok:   | 2015/16                        |

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

### Vývoj a konstrukce modulové frézy z HSS oceli

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je proveden rozbor a rozdělení rychlořezných ocelí a modulových frézovacích nástrojů. Součástí práce je návrh a konstrukce modulové frézy, která bude konstruována v 3D parametrickém softwaru Autodesk Inventor.

#### Cíle bakalářské práce:

Úvod

1. Charakteristika rychlořezných ocelí
2. Charakteristika modulových fréz
3. Návrh geometrie a rozměrů nástroje
4. Konstrukce nástroje
5. Výroba prototypu nástroje

Závěr

#### Seznam literatury:

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 255 s. ISBN 80-214-2374-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. 1. vyd. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

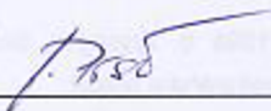
PTÁČEK, L. a kol. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 392 s. ISBN: 80-7204-283-1.

KUMAR, S., TANDON, P., DHANDE, S. A generic mathematical model of single point cutting tools in terms of grinding parameters, Applied Mathematical Modelling.2011, vol. 35, issue 10, pp. 5143-5164, ISSN 0307-904X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2011.04.017>.

Termin odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

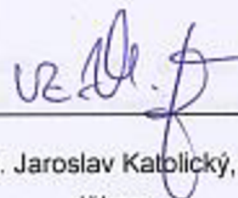
V Brně, dne 3. 11. 2015



  
\_\_\_\_\_

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.

ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan

## ABSTRAKT

Cílem této práce je navrhnout geometrii a rozměry modulové evolventní frézy, její konstrukce v parametrickém softwaru Autodesk Inventor a následná výroba prototypu této frézy. Tato práce se také zabývá rozbohem a rozdělením rychlořezných ocelí a frézovacích nástrojů. Při řešení této problematiky bylo využito literatury, norem a spolupráce s firmou ZPS-FN a.s. Výsledkem práce jsou vyrobené prototypy evolventní frézy modulu 2 z osmičlenné řady a to členy 1 a 8.

### Klíčová slova

Modulová fréza, vývoj, konstrukce, prototyp, frézování, rychlořezná ocel.

## ABSTRACT

The aim of this thesis is to design geometry and dimension of involute gear cutter and its construction on parametric software Autodesk Inventor and fabrication a prototype of this cutter. This thesis has also concern with analysis and division of high speed steel and division of cutting tools. In this thesis was used bibliography, norms and collaboration with company named ZPS-FN a.s. The result of thesis is fabrication of prototypes of involute gear cutter for module 2 from eight-member sequence, namely members 1 and 8.

### Key words

Involute gear cutter, design, construction, milling, high speed steel.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BENEŠ, O. *Vývoj a konstrukce modulové frézy z HSS oceli*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 38 s. Vedoucí práce Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **VÝVOJ A KONSTRUKCE MODULOVÉ FRÉZY Z HSS OCELI** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

.....  
Ondřej Beneš

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Aleši Jarošovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které také pomohly při vypracování této práce. Déle bych rád poděkoval své rodině a blízkým za podporu, kterou mi po celou dobu studia poskytovali.

---

podpis

**OBSAH**

|  |    |
|--|----|
| ABSTRAKT.....  | 4  |
| PROHLÁŠENÍ.....  | 5  |
| PODĚKOVÁNÍ .....   | 6  |
| OBSAH .....  | 7  |
| ÚVOD .....   | 8  |
| 1 CHARAKTERISTIKA RYCHLOŘEZNÝCH OCELÍ.....                           | 9  |
| 1.1 Základní definice rychlořezných ocelí .....                      | 9  |
| 1.2 Rozdělení rychlořezných ocelí a jejich značení .....             | 9  |
| 1.3 Základní vlastnosti a použití rychlořezných ocelí .....          | 13 |
| 1.4 Chemické složení rychlořezných ocelí .....                       | 14 |
| 1.5 Tepelné zpracování a výsledná struktura rychlořezných ocelí..... | 15 |
| 2 CHARAKTERIZACE MODULOVÝ FRÉZ .....                                 | 16 |
| 2.1 Základní definice frézování .....                                | 16 |
| 2.2 Rozdělení frézovacích nástrojů.....                              | 17 |
| 2.3 Frézování modulovou frézou .....                                 | 20 |
| 3 NÁVRH GEOMETRIE A ROZMĚRŮ NÁSTROJE.....                            | 22 |
| 3.1 Charakterizace funkčních rozměrů .....                           | 22 |
| 3.2 Návrh základních rozměrů nástroje .....                          | 23 |
| 3.3 Návrh geometrie nástroje .....                                   | 23 |
| 4 KONSTRUKCE NÁSTROJE.....   | 26 |
| 5 VÝROBA PROTOTYPU NÁSTROJE .....                                    | 31 |
| 5.1 Výrobní pomůcky .....  | 31 |
| 5.2 Výroba prototypu .....   | 31 |
| 5.3 Vyrobené prototypy .....   | 32 |
| 5.4 Měření geometrie .....   | 32 |
| ZÁVĚR .....  | 35 |
| SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....  | 36 |
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....                             | 38 |



## ÚVOD

Ozubená kola jsou součásti, jimiž se přenáší točivý moment a jsou použita ve většině strojů. Jejich výroba je složitá, kvůli tvaru zubu kola, který má přesně definovanou funkci. V dnešní době je kladen velký důraz na kvalitu ozubených kol a jejich geometrii. Přestože se modulové frézy používají v kusové výrobě, stále mají na trhu své místo díky jejich snadnému použití při výrobě ozubených kol. K výrobě ozubeného kola stačí koupit modulovou frézu pro požadovaný počet zubů a modul, které zjistíme jednoduchým výpočtem, a metodou dělicího způsobu vyrobit na frézovacím stroji jednotlivé zubové mezery do polotovaru.

Při psaní této bakalářské práce autor úzce spolupracoval s firmou ZPS FN a.s. Tato firma je nejvýznamnějším výrobcem fréz na českém trhu s dlouholetou tradicí, se sídlem v 71. budově průmyslového areálu Svitů ve Zlíně. Vyrábí a dodává široký sortiment jak standartních, tak i speciálních druhů fréz. Frézy jsou vyráběné z rychlořezné oceli nebo slinutých karbidů. Pro firmu je důležitá široká škála kvalitních nástrojů, aby dokázala uspokojit stále náročnější zákazníky. Vyrobene prototypy by měly sloužit pro první verzi nástroje a po otestování a případného dalšího vývoje zařadit do stálého katalogu firmy a tím zvýšit konkurenceschopnost na trhu rozšířením nabídky.

V práci je popsán návrh a konstrukce modulové frézy, vyrobené z rychlořezné oceli s následnou výrobou prototypu. V první kapitole se tato práce zabývá charakterizací rezného materiálu, z kterého bude nástroj vyráběn. Druhá kapitola pojednává o základních principech frézování, jeho užití, rozdělení druhů fréz a popisem modulových evolventních fréz. Obsahem třetí kapitoly je samotný návrh geometrie rezné části a základních rozměrů nástroje. Čtvrtá kapitola popisuje konstrukci v 3D parametrickém softwaru Autodesk Inventor, která je rozdělená na jednotlivé kroky popisující konstrukci nástroje. V poslední kapitole jsou popsány výrobní pomůcky, samotná výroba a následné měření přesnosti vyrobených prototypů.

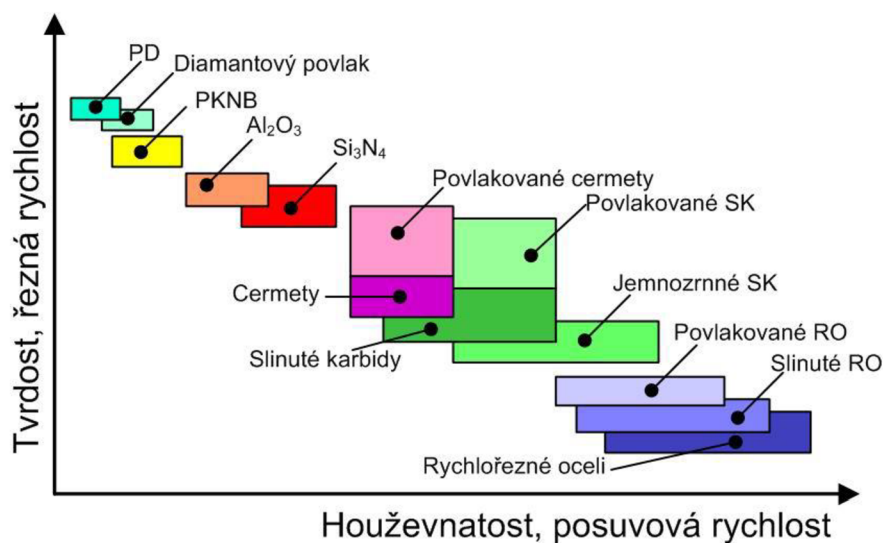
## 1 CHARAKTERISTIKA RYCHLOŘEZNÝCH OCELÍ

V této kapitole se autor věnuje rychlořezným ocelím, jelikož byl tento materiál zvolen i pro výrobu prototypu modulové frézy. Po základní definici budou rozděleny rychlořezné oceli dle určitých parametrů, budou popsány jejich vlastnosti a příklady použití. Dále bude řečeno něco o chemickém složení HSS a nakonec základní tepelné zpracování těchto ocelí.

### 1.1 Základní definice rychlořezných ocelí

Rychlořezné oceli (HSS) spadají do podskupiny ocelí, které se nazývají nástrojové. Tento název nám již napovídá, že se jedná o oceli určené pro výrobu řezných nástrojů, např. vrtáků, soustružnických nožů, protahováků, fréz atd. Na trhu jsou nejvíce zastoupeny šroubovitými vrtáky či nástrčnými a stopkovými frézami [1].

Rychlořezná ocel má dobrou řezivost jakožto i dobré mechanické vlastnosti oproti jiným materiálům. Vyznačují se tvrdostí, houževnatostí a pevností, které jsou potřebné při namáhání nástrojů v řezu. HSS si zachovává svou tvrdost i při vysokých obráběcích teplotách díky své tvrdosti, získané také při kalení [2].



Obr. 1.1 Přehled nástrojových materiálů, dlouhodobý vývojový [3].

V roce 1900 byla navržena slitina o složení 1,85 %C, 8 %W, 7,8 %Cr, 0,3 %Mn, které bylo později upraveno na 7 %C, 19 %W, 5,5 %Cr, 0,3 %V. Tento řezný materiál umožňoval obrábění s tvorbou třísek rozžhavených do červena, což do té doby znamenalo okamžité zničení nástroje. Řezná rychlost byla sedminásobně zvýšena a to z 5 m/min na 35 m/min. Proto si tento materiál vysloužil označení High Speed Steel, z kterého vychází označení HSS [1].

### 1.2 Rozdělení rychlořezných ocelí a jejich značení

Rychlořezné oceli lze zařadit do skupiny nástrojů z vysokolegovaných ocelí, které dále můžeme rozdělit podle výkonu, chemického složení nebo technologie výroby.

**Rozdělení dle výkonu [4]:**

- vysoce výkonné,
- výkonné,
- pro běžné použití.

Vysoko výkonné oceli dosahují koeficientu řezivosti 1,3. Mimo hlavní legující prvky obsahují 5 až 10 % kobaltu. Tento druh HSS je vhodný pro řezné nástroje, kde dochází k zahřátí břitu na teplotu 640 až 650 °C. Používají se na obrábění materiálů o vysoké pevnosti a houževnatosti. Při vysokých rychlostech se používají i k obrábění běžných materiálů [4].

Výkonné oceli dosahují koeficientu řezivosti 1 až 1,3. Do této kategorie patří ocel 19 802, která obsahuje 10 % wolframu a 2 % vanadu, ocel 19 810 se zvýšeným obsahem vanadu a wolfram-molybden-vanadové oceli 19 829 a 19 830 [4,5].

Oceli pro běžné použití dosahují koeficientu řezivosti hodnot menších než jedna. Tuto skupinu ocelí definuje ocel 19 824, která také započala vývoj rychlořezných ocelí. Avšak díky pokroku se plánuje zrušení její výroby společně s ocelí 19 800. V této skupině HSS tudíž zůstane ocel 19 829 a 19 813. Používají se pro obrábění materiálů s pevností do 850 MPa a to při průměrných rychlostech [4].

**Rozdělení podle technologie výroby [4]:**

- výroba tvářením,
- výroba litím,
- výroba práškovou metalurgií.

Výroba litím se používá převážně pro tvarově složité nástroje, kde by výroba třískovou metodou byla složitá a velmi nákladná. I přes nižší houževnatost odlévaných ocelí, lze odlévat nástroje používané k frézování.

Výroba rychlořezných ocelí metodou práškové metalurgie dosahuje oproti tvářeným ocelím lepší obrobitelnost a vyšší houževnatost. Takto vyrobené oceli jsou vhodné pro všechny typy nástrojů a pro všechny druhy obrábění [6].

**Rozdělení podle chemického složení [4]:**

- wolfram-chrom-vanadové oceli,
- wolfram-chrom-vanad-kobaltové oceli,
- wolfram-chrom-molybden-vanadové oceli,
- wolfram-chrom-molybden-vanad-kobaltové oceli.

**Značení rychlořezných ocelí [7]:**

Dle ČSN 42 002 se rychlořezná ocel značí 19 8xy.GH, kde:

- xy – se mění podle třídy oceli,
- G – druh tepelného zpracování,
- H – stupeň přetvoření.

Tab. 1.1 Značení oceli třídy 19 [8].

| Číselná značka  | Význam třetí číslice   |                           |
|-----------------|--|---------------------------|
| 19 0 X X        | Dvojčíslí ze 3. a 4. číslice vyjadřuje u nelegovaných ocelí střední obsah uhlíku | Nástrojové oceli uhlíkové |
| 19 1 X X        |  |                           |
| 19 2 X X        |  |                           |
| 19 3 X X        | Oceli manganové, křemíkové, vanadové   | Nástrojové oceli legované |
| 19 4 X X        | Oceli chromové   |                           |
| 19 5 X X        | Oceli chrommolybdenové   |                           |
| 19 6 X X        | Oceli niklové  |                           |
| 19 7 X X        | Oceli wolframové   |                           |
| <b>19 8 X X</b> | <b>Oceli rychlořezné</b>   |                           |
| 19 9 X X        | Speciální oceli  |                           |

Popis první doplňkové číslice popisuje druh tepelného zpracování dané oceli (tab. 1.2).

Tab. 1.2 Význam první doplňkové číslice [8].

| První doplňková číslice | Stav oceli (druh tepelného zpracování)   |
|-------------------------|--|
| 1xxxx.0                 | tepelně nezpracovaný   |
| 1xxxx.1                 | normalizačně žíhaný  |
| 1xxxx.2                 | žíhaný (s uvedením způsobu žíhání)   |
| 1xxxx.3                 | žíhaný na měkko  |
| 1xxxx.4                 | kalený nebo kalený a popouštěný při nízkých teplotách, po rozpouštěcím žíhání (jen u austenitických ocelí) |
| 1xxxx.5                 | normalizačně žíhaný a popouštěný   |
| 1xxxx.6                 | zušlechťený na dolní pevnost obvyklou u příslušné oceli  |
| 1xxxx.7                 | zušlechťený na střední pevnost obvyklou u příslušné oceli  |
| 1xxxx.8                 | zušlechťený na horní pevnost obvyklou u příslušné oceli  |
| 1xxxx.9                 | stavy, které nelze označit číslicemi 0 až 8  |

Význam druhé doplňkové číslice popisuje stupeň přetvoření, kterým daný materiál prošel (tab. 1.3).

Tab. 1.3 Význam druhé doplňkové číslice [8].

| Druhá doplňková číslice | Stupeň přetváření   |
|-------------------------|---|
|                         | pásky válcované zastudena   |
| 1xxxx.x0                | dále nepřeválcováno   |
| 1xxxx.x1                | lehce převálcováno  |
| 1xxxx.x2                | 1/4 tvrdý   |
| 1xxxx.x3                | 1/2 tvrdý   |
| 1xxxx.x4                | 3/4 tvrdý   |
| 1xxxx.x5                | 4/4 tvrdý   |
| 1xxxx.x6                | 5/4 tvrdý   |
| 1xxxx.x7                | netvoří se při něm čtyřlístky (pásky jsou zpracovány se zřetelem na omezení anizotropie mechanických vlastností materiálů - omezení tvorby cípů); mechanické vlastnosti jako u měkce žíhaného materiálu |
| 1xxxx.x8                | zpracováno podle zvláštního předpisu  |
| 1xxxx.x9                | zpracování podle dohodnutého předpisu   |

### Značení rychlořezných ocelí dle normy EN ISO 4957 [7]:

Podle nové normy EN ISO 4957 Evropské Unie (EU) se zavádí značení nástrojových ocelí, které ve svém označení zohledňuje obsah legujících prvků v daném materiálu.

Tab. 1.2 Struktura evropských značek ocelí [7].

| Základní symboly:  |
|--|
| Písmena HS = rychlořezné oceli   |
| Obsahy legujících prvků: čísla <sup>h)</sup> , oddělená spojovníky, udávající procentuální obsah legujících prvků v následném pořadí:<br>- wolfram (W),<br>- molybden (Mo),<br>- vanad (V),<br>- kobalt (Co).                  |
| Přídavné symboly pro oceli:  |
| <b>Skupina 1:</b>  |
| Chemická značka(y) prvku(ů) s nejvyšším obsahem (při stejném druhu oceli).   |
| <b>Skupina 2:</b>  |
| h) Každé číslo určuje střední procentuální obsah prvku, který je zaokrouhlen na nejbližší celé číslo. Přídavné symboly pro ocelové výrobky jsou uvedené pro stavy zpracování v tabulce příklady symbolů pro tepelné zpracování |

### Příklad značení:

Ocel 19 861 značená dle ČSN 41 9861 se značí HS 10-4-3-10 dle EU ISO 4957, kde HS=rychlořezná ocel, 10 = 10 %W, 4 = 4 %Mo, 3 = 3 %V, 10 = 10 %Co a dále ocel standardně obsahuje 4 % Cr [1].

### 1.3 Základní vlastnosti a použití rychlořezných ocelí

U rychlořezných ocelí se požaduje vysoká odolnost proti popouštění, tvrdost a pevnost v ohybu i po tepelném zpracování. Tvrdost patří k faktorům, které zajišťují odolnost proti opotřebení a v běžné průmyslové výrobě dosahuje její hodnota 63 až 65 HRC, kdy lze u některých značek dosáhnout až 67 HRC. Avšak při zvýšené teplotě dochází k souvislému snižování tvrdosti břitů [4].

Tab. 1.3 Doporučené použití rychlořezných ocelí [1].

| Skupina           | Třída                          | Vlastnosti  | Použití  |
|-------------------|--------------------------------|---|--|
| Pro běžné použití | 19 820<br>EN HS<br>4-4-3       | Vysoká tvrdost a houževnatost, dobrá odolnost proti opotřebení                                  | Nástroje pro běžné použití při menším tepelném namáhání.   |
| Výkonné           | 19 802<br>EN HS<br>10-0-4      | Vysoká houževnatost, dobrá odolnost proti opotřebení, snadná obrobiteľnosť.                     | Značně namáhané nástroje pro obrábění materiálů nižší až střední pevnosti.                                       |
|                   | 19 810<br>EN HS<br>11-0-4      | Vysoká odolnost proti opotřebení a proti popouštění, nižší houževnatost a špatná obrusitelnost. | Nástroje pro jemné obrábění, obrábění abrazivních materiálů.   |
|                   | 19 829<br>EN HS<br>7-5-2       | Vyšší tvrdost, odolnost proti opotřebení, nižší houževnatost.                                   | Pro obrábění při zvětšeném tepelném namáhání. Značně namáhané nástroje pro obrábění materiálů střední pevnosti.  |
|                   | 19 830<br>EN HS<br>6-5-2       | Nejvyšší houževnatost, vysoká odolnost proti opotřebení a dobrá obrusitelnost.                  |  |
| Vysoce výkonné    | 19 850<br>EN HS<br>7-6-3-9     | Vysoká tvrdost a odolnost proti popouštění, dobrá houževnatost, vysoká řezivost.                | Vysoce namáhané nástroje pro těžkoobrobitelné, houževnaté a velmi pevné materiály, v nejnáročnějších podmínkách. |
|                   | 19 852<br>EN HS<br>6-5-2-5     | Vyšší odolnost proti opotřebení.  | Obrábění vysokými řeznými rychlostmi nebo materiálů vysoké pevnosti.   |
|                   | 19 855<br>EN HS<br>18-1-2-5    | Vysoká odolnost proti popouštění a opotřebení.  | Představuje doplňkový sortiment na nástroje na kovy.   |
|                   | 19 856<br>EN HS<br>10-5-2,3-5  | Velmi vysoká odolnost proti popouštění, nižší houževnatost.                                     | Obrábění těžkoobrobitelných materiálů vysokými rychlostmi.   |
|                   | 19 857<br>EN HS<br>10-5-2,3-10 | Velmi vysoká odolnost proti opotřebení, nižší houževnatost.                                     | Vysoce namáhané nástroje pro obrábění pevných materiálů.   |
|                   | 19 861<br>EN HS<br>10-4-3-10   | Vysoká odolnost proti opotřebení, dobrá houževnatost.   | Vysoce namáhané nástroje pro obrábění při požadavku vysokou odolnost proti opotřebení.                           |

#### 1.4 Chemické složení rychlořezných ocelí

Rychlořezné oceli obsahují 0,65 až 1,5 % uhlíku avšak ve většině dnešních HSS se vyskytuje méně než 1 % uhlíku (**C**). Obsah uhlíku ovlivňuje řezivost, kdy se stoupajícím množstvím **C** se řezivost rychlořezných ocelí zvětšuje. Obsah uhlíku také ovlivňuje mechanické vlastnosti a tepelné zpracování ocelí [4].

Tento typ ocelí obsahuje 10 % až 30 % legujících prvků, přičemž jejich obsah záleží na typu oceli. Mezi základní legující prvky patří wolfram (**W**), chrom (**Cr**), vanad (**V**) a molybden (**Mo**), kdy tyto prvky jsou karbidotvorné. Dalším důležitým legovacím prvkem je kobalt (**Co**) [4,1].

Hlavním legujícím prvkem rychlořezných ocelí je wolfram (**W**). Obsah **W** se pohybuje od 10 % do 18 %. Část wolframu je vázaná na uhlík jako karbid, část je pak rozpuštěna v základní matici. Nerozpuštěné karbidy wolframu brání růstu zrna. Po zakalení a popouštění tyto karbidy zvyšují odolnost proti opotřebení. Díky snížené difúzní rychlosti zachovává zvýšenou tvrdost i při vyšších teplotách. Wolfram zásadně ovlivňuje teplotní stálost rychlořezných ocelí. Oceli s nižším obsahem wolframu jsou levnější, mají lepší plastické vlastnosti, nižší kalící teplotu. I přes tyto vlastnosti si zachovává svou řezivost [1,4].

Část chromu (**Cr**) je rozpuštěna v základní matici, kde část tvoří karbid  $M_{23}C_6$ , který se při austenitizaci zcela rozpustí. Takto rozpuštěný chrom (**Cr**) zvyšuje hloubku prokalitelnosti, přičemž však zvětšuje množství zbytkového austenitu. Aby bylo výsledné množství zbytkového austenitu co nejmenší, pohybuje se obsah chromu u **HSS** ocelí kolem 4 % (3,5 % až 5 %) [4].

Dalším důležitým prvkem je Vanad (**V**), který tvoří velmi tvrdé karbidy  $M_4C_3$ , díky své vysoké slučitelnosti s uhlíkem. Tyto karbidy jsou tvrdší než karbidy ostatních legujících prvků. Při ohřátí na kalící teplotu se **V** rozpustí v austenitu a během popouštění se vylučuje jako karbid vanadu a významně tím přispívá ke vzniku tzv. sekundární tvrdosti. Menší karbidy vanadu (**V**) se rozpouštějí při vyšších teplotách [1,4].

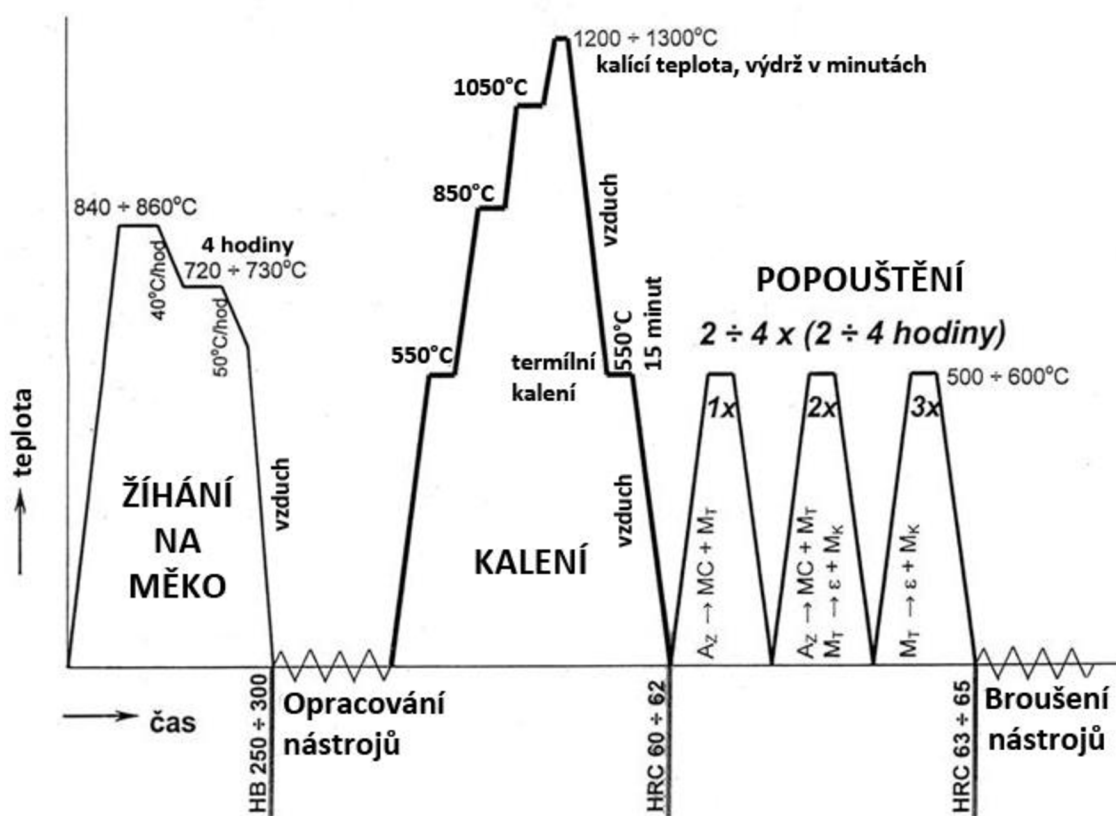
Rychlořezné oceli s obsahem molybdenu (**Mo**), jsou vhodné na nástroje s přerušovaným řezem a to díky zvýšené houževnatosti. Pokud je obsah molybdenu (**Mo**) vyšší než 4 % jsou však tyto **HSS** náchylnější na oduhličení a přehřátí při kalení. Molybden (**Mo**) také slouží jako náhrada wolframu (**W**) [4].

Kobalt (**Co**) patří k legujícím prvkům s rozporuplnými vlastnostmi. Má příznivý vliv na odolnost proti popouštění rychlořezných ocelí, ale také snižuje rychlost růstu zárodků a tím zpomaluje koagulaci. Čím je vyšší obsah kobaltu (**Co**) v **HSS**, tím se zvyšuje sklon k oduhličení při dalším tepelném zpracování a způsobuje nižší houževnatost a pevnost. Tento legující prvek má také vyšší pořizovací cenu, která dále ovlivní cenu daného výrobku [4].

Mezi další prvky ovlivňující mechanické a chemické vlastnosti patří mangan (**Mn**), který výrazně zhoršuje obrobitelnost **HSS** žíhaných naměkko. Také má menší sklon k difúznímu cyklu, co ovlivňuje jeho rychlost. Kvůli těmto vlastnostem je obsah manganu (**Mn**) omezen na hodnotu 0,45 % [4].

### 1.5 Tepelné zpracování a výsledná struktura rychlořezných ocelí

Mechanické vlastnosti rychlořezných ocelí a jejich řezivost lze významně ovlivnit jejich tepelným zpracováním. K tomuto účelu se používá metoda kalení, při které se materiál ohřeje na tzv. kalící teplotu a poté je prudce ochlazen čímž získá vyšší tvrdost povrchu. Mezi další metody tepelného zpracování rychlořezných ocelí je několikanásobné popouštění, při kterém se materiál pomalu ohřeje na tzv. popouštěcí teplotu, která se u rychlořezných ocelí pohybuje mezi 500 – 600 °C, a poté se pomalu ochlazuje, díky čemuž docílíme snížení pnutí v materiálu vzniklé kalením (obr. 1.2). Poslední významnou metodou, která ovlivňuje vlastnosti materiálu je žihání naměkko. Při této operaci je materiál ohřát pod teplotu  $A_{c1}$ , která se pohybuje kolem 720 - 780 °C a na této teplotě setrvá po dobu 2 až 16 hodin. Po uplynutí této doby se materiál nechá vychladnout na vzduchu. Žiháním naměkko získáme lepší obrobiteľnosť rychlořezných ocelí. U většiny nástrojů jsou tyto metody tepelného zpracování pevně svázané a jsou vykonávány v pořadí žihání naměkko, po kterém je nástroj obroben, kalení a popouštění, které je následováno broušením takto vyráběného nástroje [9,10].



Obr. 1.2 Tepelné zpracování rychlořezných ocelí [11].

Kvůli vysokému výskytu karbidotvorných prvků v HSS není po zakalení dosaženo požadované tvrdosti. K dosažení nejvyšší tvrdosti materiálu se využívá systému několikanásobného popouštění. V praxi je tento jev označován jako **sekundární tvrdost** [4]. Sekundární tvrdost vzniká kvůli velkému množství zbytkového austenitu, který zůstane ve struktuře po zakalení homogenního austenitu a díky tomu má HSS nižší tvrdost. Pokud se popouští při vyšších teplotách pohybujících se v rozmezí 500 až 600 °C, dochází ke zvýšení tvrdosti [4,12].

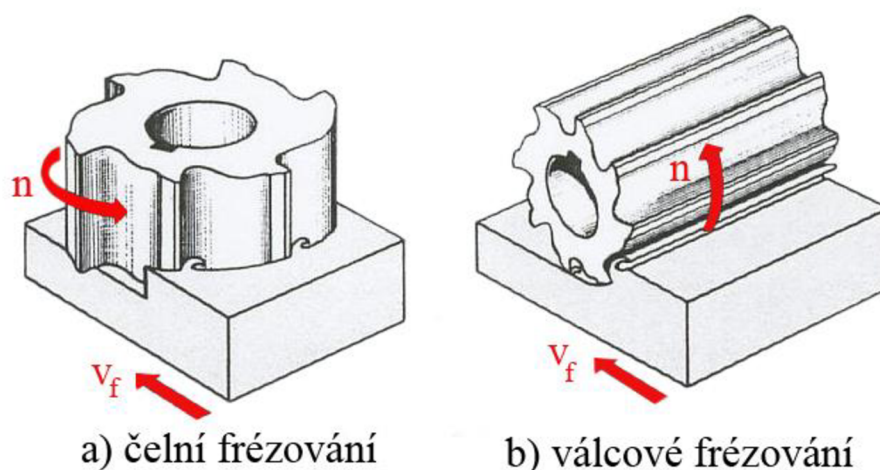


## 2 CHARAKTERIZACE MODULOVÝ FRÉZ

Tato kapitola popisuje způsoby obrábění a jejich rozdělení. V další části se věnuje rozdělení fréz dle různých hledisek a na konci této kapitoly je řešena problematika frézování modulovými frézami.

### 2.1 Základní definice frézování

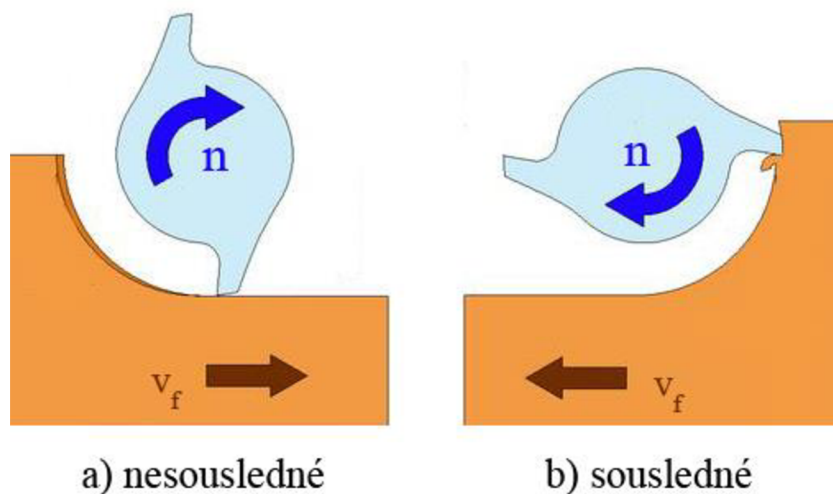
Frézování patří do kategorie třískového obrábění, při které břity rotujícího nástroje odebírají materiál obrobku. Tímto způsobem se obrábějí rovinné i tvarové plochy otáčejícím se vícebřitým nástrojem. Při této metodě obrábění koná vedlejší řezný pohyb obrobek, nejčastěji v kolmém směru k ose nástroje a nástroj rotuje kolem své osy. Tím koná hlavní řezný pohyb. Výsledným řezným pohybem je tedy cykloida. U modernějších nástrojů lze posuvové pohyby měnit plynule a provádět ve všech směrech. Jedná se o metodu s přerušovaným řezným procesem, kde každý jednotlivý zub frézy odstraňuje materiál v podobě krátkých třísek s proměnou tloušťkou. Z pohledu technologie aplikace nástroje rozlišuje základní způsoby frézování a to frézování **válcové** a frézování **čelní** (obr. 2.1) [6, 13, 14].



Obr. 2.1 Způsoby frézování [15]: a) čelní frézování b) válcové frézování.

Čelní frézování se vyznačuje větším počtem zabírajících zubů současně, díky tomuto faktu lze volit větší posuv stolu. Osa frézy je kolmá na obráběnou plochu, kde materiál je odřezáván nejen břity na obvodu, ale také břity na čelní ploše frézy. Tloušťka třísky se pohybuje od minimální hodnoty k maximální, podle velikosti průměru frézy a šířky obráběné plochy [16,17].

Válcové frézování se používá z velké části při výrobě tvarovými a válcovými frézami. U tohoto typu fréz jsou na obvodu nástroje vytvořeny zuby a hloubka záběru (množství odebíraného materiálu) se nastavuje kolmo na směr posuvu a osu frézy, kde obrobená plocha leží s osou otáčení frézy v kolmé rovině. Dalším parametrem ovlivňující obráběcí proces je volba sousledného frézování a nesousledného (nesousměrného) frézování [13].



Obr. 2.2 Způsoby válcového frézování [18]: a) nesousledné b) sousledné.

Nesousledné frézování využívá k obrábění rotaci, která směřuje proti směru posuvu obrobku  $v_f$ , kde k oddělování třísky dochází při daném skluzu břitu po vytvořené ploše předcházejícím zubem. U tohoto typu obrábění působí řezná síla směrem nahoru od obrobku, kdy dochází k odtahování obrobku od strojního stolu a tím se zvyšují nároky na upnutí součásti. Při záběru třísky od nulové hodnoty se břit “*sklouzne*” po obráběné ploše a tím vzniká horší drsnost obrobené plochy. Mezi hlavní výhody patří nezávislost záběru zubů na hloubce řezu a nepotřebnost vymezení vůle mezi maticí stolu a posuvovým šroubem [13].

Naopak u sousledného frézování působí směr rotace frézovacího nástroje stejným směrem jako směr posuvu obrobku. K oddělení třísky dochází při vnikání zubu do obrobku a její průřez se mění od maximální hodnoty do nulové. Avšak při každém záběru zubu do materiálu vznikají rázy, které lze odstranit použitím frézy s šikmými zuby. Výkon při sousledném frézování je o 30 až 50 % vyšší než u nesousledného frézování a to při stejné trvanlivosti nástroje. Řezná síla směřuje do stolu stroje a přitlačuje obrobek díky čemuž lze docílit menších nároků na upnutí. Výhodou této metody je vyšší trvanlivost břitů oproti nesouslednému frézování, menší sklon ke kmitání (což vede k lepší kvalitě obrobené plochy) a možnost větších řezných rychlostí a posuvů. Nevýhodou je nutnost vymezení vůle mezi posuvovým šroubem stolu a jeho maticí. To lze řešit pohonem pomocí kuličkových šroubů (bezvůlové uložení). [13, 14].

## 2.2 Rozdělení frézovacích nástrojů

Frézování patří do obráběcí metody s vysokým uplatněním ve strojírenské výrobě. Frézy jsou několikabřité nástroje s uspořádanými břity na válcové, čelní, kuželové nebo jiné tvarové ploše. Se zvyšujícím nárokem na přesnost a složitost vyráběných tvarů jsou stále vyvíjeny nové druhy fréz. Frézy lze rozdělit dle základních hledisek [13,19]:

**Rozdělení dle způsobu výroby zubů [16]:**

- Frézy s frézovanými zuby, které se brousí na čele i na hřbetě. Takové frézy se používají pro jednodušší tvary.
- Frézy s podsoustružovanými či podbrušovanými zuby, které mají ve většině případů nulový úhel čela a brousí se pouze na čele. Používají se pro složité plochy.

**Rozdělení podle účelu [13]:**

- válcové frézy pro obrábění rovinných ploch,
- drážkovací a kotoučové frézy pro obrábění drážek,
- úhlové, zaoblovací a kuželové k obrábění tvarových ploch.

**Rozdělení dle smyslu otáčení [16]:**

- Pravořezné se otáčejí ve směru hodinových ručiček při pohledu od vřetene. Je osazena levou šroubovicí, kvůli směru axiálního řezného tlaku, který musí směřovat do vřetene.
- Levořezné se otáčejí v protisměru hodinových ručiček při pohledu od vřetene. Je osazena pravou šroubovicí, kvůli směru axiálního řezného tlaku, který musí směřovat od vřetene.

**Podle umístění zubů [13, 16]:**

- válcové frézy, které mají zuby umístěné na válcové ploše,
- čelní frézy, které mají zuby na čelní ploše,
- válcové čelní, které mají zuby na čelní i válcové ploše.

**Rozdělení podle počtu dílů [16]:**

- celistvé,
- dělené,
- s vkládanými zuby (přivařené, mechanicky upnuté nebo připájené).

**Podle počtu zubů (pro klidný chod, musí řezat nejméně dva zuby současně) [13]:**

- jemnozubé,
- polohrubozubé,
- hrubozubé.

**Rozdělení dle způsobu upnutí [16]:**

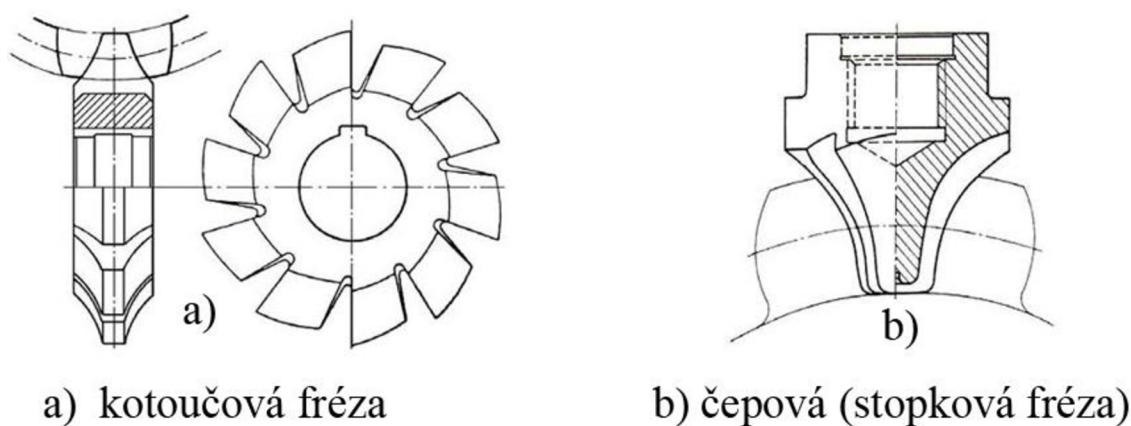
- nástrčné,
- s válcovou (kuželovou) stopkou.

Tab. 2.1 Rozdělení fréz dle tvaru a rozložení břitů [15].

| Druhy fréz   | Rozložení břitů                      | Použití  |
|--|--------------------------------------|--|
| <br>Čelní fréza         | Na rovině čelní, kolmé k ose frézy.  | Pro frézování rovinných ploch. Pokud je průměr čelní frézy se vsazenými zuby větší než 125mm jedná se o <b>frézovací hlavy</b> . |
| <br>Válcová čelní fréza | Na čelní rovině a válci.             | Pro frézování dvou na sebe kolmých rovin současně.   |
| <br>Úhlová fréza       | Zuby umístěny na kuželu.             | Pro frézování nakloněných rovin a srážená hran. Pro zubové drážky frézovaných nástrojů.  |
| <br>Válcová fréza     | Rozmístěny na válcové ploše.         | Pro frézování rovinných ploch, které jsou rovnoběžné s osou frézy.   |
| <br>Kotoučová fréza   | Na obou čelních rovinách na válcové. | Frézování bočních rovin a drážek.  |
| <br>Tvarová fréza     | Podle tvaru součásti.                | Frézování zakřivených profilů nebo kulových ploch.   |

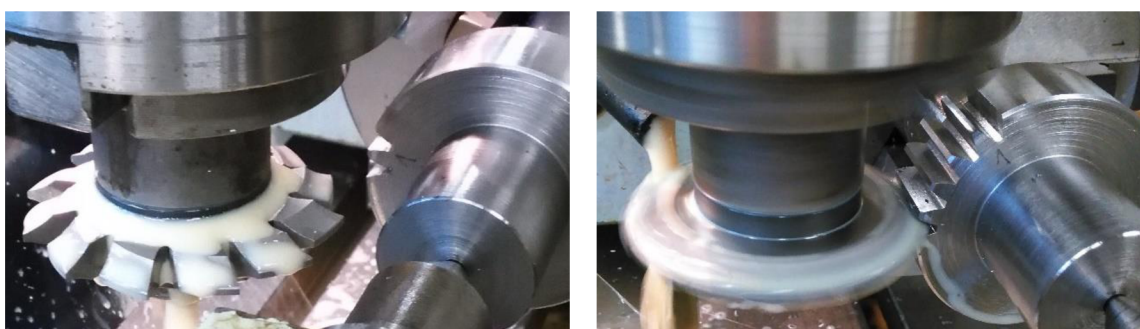
### 2.3 Frézování modulovou frézou

K výrobě čelních ozubených kol se používá kotoučová modulová fréza nebo čepová (stopková) modulová fréza (obr. 2.3). Kotoučové modulové frézy se používají k výrobě čelního i šikmého ozubení a to dělicím způsobem. Obrobek je upnutý v dělicím přístroji a po dokončení jedné zubové mezery je pootočen přesně o jednu zubovou rozteč a obrábí se další zubová mezera (obr. 2.4). Jedná se o jeden z nejméně přesných způsobů výroby ozubených kol a využívá se převážně pro kusovou výrobu [1, 12, 13].



Obr. 2.3 Modulové frézy: a) kotoučová fréza b) stopkové (čepová) fréza [13].

Nízká výrobnost a přesnost je způsobena převážně z důvodu neplynulosti obráběcího procesu. Mezi výhody lze zařadit jednoduchost výroby, možnost obrábět na běžných obráběcích strojích a samozřejmě nízká pořizovací cena. Hodnotu řezné rychlosti volíme pro stopkovou i kotoučovou frézu stejnou  $v_c = 10 - 20 [m \cdot min^{-1}]$  a podélný posuv  $v_f = 70 - 180 [mm \cdot min^{-1}]$ .



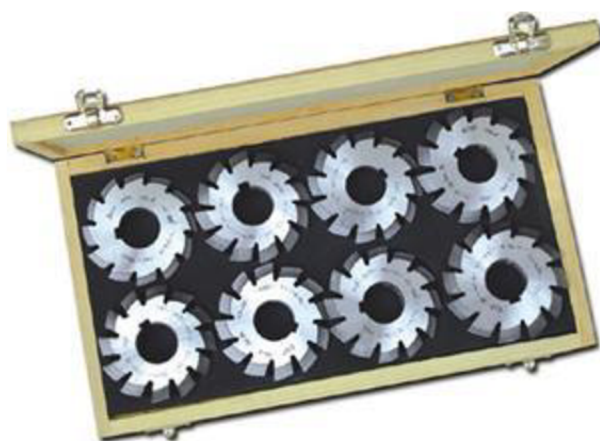
Obr. 2.4 Výroba ozubeného kola modulovou frézou dělicím způsobem.

Kotoučová modulová fréza má negativní profil zubové mezery ozubeného kola a vyrábí se pro moduly  $m = 0,2 - 16 \text{ mm}$ . Podle počtu zubů výsledného ozubeného kola se liší, i u totožného modulu, profil kotoučové frézy. Z tohoto principu by však bylo zapotřebí vyrábět frézu pro každý modul a počet zubů. Avšak kvůli hospodárnosti výroby se používá vždy jeden nástroj pro daný modul a rozsah zubů. Takto vyrobené frézy jsou

dodávány nejčastěji v sadách po 8 kusech pro jednotlivý modul (tab. 2.2). Lze nalézt i sady po 15 či 26 kusech, které se však používají pro vyšší přesnost ozubení [13].

Tab. 2.2 Rozložení počtu zubů pro osmičlennou sadu kotoučových fréz [13].

| číslo v sadě | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7      | 8     |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| počet zubů   | 12÷13 | 14÷16 | 17÷20 | 21÷25 | 26÷34 | 35÷54 | 55÷134 | 135 ≥ |



Obr. 2.5 Osmičlenná sada modulových fréz modulu 4 [22, 23].

### 3 NÁVRH GEOMETRIE A ROZMĚRŮ NÁSTROJE

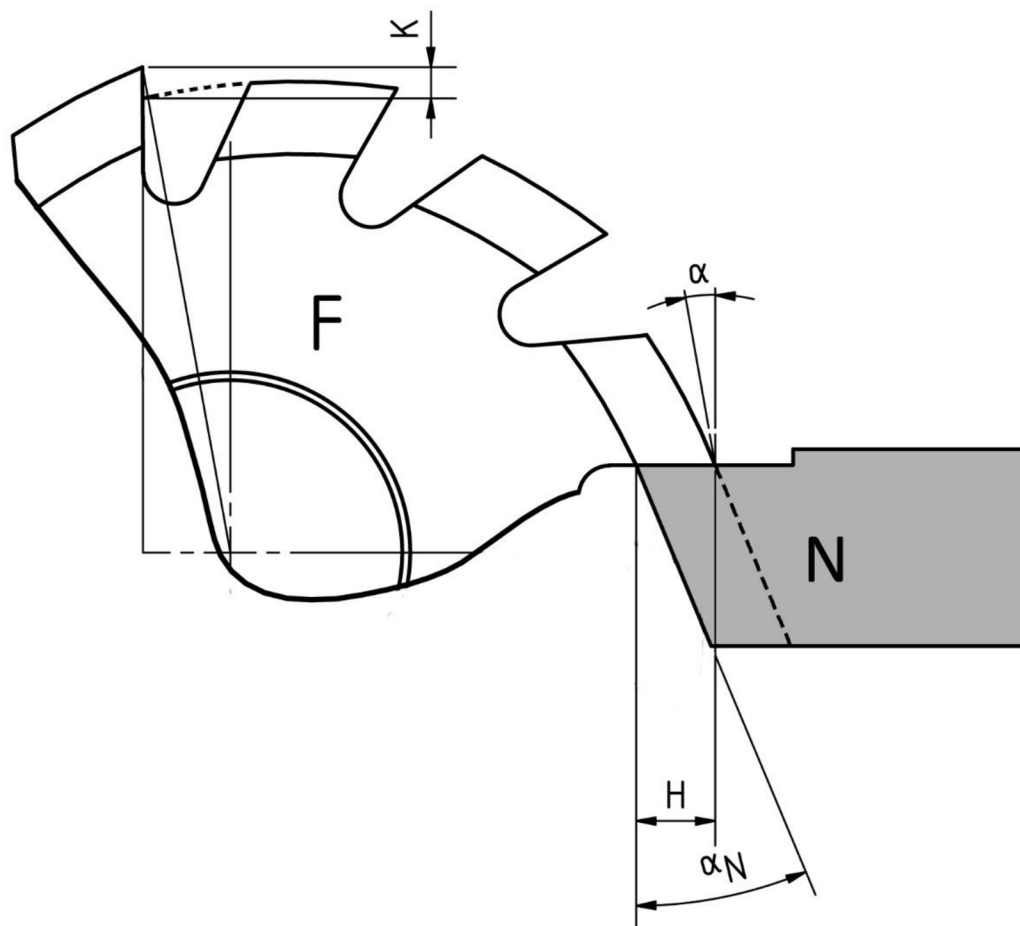
V této kapitole bakalářské práce, bude popsán postup při návrhu geometrie a rozměrů modulové frézy. V současných normách nejsou všechny rozměry pro modulové frézy tolerovány a bylo tedy čerpáno ze starých norem v kombinaci s aktuálními a jejich úpravami.

#### 3.1 Charakterizace funkčních rozměrů

Tvarové frézy vyrobené na podtáčecím soustruhu se velmi osvědčily při výrobě tvarových povrchů dílců. Takto vyrobené frézy nemění ostřením svůj profil, pokud předpokládáme, že jsou ostřeny pouze na čelech a při splnění těchto podmínek [14]:

- výška profilu zubu  $H$  je v plném průběhu podsoustružení stálá,
- úhel hřbetu  $\alpha$ , se příliš nemění.

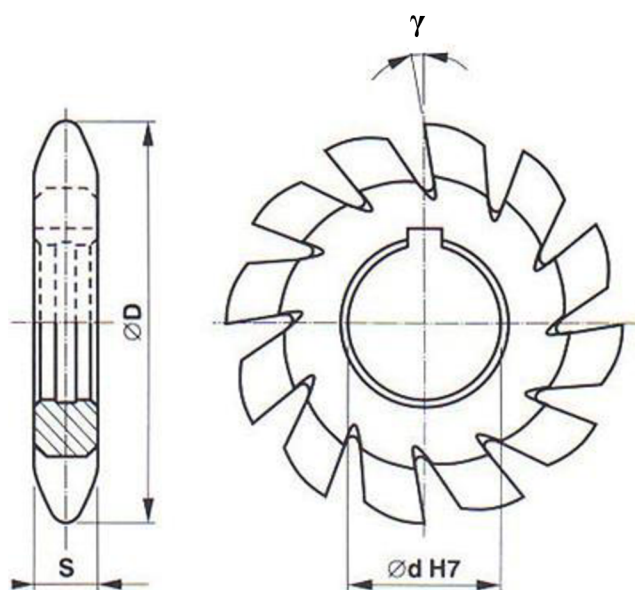
K tomuto velmi dobře slouží Archimédova spirála, která svými body tvoří u podsoustružených fréz hřbetní plochy zubů. Kdy tato spirála řídí suport podsoustružovacího soustruhu a nůž  $N$  tedy vede do záběru vačka [12].



Obr. 3.1 Tvar zubů podsoustružené frézy [12]:  $N$  – podsoustružovací nůž.

### 3.2 Návrh základních rozměrů nástroje

Řezný průměr frézy  $D$  (obr. 3.2) byl volen s ohledem k firemní normě ON 22 2510 a normě DIN 3972, která udává průměr frézy  $D = 63$  mm s tolerancí js15. Průměr otvoru upínací díry s podélnou drážkou pro pero  $d$  (obr. 3.2) byl zvolen dle DIN 138. Tato norma je používána pro všechny nástrčné nástroje vyráběné firmou ZPS-FN a.s. Její rozměr  $d = 22$  mm s danou tolerancí H7. Tloušťka frézy  $S$  (obr. 3.2) byla volena s minimálním přírůstkem na výběh tvaru zubu a to  $S = 6,5$  mm pro člen 1 a  $S = 5$  mm pro člen 8 s výrobní tolerancí  $\pm 0,2$  mm. Dalším důležitým rozměrem je uhel čela  $\gamma$  (obr. 3.2), který byl v tomto případě zvolen kladný o hodnotě  $\gamma = 10^\circ$ . Kladný úhel čela byl zvolen kvůli menšímu řeznému odporu, lepšímu odvodu třísky, menší tvorbě nárůstku a vyšším řezným výkonům. Nevýhodou této konstrukce je problematictější výroba a složitější kontrola vyrobených polotovarů vzhledem ke změně tvaru na rovině čela.



Obr. 3.2 Kotoučová modulová fréza [20].

### 3.3 Návrh geometrie nástroje

Prvním krokem byla tvorba evolventy, která je tvořena přímkou odvalující se po kružnici. Kružnice měla vždy poloměr základní kružnice  $D_b$  požadovaného ozubeného kola. Pro tvorbu evolventy členu 1 bylo zvoleno ozubené kolo o 12 zubech a pro člen 8 ozubené kolo s počtem 135 zubů (obr. 3.3). Vytvořená evolventa byla upravena dle požadavků zákazníka a zrcadlena k vytvoření korektní zubové mezery. Geometrie byla dále zaoblena o rádius dle normy ČSN 01 4607 v místě počátku evolventy a průtnutí s patní kružnicí ozubeného kola. Takto vytvořená geometrie byla dále sjednocena a odsazena o 0,06 mm pro docílení výsledné geometrie modulové frézy. Takto vytvořený tvar byl dále přenesen na čelo zubu frézy. Vzdálenost mezi patní kružnicí modulové frézy a řezným průměrem frézy byl volen s ohledem na budoucí broušení ostří a jeho postupný úbytek [12, 21].

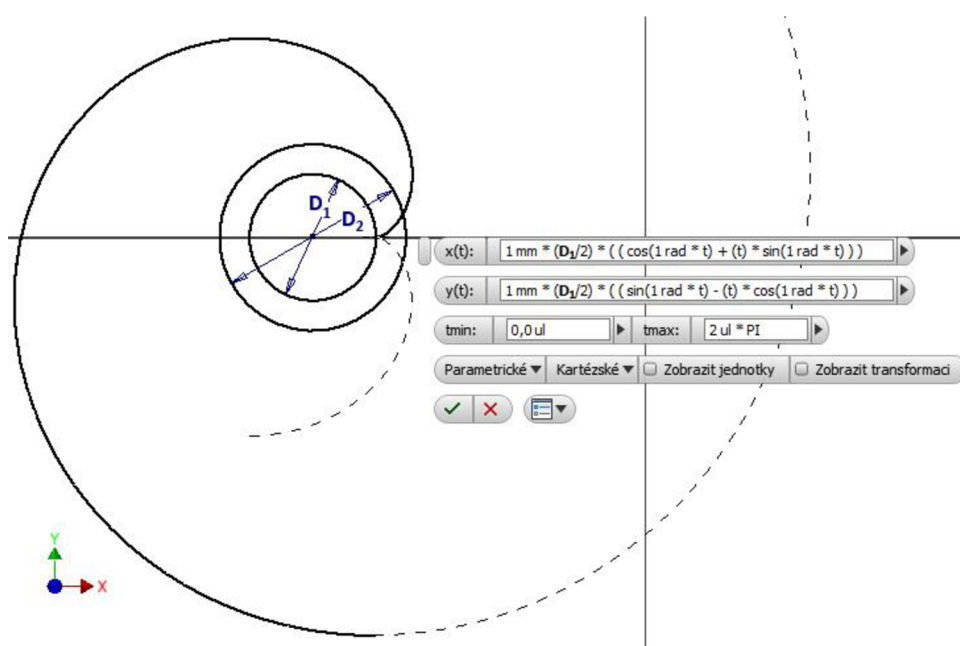


Byly vytvořeny dvě kružnice, první o průměru  $D_1=D_b$  a druhá o průměru  $D_2=D_a$ . Poté bylo využito funkce **KŘIVKA VÝRAZU** pro zadání parametrické rovnice evolventy (obr. 3.3) dle vztahů (3.1, 3.2, 3.3).

$$x(t) = \frac{D_b}{2} \cdot [\cos(t) + t \cdot \sin(t)] \quad (3.1)$$

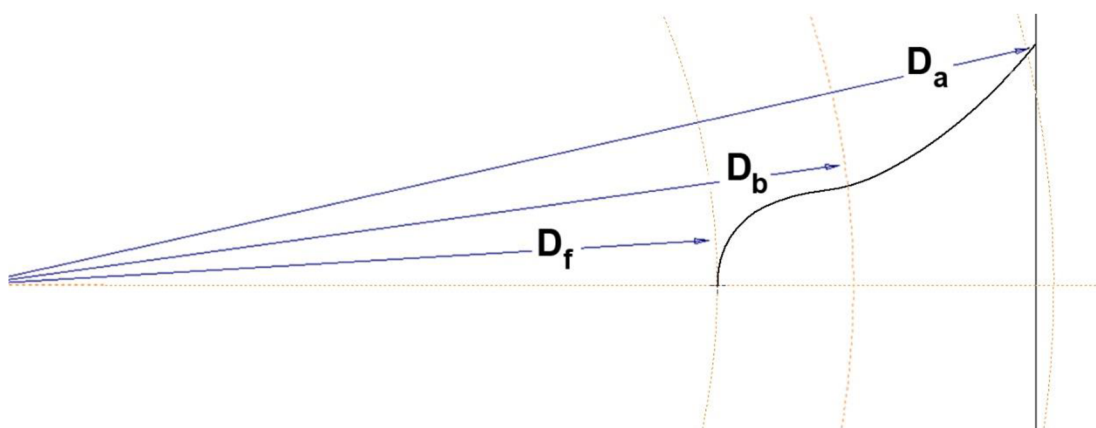
$$y(t) = \frac{D_b}{2} \cdot [\sin(t) - t \cdot \cos(t)] \quad (3.2)$$

$$t \in \langle 0 ; 2\pi \rangle \quad (3.3)$$



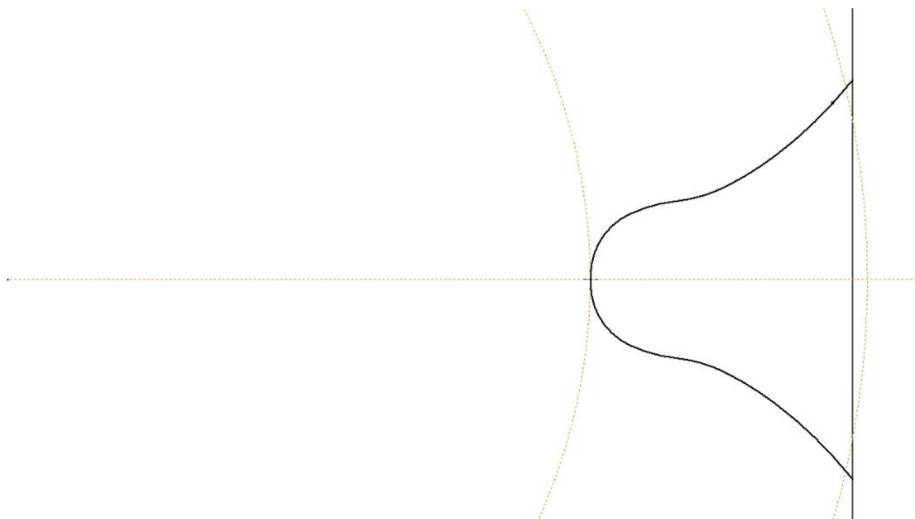
Obr. 3.3 Tvorba evolventy pomocí parametrické konstrukce.

Tato evolventa byla upravena funkcí **OŘÍZNOUT** podél kružnice  $D_a$  s tolerancí na výběh. Dále byla křivka upravena dle požadavků zákazníka k docílení požadované geometrie (obr. 3.4).



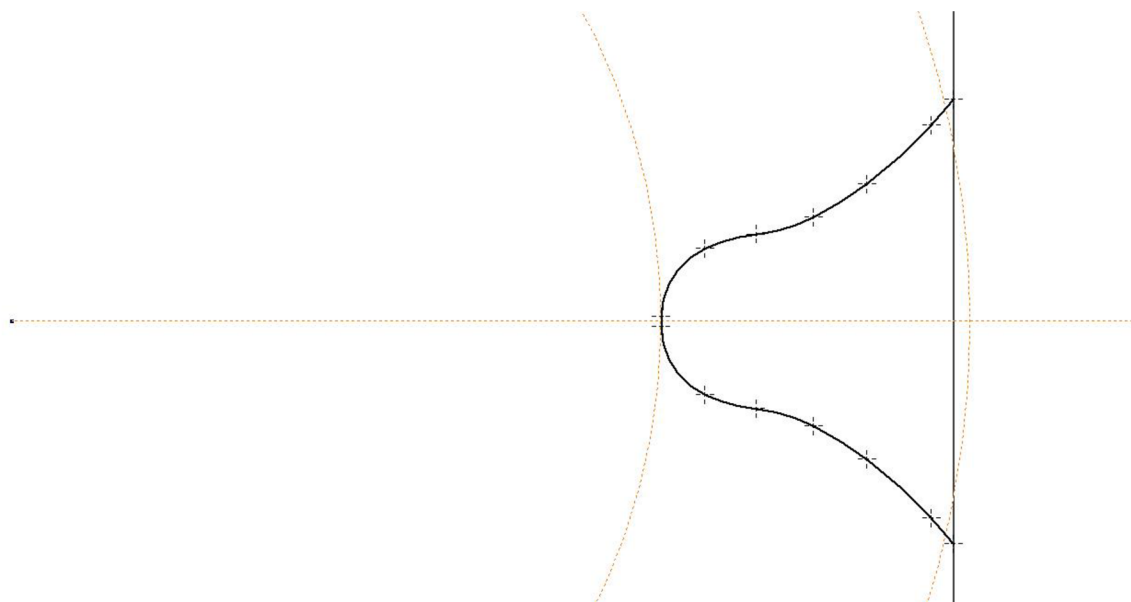
Obr. 3.4 Evolventní křivka po úpravě geometrie a následném zaoblení.

V následujícím kroku byla tato geometrie sjednocena do celistvé křivky a zrcadlena. Takto vytvořená křivka byla poté odsazena o 0,06 mm k dosažení výsledné geometrie ostří pro modulovou frézu (obr. 3.5).



*Obr. 3.5 Křivka evolventy po zrcadlení geometrie a následném odsazení.*

Posledním krokem bylo vynesení referenčních bodů na danou křivku a jejich okótování, pro další práci s křivkou a její případnou reprodukcí v odlišném softwaru (obr. 3.6). Firma si nepřeje zveřejnění kótovaných rozměrů výsledné křivky.

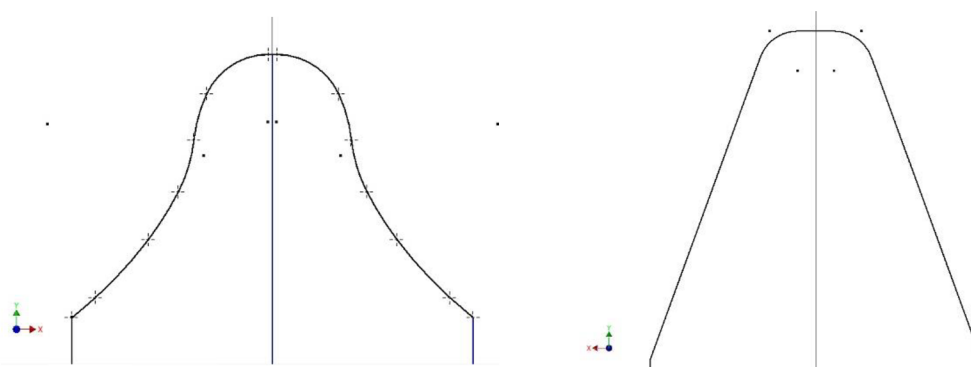


*Obr. 3.6 Výsledná geometrie s nanesenými referenčními body.*

## 4 KONSTRUKCE NÁSTROJE

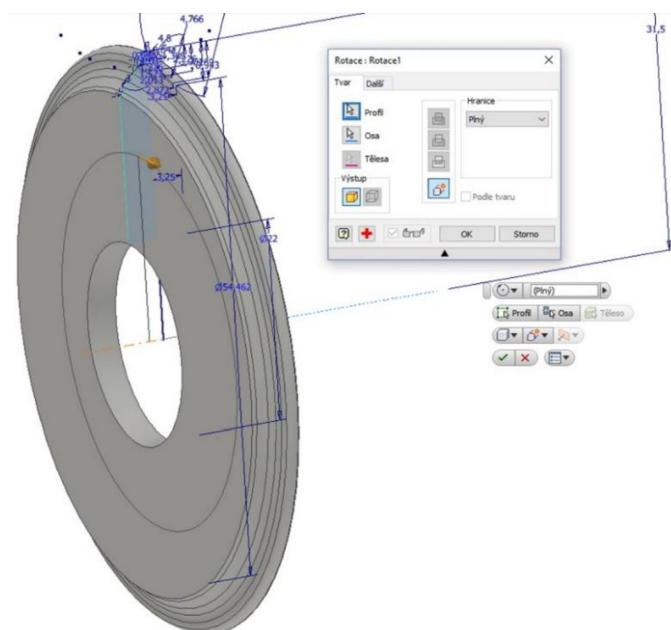
Tato kapitola popisuje konstrukci modulové frézy v 3D parametrickém softwaru Autodesk Inventor. Dle vypočítaných parametrů bude vytvořen 3D model, který bude využit na tvorbu výrobního výkresu pro nadcházející výrobu prototypu nástroje. Metodika konstrukce je uvedena na konstrukci modulové frézy 1 v číselné řadě, kde konstrukce frézy 8 řady je obdobná s výjimkou geometrie.

Prvním krokem je vytvoření náčrtu v rovině XY souřadnicového systému. Kde geometrie vychází z kapitoly 3 Návrh geometri a rozměrů nástroje. Na tuto geometrii byly vyneseny referenční body, které byly následně změřeny. Tyto body byly poté vyneseny do dané vzdálenosti od středové čáry a vrcholu. Referenční body byly spojeny funkcí **SPLINE** a tím bylo docíleno požadované geometrie (obr. 4.1).



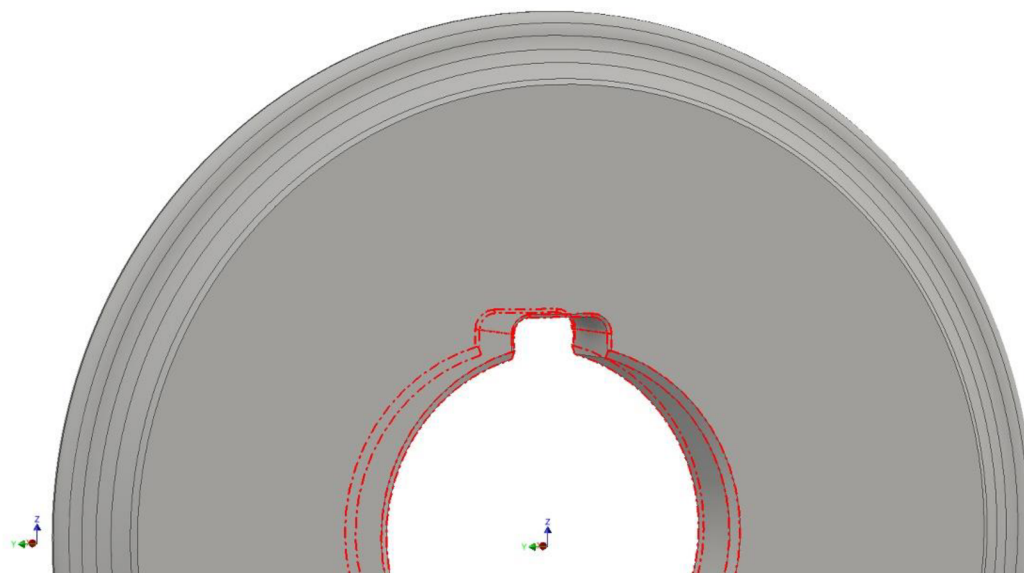
Obr. 4.1 Geometrie zubu frézy modulu 2 osmičlené sady, vlevo člen 1 a vpravo člen 8.

Vytvořená geometrie byla orotována kolem své osy funkcí ROTACE plného tělesa vybráním profilu a osy z předchozího náčrtu (obr. 4.2). Tímto krokem byl vytvořen i otvor pro další operace.



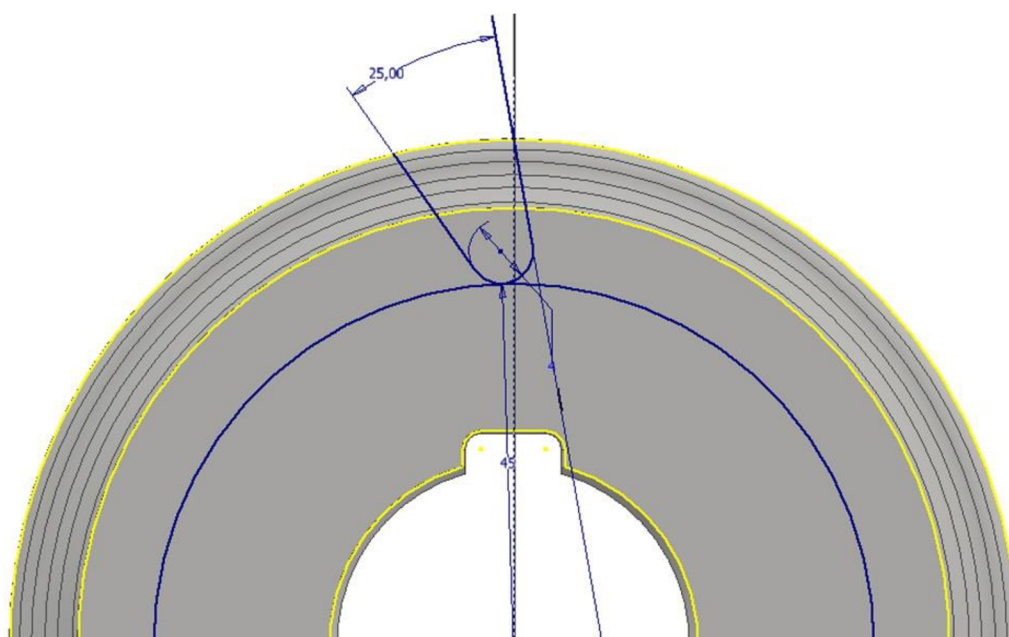
Obr. 4.2 Rotace geometrie podél základní osy nástroje.

V dalším kroku byla vytvořena drážka pro pero pomocí funkce **VYSUNUTÍ** se zvolenou hranicí **DO**. Po dokončení bylo na otvoru a drážce pro pero provedeno zkosení a zaoblení hran pomocí funkcí **ZAOBLNĚNÍ** a **ZKOSENĚNÍ** (obr. 4.3).



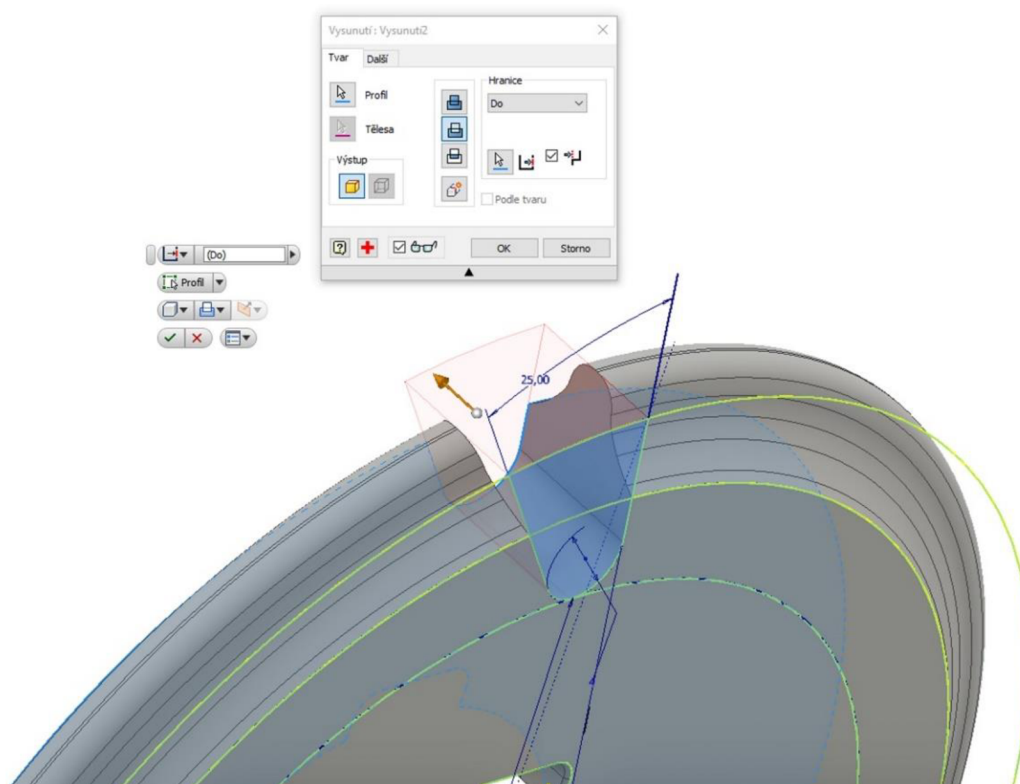
Obr. 4.3 Zkosení a zaoblení otvoru a drážky pro pero.

Na ploše kolmé k ose modelu byl vytvořen náčrt zubové mezery, která vychází z kapitoly číslo 3. Bylo využito tečné vazby mezi patní kružnicí a rádiusem spodní části zubové mezery, která byla svázána tečnou vazbou mezi dvěma přímkami svírající daný úhel (obr. 4.4). Tím bylo docíleno kladného úhlu čela.

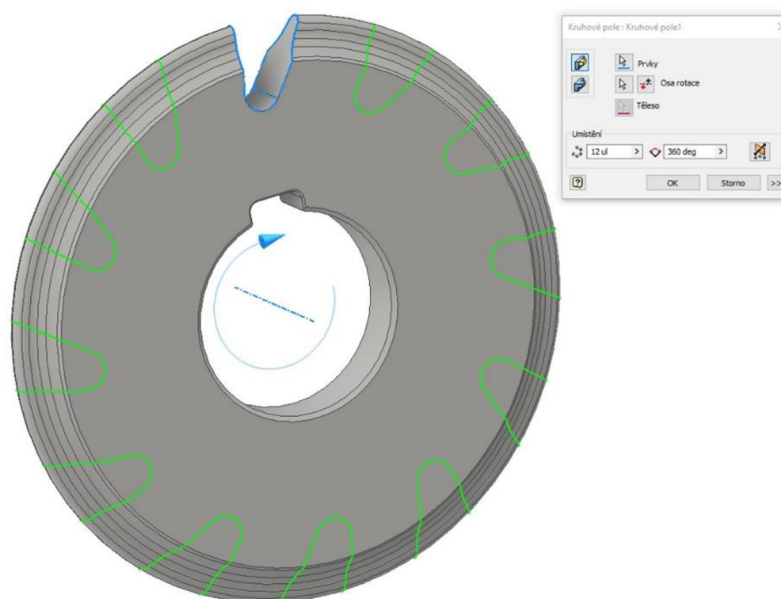


Obr. 4.4 Náčrt zubové mezery.

Zubová mezera byla vytvořena funkcí **VYSUNUTÍ** a to vybráním profilu (předešlého náčrtu) a hranice byla zvolena **DO** protější strany nástroje (obr. 4.5). K vytvoření zubů frézy bylo využito rozkopírování zubové mezery funkcí **KRUHOVÉ POLE** po 30° v rozsahu 360° (obr. 4.6).



Obr. 4.5 Vysunutí geometrie zubové mezery.



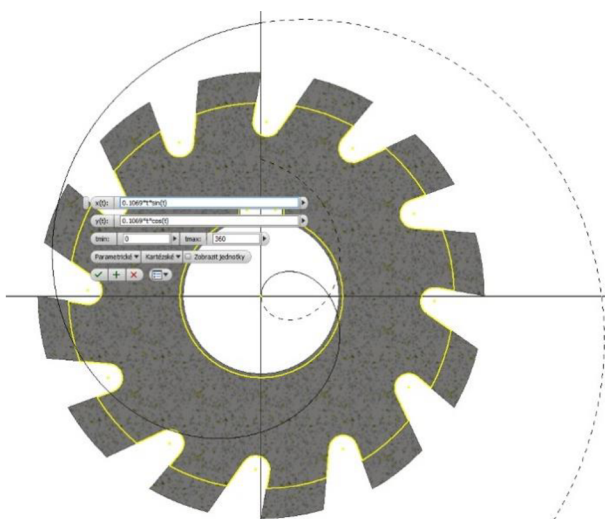
Obr. 4.6. Rozkopírování zubové mezery po kruhovém poli.

Dále bylo zapotřebí zkonstruovat Archimédovu spirálu, která byla vytvořena pomocí funkce **KŘIVKA VÝRAZU** (obr. 4.7, obr. 4.8) a vztahů (4.1, 4.2, 4.3). Kde **a** bylo zjištěno pomocí iterace, aby bylo docíleno požadovaného úhlu mezi tečnou hlavové kružnice a tečnou Archimédovy spirály (**AS**). Postup iterace byl zvolen především kvůli časové úspoře.

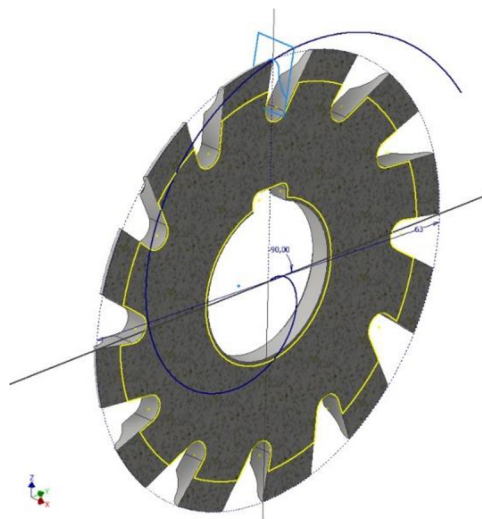
$$x(t) = a \cdot t \cdot \sin(t) \quad (4.1)$$

$$y(t) = a \cdot t \cdot \cos(t) \quad (4.2)$$

$$t \in < 0 ; 360 > \quad (4.3)$$

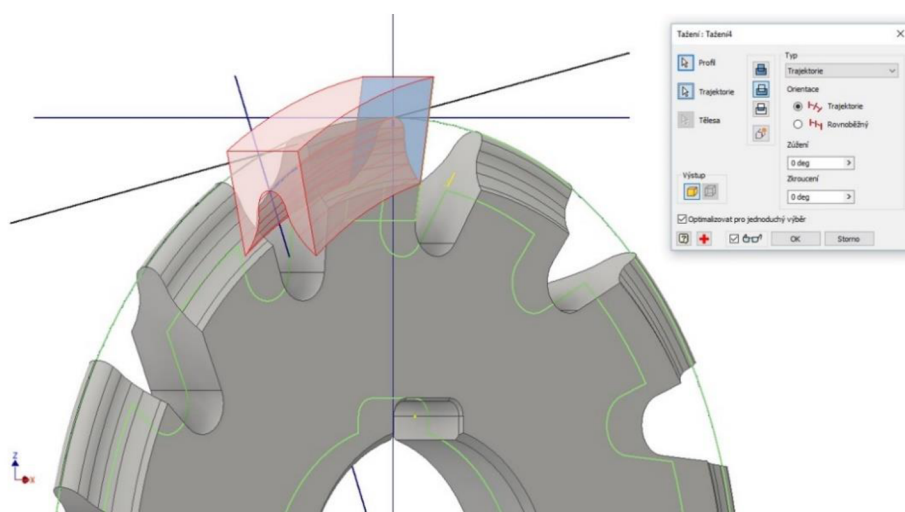


Obr. 4.7 Tvorba Archimedovy spirály.



Obr. 4.8 Negativ geometrie břitu s AS.

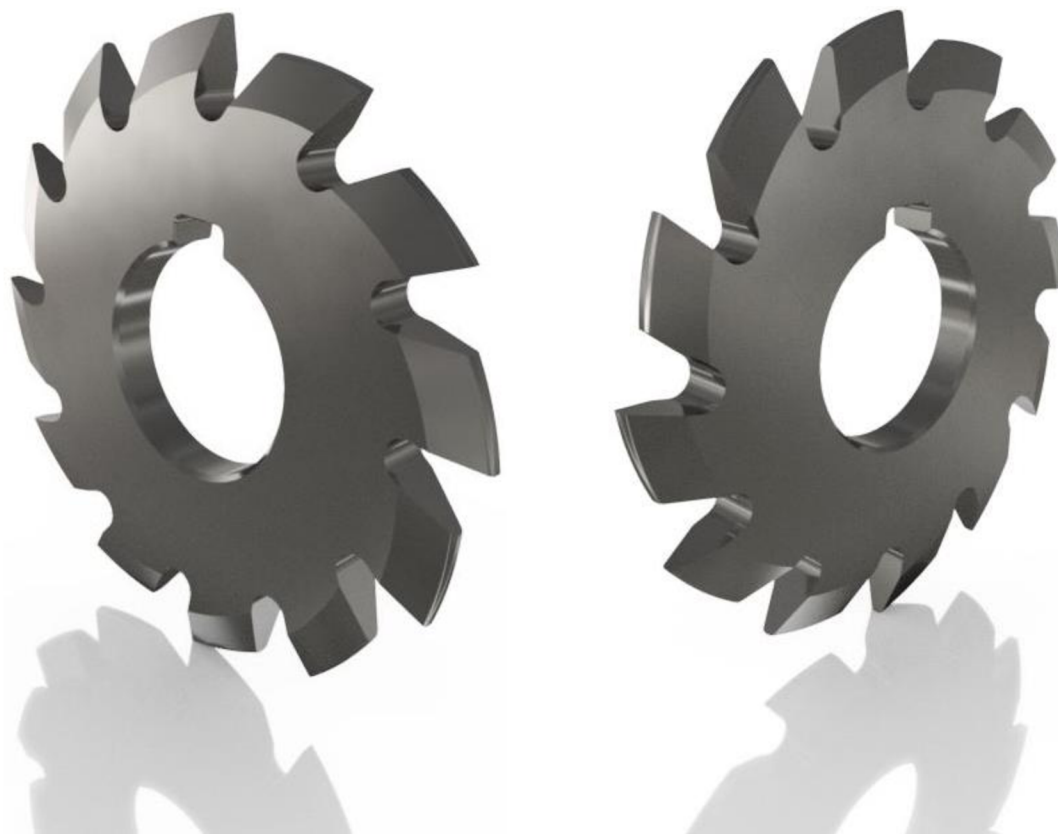
Pomocí negativu základní geometrie břitu byl vytvořen náčrt, s jehož pomocí bylo dále využito funkce **TAŽENÍ** po křivce vycházející z Archimédovy spirály k odstranění materiálu a získání konstantní výšky zubu **H** (obr. 4.9). Takto vytvořený zub byl následně rozkopírován pomocí funkce **KRUHOVÉ POLE** po  $30^\circ$  v rozsahu  $360^\circ$ .



Obr. 4.9 Tažení geometrie zubu po křivce tvořené Archimédovou spirálou.



*Obr. 4.10 Render modulové frézy modulu 2 z osmičlenné řady člen 1.*



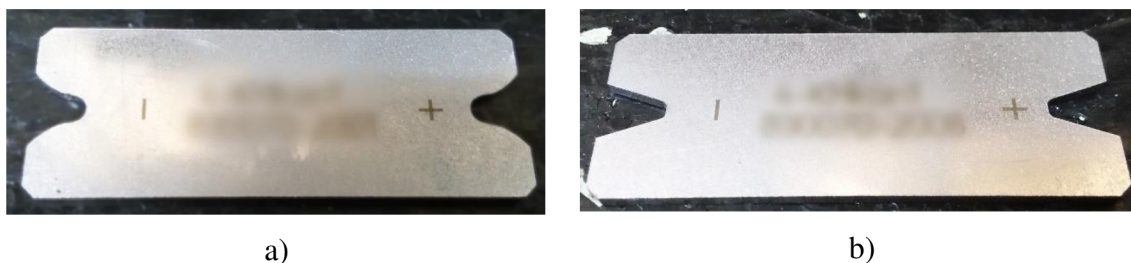
*Obr. 4.11 Render modulové frézy modulu 2 z osmičlenné řady člen 8.*

## 5 VÝROBA PROTOTYPU NÁSTROJE

Před výrobou samotného prototypu bylo potřeba vyrobit podtáčecí soustružnický nůž na výrobu modulové frézy. Dále bylo potřeba navrhnout kontrolní šablonu do výroby, která byla řízena podle DWG výkresu geometrie. Celá výroba frézy probíhala ve společnosti ZPS-FN a jejím strojovém parku.

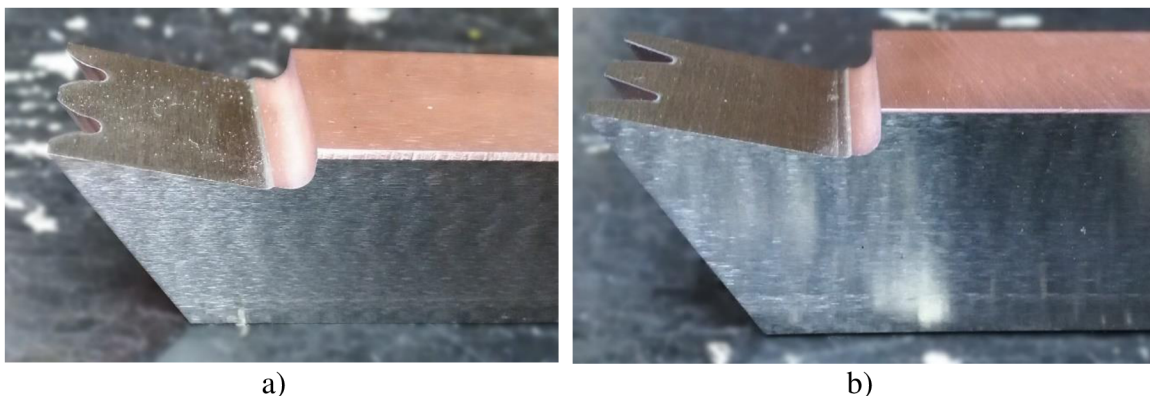
### 5.1 Výrobní pomůcky

Kontrolní šablona (obr. 5.1) byla vyrobena v kooperaci s firmou Mare trend s.r.o. z plechu 12 060 o tloušťce 1,5 mm za pomoci drátové řezačky. Jako vzor sloužil DWG soubor vytvořený v programu AutoCAD 2015, který obsahoval dvě geometrie zubu a to se spodní a vrchní výrobní toleranci která činí 0,025 mm.



Obr. 5.1 Kontrolní šablona pro frézu modulu 2 z osmičlenné řady: a) člen 8 1 b) člen 8.

Dále bylo potřeba zkonstruovat a vyrobit soustružnické nože pro podtáčecí soustruh (obr. 5.2). Základní tvar nože byl vyroben ve firmě ZPS-FN a tvar ostří byl vyřezán na drátové řezačce v kooperaci s firmou Mare trend s.r.o. pomocí 3D modelu dodaného firmou ZPS-FN a.s. Před prvním soustružením bylo zapotřebí zbrousit čelo a ostří kvůli vzniklým nerovnostem povrchu po tvorbě tvaru ostří.



Obr. 5.2 Podtáčecí soustružnický nůž pro frézu modulu 2 z osmičlenné řady: a) člen 1 b) člen 8.

### 5.2 Výroba prototypu

Pro výrobu modulové frézy byl zvolen materiál rychlořezné oceli vzhledem k předpokládanému využití finálního nástroje. Dle předpokladu bude nástroj využíván k obrábění oceli třídy 11 a 12, které se nejčastěji používají na výrobu ozubených kol.



V první operaci se dělí materiál z polotovaru kulatina  $\text{Ø}68$  na délku 7 mm na pásové pile Forte 250. V druhé operaci se na revolverovém soustruhu S 50 CNC zhotoví otvor na horní mez tolerance, soustruží ostří, sráží se hrana u otvoru a v posledním kroku dokončí ostří. Pomocí vertikální brusky BPV 300 se brousí čelo a na protahovačce drážek JUS se zhotoví drážka pro pero, na které se následně sráží hrany. Dále je na revolverovém soustruhu S 50 CNC zhotoveno hrubování tvaru s přídavkem a následná kontrola tvaru na optickém zařízení tzv. kontrola na zvětšeninu. V další operaci je fréza upnuta na trn a frézuje se na obvodě pomocí frézky zubových mezer JUS. Fréza se odmastí a sráží se hrany na zubech. Fréza je zušlechťena v kalírně, po které následuje broušení čela z obou stran na vertikální brusce BVP 300. V následující operaci se na podtáčecím soustruhu UHD 1 přerovná čelo a podtočí tvar modulové frézy. Poté je fréza přesunuta do kalírně, kde se kalí, nitriduje a konzervuje. V další operaci se přerovná čelo a brousí z obou stran pomocí stroje bruska na otvory IPS. Dále je na brusce na otvory BDA 80 vystředěn tvar a broušen středový otvor. V poslední operaci se vyostří zuby pomocí brusky nástrojů BN 102. Poté se fréza odmagnetuje, očistí, konzervuje a dopraví do skladu.

### 5.3 Vyrobené prototypy



a)

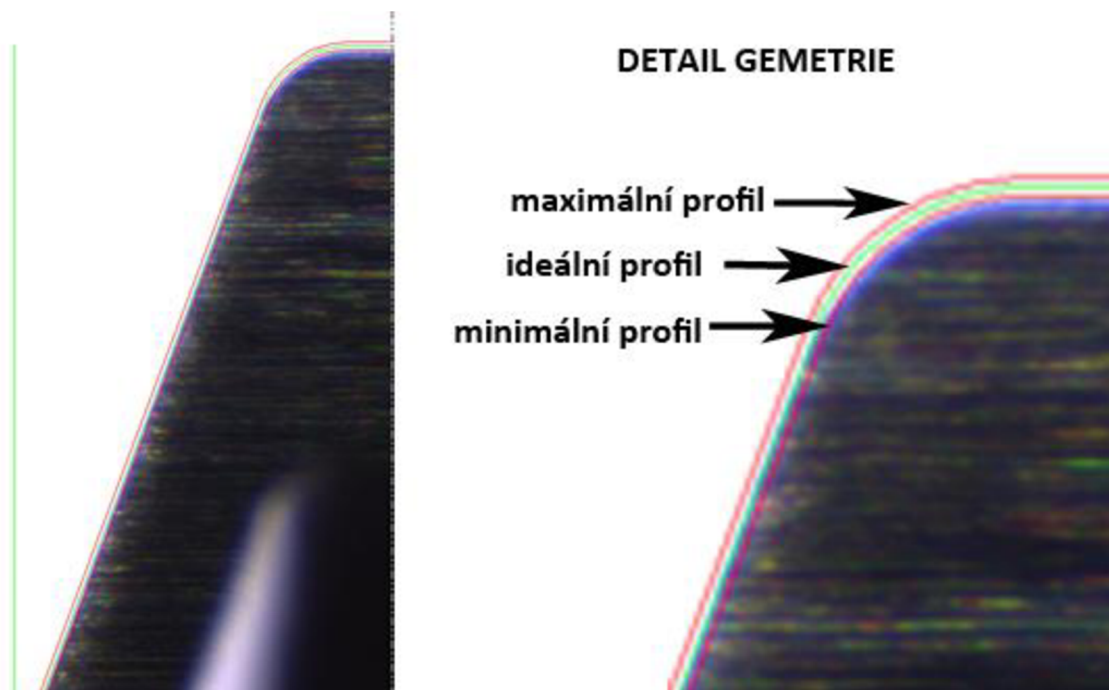
b)

Obr. 5.3 Vyrobené prototypy fréz modulu 2 z osmičlenné řady: a) člen 1 b) člen 8.

### 5.4 Měření geometrie

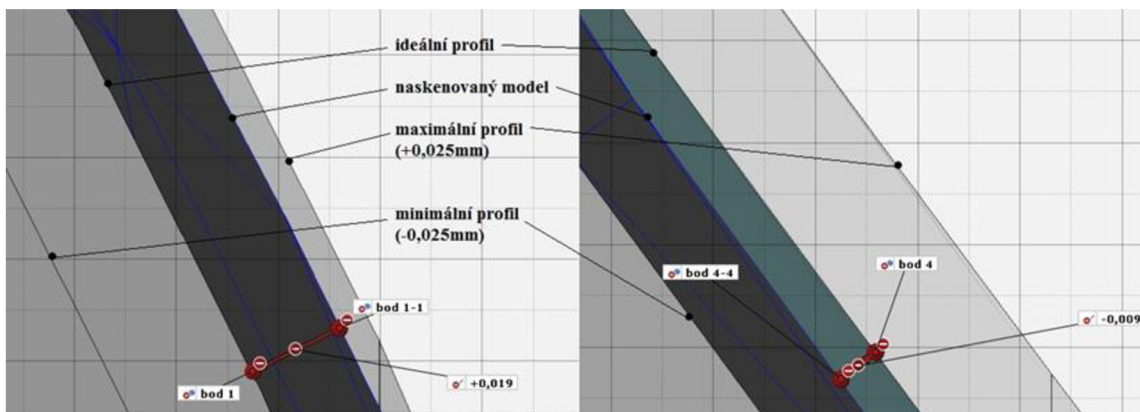
Geometrie vyrobených polotovarů byla měřena dvěma metodami. Jako první byla zvolena metoda průsvitem na optickém měřicím zařízení TC 210 (obr. 5.4). Touto zkouškou se změřila modulová fréza modulu 2 z osmičlenné řady člen 8. Jako druhá metoda měření byla zvolena ve spolupráci s Ústavem strojírenské technologie FSI VUT v Brně, kdy byla na člen 1 nanesa vrstva titanového prášku a následně naskenována na optickém skeneru ATOS Triple Scan (obr. 5.5 a 5.6). Každá z naměřených hodnot byla porovnávána na ideálním profilu zubu, který byl zkonstruován v kapitole 3 v tolerančním poli  $\pm 0,025$  mm. Ideální profil je vyznačen zelenou čarou a toleranční pole červenou (obr. 5.4).

Při měření na optickém zařízení TC 210 byla na členu 8 zjištěna odchylka od ideálního profilu. Tento rozměr mimo toleranci se nachází na řezném průměru frézy (obr. 5.4). Tato odchylka činí 0,004 mm od spodní toleranční odchylky. Fréza se tedy liší o 0,029 mm od ideálního profilu ostří.



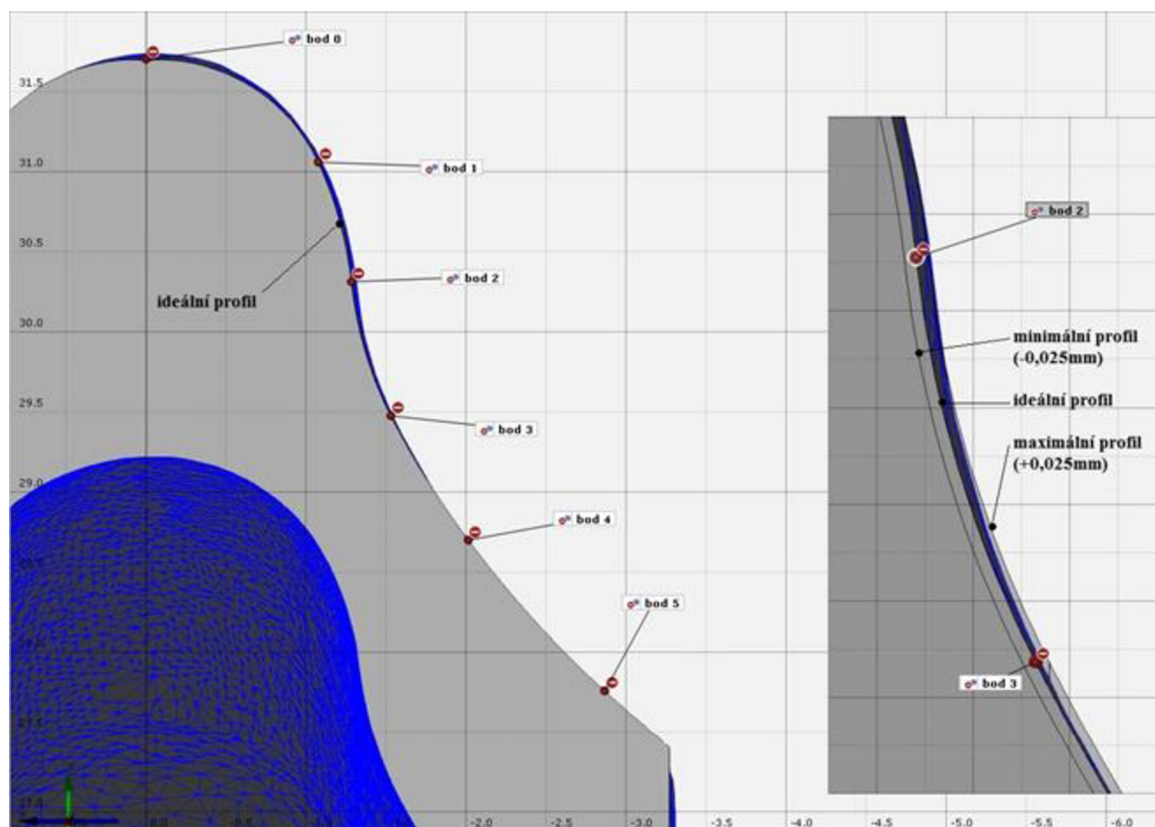
Obr. 5.4 Měření geometrie průsvitem na fréze modulu 2 z osmičlenné řady člen 8.

Při měření na optickém skeneru ATOS Triple Scan byly na členu 1 naměřeny odchylky od ideálního profilu v bodech 0 a 5 (obr. 5.7). V nejdůležitějších bodech 1 až 4 spadala naměřená odchylka do předem vymezené tolerance a tudíž splnila podmínku přesnosti výroby.



Obr. 5.6 Měření geometrie pomocí naskenovaného modelu: detail pro bod 1 a 4.

Dále byl v detailu znázorněn maximální možný a minimální možný geometrický profil zkoumaného objektu. V bodě 0 byla naměřena odchylka 0,031 mm od ideálního profilu a v bodě 5 činila odchylka 0,04 mm od ideálního profilu. Odchylka od spodní tolerančních hodnot činí v bodě nula 0,006 mm a od horní toleranční hodnoty v bodě 5 činí 0,015 mm.



Obr. 5.5 Měření geometrie pomocí naskenovaného modelu: detail pro bod 2 a 3.

## ZÁVĚR

Existují různé druhy řezných materiálů a v posledních letech se zdá, že rychlořezné oceli jsou vytlačovány nástupem slinutých karbidů. Avšak rychlořezné oceli si díky svému chemickému složení a mechanickým vlastnostem drží své postavení na trhu, například při výrobě ozubených kol dělicím způsobem, což je i téma této práce.

Modulové frézy jsou konstruovány běžně v osmičlenné sadě. Na trhu lze nalézt i sady s 15 a 26 členy, které se používají pro přesnější výrobu ozubených kol. K tomuto účelu se však v dnešní době využívá převážně odvalovacích fréz na ozubená kola.

Bakalářská práce je zaměřena na návrh nových frézovacích nástrojů z ocelí, které jsou určeny pro výrobu čelních ozubených kol. Nástroj je konstruován ve dvou provedeních členu 1 (pro 12 až 13 zubů) a členu 8 (pro 135 a více zubů) z běžné osmičlenné řady modulu 2. Na těchto nástrojích bylo úspěšně provedeno měření geometrie. Modulová fréza členu 8 byla měřena metodou průsvitu na optickém měřicím zařízení TC 210 (obr. 5.4) ve firmě ZPS-FN a.s. A modulová fréza členu 1 byla měřena pomocí digitalizace na optickém skeneru ATOS Triple Scan na Ústavu strojírenské technologie FSI VUT v Brně a následného porovnání geometrie digitalizované modulové frézy s teoretickým ideálním profilem.

Z naměřených hodnot je zřejmé, že tvar modulové frézy není po celém svém obvodu ideální. V některých místech geometrie přesahuje toleranční pole a zasahuje mimo zvolenou oblast tolerance (viz obr. 5.5). Avšak v nejdůležitějším bodě 1 až 4 je naměřená hodnota ve výrobní toleranci. Příčinou mohou být starší podtáčecí soustruhy, které budou v nejbližší době nahrazeny novými. Avšak zmíněné odchylky od ideálního profilu zubu by neměly mít na vyrobené ozubené kolo zásadní vliv.

V následujícím postupu by bylo potřeba provést další testování:

- kontrola celé produktové řady,
- řezné zkoušky,
- volba vhodných řezných podmínek,
- dlouhodobé řezné zkoušky pro zjištění životnosti nástroje,
- měření silového zatížení a jeho následné vyhodnocení.

Nový nástroj byl koncepčně konstruován jako modulová evolventní fréza s atypickou geometrií ostří, která vychází z požadavků zákazníka. Jednalo se zde o výchylku z teoretické geometrie evolventy, která byla upravena k dosažení potřebné geometrie výsledného tvaru zubu ozubeného kola.

Pro konstrukci nástroje byl zvolen software Autodesk Inventor, který byl pro tento typ frézy dostačující. Při tvorbě složitějších fréz by ovšem tento software neobstál svými funkcemi a fréza by se musela modelovat v softwaru Catia. Nástroj byl vyroben z polotovaru Ø67 mm, následně opracován a tepelně zpracován ve strojovém parku ZPS-FN. Hlavní řezná geometrie ostří byla vyrobena na podtáčecím soustruhu UHD 1.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

- [1] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [2] TumliKOVO. *Druhy rychlořezných ocelí* [online]. 2010 [cit. 2016-02-25]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/druhy-rychloreznych-oceli-hss/>
- [3] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [4] FREMUNT, Přemysl. *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky, 1994, 229 s.
- [5] VONDRÁČEK, František. *Materiály a technologie. 2., Technologie obrábění kovů*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1985.
- [6] JAROŠ, Ing. *NOVÉ FRÉZOVACÍ NÁSTROJE Z RYCHLOŘEZNÉ OCELI PRO HRUBOVACÍ OPERACE* [online]. Brno, 2015 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?action=detail&zp\\_id=80605&fid=&rok=&typ=3&ja\\_zyk=&text=Jaro%C5%A1&hl\\_klic\\_slova=0&hl\\_abstrakt=0&hl\\_nazev=0&hl\\_autor=1&str=1](https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?action=detail&zp_id=80605&fid=&rok=&typ=3&ja_zyk=&text=Jaro%C5%A1&hl_klic_slova=0&hl_abstrakt=0&hl_nazev=0&hl_autor=1&str=1). Dizertační. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Prof. Ing. MIROSLAV PÍŠKA, CSc.
- [7] Feron. *Struktura evropských značek ocelí* [online]. © 2004–2016 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/oceli.php?typ=2#>
- [8] Feron. Číselné označování a rozdělení ocelí ke tváření ČSN 42 0002:1976. *Číselné označování a rozdělení ocelí ke tváření ČSN 42 0002:1976* [online]. Feron: Feron, © 2004–2016 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/oceli.php?typ=1#>
- [9] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I. 2.*, opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, xii, 516 s. ISBN 80-720-4283-1.
- [10] KORECKÝ, Jan. *Tepelné zpracování železných a neželezných kovů*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1960.
- [11] NĚMEC, Karel. *Nástrojové oceli* [online]. 2008 [cit. 2016-03-07]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/index.php/cs/studium/podklady-pro-vyuku-zimni-semestr>
- [12] MORAVEC, Vladimír. *Konstrukce strojů a zařízení II.: čelní ozubená kola : teorie, výpočet, konstrukce, výroba, kontrola*. Ostrava: Montanex, 2001, 291 s. ISBN 80-722-5051-5.

- [13] HUMÁR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění – 1. část: Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program* [online]. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie, 2003 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: [http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobniTechnologie\\_I.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobniTechnologie_I.pdf)
- [14] ROČEK, Vladimír. *Rezné nástroje: základy*. 1. vyd. Praha 1: Státní nakladatelství technické literatury, 1961, 137 s. Malá technická příručka.
- [15] Tch.estranky. *Způsoby frézování: Frézování válcovou a čelní frézou* [online]. Praha: eStranky.cz, 2016 [cit. 2016-04-11].
- [16] NEDBAL, Radomír. *Strojírenská technologie*. 1. Zlín: SPŠ Zlín, 2008.
- [17] KOČMAN, Karel. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [18] Vitus total. *Praxe – strojní dílna: Frézky a frézování – názvosloví, způsoby práce a použití nástrojů* [online]. Plzeň: VOŠ a SPŠE Plzeň, 2002 [cit. 2016-04-11].
- [19] HOLEŠOVSKÝ, František. *Materiály a technologie obrábění*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 1991.
- [20] MT-nástroje: Kotoučová fréza. *I-frezy.cz* [online]. České Budějovice: Bohemiasoft s.r.o., 2012 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.i-frezy.cz/i-frezy/eshop/29-1-Modulove/0/5/1127-CSN222712-Kotoucova-freza-10-16x15-875-2>
- [21] *Stavba a provoz strojů*. 1. vydání. Zlín: SPŠ Zlín, 2005.
- [22] Banggood. *Banggood* [online]. Německo: Rechte vorbehalten, Copyright©2006-2016 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.banggood.com/de/M3-PA20-Inside-Bore-Diameter-22mm-1-8-HSS-Involute-Gear-Milling-Cutter-p-1002900.html>
- [23] Garvin TOOLS. *Hss Involute Gear Cutter Set* [online]. INDIA: Garvin Tools [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.garvintools.com/cutting-tools/297/hss-involute-gear-cutter-set>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

| <b>Zkratka</b> | <b>Jednotka</b>     | <b>Popis</b>   |
|----------------|---------------------|--|
| $D_a$          | mm                  | Průměr hlavové kružnice ozubeného kola                 |
| $D_b$          | mm                  | Průměr základní kružnice ozubeného kola                |
| $D_f$          | mm                  | Průměr patní kružnice ozubeného kola                   |
| $D$            | mm                  | Řezný průměr frézy                                     |
| $F$            | -                   | Fréza  |
| $H$            | mm                  | Výška zubu frézy                                       |
| HRC            | -                   | Tvrdost dle Rockwellovy zkoušky                        |
| HSS            | -                   | High speed steel                                       |
| $N$            | -                   | Nástroj  |
| PD             | -                   | Polykrystalický diamant                                |
| PKNB           | -                   | Polykrystalický kubický nitrid boru                    |
| RO             | -                   | Rychlořezná ocel                                       |
| $S$            | mm                  | Tloušťka frézy   |
| SK             | -                   | Slinuté karbidy  |
| $d$            | mm                  | Průměr otvoru upínací díry s podélnou drážkou pro pero |
| $n$            | $min^{-1}$          | Otáčky za minutu                                       |
| $v_c$          | $m \cdot min$       | Řezná rychlost   |
| $v_f$          | $mm \cdot min^{-1}$ | Podélný posuv  |
| $\alpha$       | $^\circ$            | Úhel profilu zubu                                      |
| $\gamma$       | $^\circ$            | Úhel čela  |