



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY DISTANČNÍHO KROUŽKU

DRAFT OF SPACER PRODUCTION TECHNOLOGY

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Zíka

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

BRNO 2020

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Marek Zíka</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2019/20

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 diplomové práce:

## Návrh technologie výroby distančního kroužku

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce je zaměřena na navržení nového technologického postupu distančního kroužku. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je podrobně charakterizovaná řešená součást, dále jsou charakterizovány použité výrobní technologie. Nosnou částí práce je navržení nového technologického postupu pro řešenou součást. Součástí práce je technicko–ekonomické zhodnocení.

### Cíle diplomové práce:

1. Charakteristika zadané součásti.
2. Charakteristika použitých výrobních technologií.
3. Stávající technologický postup.
4. Navržení nového technologického postupu.
5. Technicko–ekonomické zhodnocení.

### Seznam doporučené literatury:

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

PTÁČEK, L. Nauka o materiálu I. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003. ISBN 80-7204-283-1.

PÍŠKA, M. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem nového technologického postupu pro výrobu distančního kroužku o průměru 212 mm ve spolupráci s firmou Meopta – Optika, s.r.o. Výrobou této součásti dle stávajícího postupu nejsou dodrženy předepsané geometrické tolerance rovinnosti čela a házení radiusu s velikostí tolerančního pole 0,005 mm. V práci je proveden detailní rozbor zadané součásti a popsán stávající technologický postup včetně strojů, na kterých se distanční kroužek vyrábí. Na základě znalostí získaných z rozboru stávajícího postupu byl vytvořen nový technologický postup. Při výrobě dle tohoto postupu byly také překročeny některé geometrické tolerance, ale hodnoty přesahující předepsané toleranční pole se významně snížili. Oddělením technologie výroby byly výsledky shledány za dostačující a distanční kroužek se bude vyrábět dle nového technologického postupu. V poslední části práce jsou uvedeny náklady na výrobu součásti dle obou postupů.

### Klíčová slova

distanční kroužek, geometrická tolerance, technologický postup, korozivzdorná ocel, CNC stroje

## ABSTRACT

The diploma thesis deals with the design of a new technological process for the production of a spacer ring with a diameter of 212 mm in cooperation with the company Meopta – Optika, s.r.o. The production of this component according to the current process does not comply with the prescribed geometric tolerances of flatness of the face and radius runout with a tolerance field size of 0.005 mm. The work is a detailed analysis of the specified component and describes the current technological process, including the machines on which the spacer ring is manufactured. Based on the knowledge gained from the analysis of the current process, a new technological process was created. During the production according to this process, some geometric tolerances were also exceeded, but the values exceeding the prescribed tolerance field were significantly reduced. The department of production technology found the results to be sufficient and the spacer ring will be produced according to the new technological process. In the last part of the work are the costs of production of components according to both processes.

### Key words

spacer ring, geometric tolerance, technological process, stainless steel, CNC machines

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZÍKA, Marek. *Návrh technologie výroby distančního kroužku* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124732>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Aleš Jaroš.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh technologie výroby distančního kroužku** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

22.6.2020

.....  
Datum

.....  
Bc. Marek Zíka

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Aleši Jarošovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat panu Ing. Martinu Julišovi, Ph.D. za poskytnuté konzultace ohledně tepelného zpracování součásti. Dále bych chtěl poděkovat firmě Meopta – Optika, s.r.o. za možnost zpracovat tuto diplomovou práci a poskytnutí informací ohledně výroby distančního kroužku.

V neposlední řadě bych chtěl také poděkovat rodičům za všestrannou podporu během psaní této práce i celého studia.

## OBSAH

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ .....	6
PODĚKOVÁNÍ.....	7
OBSAH.....	8
<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>1 CHARAKTERISTIKA ZADANÉ SOUČÁSTI .....</b>	<b>11</b>
1.1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI MEOPTA – OPTIKA, S.R.O. ....	11
1.2 DISTANČNÍ KROUŽEK .....	12
1.2.1 Korozivzdorná ocel 1.4057 .....	14
1.2.2 Korozivzdorná ocel 1.4301 .....	14
1.2.3 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí.....	15
<b>2 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH VÝROBNÍCH TECHNOLOGIÍ.....</b>	<b>17</b>
2.1 SOUSTRUŽENÍ .....	17
2.1.1 Řezné podmínky .....	18
2.1.2 Sílové účinky při soustružení.....	20
2.2 FRÉZOVÁNÍ .....	21
2.2.1 Řezné podmínky .....	22
2.2.2 Sílové účinky při frézování .....	23
2.3 VRTÁNÍ.....	24
2.3.1 Řezné podmínky .....	25
2.3.2 Řezné síly při vrtání.....	25
2.4 LEŠTĚNÍ.....	27
2.5 LAPOVÁNÍ .....	29
<b>3 STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGICKÝ POSTUP .....</b>	<b>31</b>
3.1 DĚLENÍ MATERIÁLU .....	32
3.2 HRUBOVÁNÍ.....	33
3.3 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ .....	36
3.4 DOKONČOVÁNÍ .....	40
3.5 FRÉZOVÁNÍ .....	44
3.6 ZÁMEČNICKÉ PRÁCE A LASEROVÝ POPIS OBROBKU .....	45
3.7 LEŠTĚNÍ A LAPOVÁNÍ .....	46
3.8 ODDĚLENÍ TECHNICKÉ KONTROLY .....	47
<b>4 NÁVRH NOVÉHO TECHNOLOGICKÉ POSTUPU .....</b>	<b>50</b>
4.1 HRUBOVÁNÍ.....	50
4.2 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ .....	51
4.3 DOKONČOVÁNÍ .....	52
4.4 ODDĚLENÍ TECHNICKÉ KONTROLY .....	52
4.4.1 Geometrické tolerance kruhovitosti .....	53
4.4.2 Geometrické tolerance kolmosti .....	54
4.4.3 Geometrické tolerance rovnoběžnosti .....	54
4.4.4 Geometrické tolerance rovinnosti .....	55
4.4.5 Geometrická tolerance házení čela R0,5 .....	57
4.5 SHRNUTÍ.....	58



---

<b>5</b>	<b>TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ</b> .....	<b>59</b>
5.1	NÁKLADY NA MATERIÁL .....	59
5.2	NÁKLADY NA NÁSTROJE A PROVOZ STROJE .....	60
5.3	LOGISTIKA PO FIRMĚ .....	61
5.4	MZDY PRACOVNÍKŮ .....	62
5.5	CELKOVÉ NÁKLADY .....	64
	<b>ZÁVĚRY</b> .....	<b>66</b>
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	67
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	73
	SEZNAM PŘÍLOH .....	76

## ÚVOD

V dnešní době se požadavky na kvalitu, kvantitu a přesnost výroby zvyšují značným tempem. Důsledkem toho se do výrobního procesu zavádějí CNC soustruhy a obráběcí centra, které umožňují efektivnější výrobu obrobků s výrazně vyšší přesností oproti standartním strojům bez počítačového řízení. Běžně dosahovaná přesnost na CNC strojích je v řádech setin milimetrů, což v některých odvětvích průmyslu (např. polovodičová technika, zdravotnické potřeby, biotechnologie, jemná mechanika) je již nedostačující a nutí výrobce těchto strojů k výrobě přesnějších zařízení. [1] Jedním z těchto odvětví je také mechanika k upnutí optických soustav, do kterého spadá tato diplomová práce.

Diplomová práce se zabývá problematikou výroby distančního kroužku s velmi přesnými geometrickými tolerancemi. Součást byla vybrána z důvodu nesplnění požadavků stanovených ve výkresové dokumentaci. Tato práce byla zpracována ve spolupráci se společností Meopta – Optika, s.r.o., která se již řadu let zabývá výrobou optiky a jejího mechanického upnutí v mnoha průmyslových odvětvích.

V první kapitole bude věnována pozornost charakteristice zadané součásti, představení společnosti Meopta – Optika, s.r.o., popisu problémů při výrobě distančního kroužku a obrobitelnosti dané skupiny materiálu, ze kterého se součást vyrábí.

Dále jsou v práci popsány použité výrobní technologie. Vzhledem k tvarové přesnosti distančního kroužku je nutné využít celou řadu technologií výroby.

Ve třetí kapitole bude popsán stávající technologický postup výroby včetně použitých strojů a jejich technických údajů.

Čtvrtá kapitola je věnována novému technologickému postupu, který bude na základě rozboru stávajícího postupu změněn tak, aby byly odstraněny problémy spojené s výrobou distančního kroužku.

Poslední kapitola je zaměřena na technicko-ekonomické zhodnocení výroby distančního kroužku pro oba postupy a jsou zde uvedeny náklady na výrobu jedné součásti.



Obr. 1 Distanční kroužek

## 1 CHARAKTERISTIKA ZADANÉ SOUČÁSTI

Cílem této práce je navrhnout nový výrobní postup pro zhotovení distančního kroužku, který slouží k vystředění optických čoček teleskopu. Model součásti můžeme vidět na obrázku 1.1, kde pro znázornění průřezu byla vyříznuta výseč plného materiálu o úhlu 20°. Před zadáním této součásti jako tématu diplomové práce byla součást vyráběna podle stávajícího výrobního postupu popsaného v kapitole 3, kdy z důvodu vysokých požadavků na přesnost dané součásti nebyly dodrženy geometrické tolerance dle výkresové dokumentace. Tato diplomová práce byla zpracována ve spolupráci s firmou Meopta – Optika, s.r.o.



Obr. 1.1 Distanční kroužek

### 1.1 Představení společnosti Meopta – Optika, s.r.o.

Firma Meopta je nadnárodní společnost zabývající se především návrhem a realizací optických sestav včetně mechanických součástí a jejich následné montáže. Výrobní závody se nachází v České republice v Přerově a v USA na Floridě. Závod v Přerově má dlouholetou historii sahající do roku 1933, kdy zde byla založena firma Optikotechna. Po druhé světové válce se firma přejmenovala na Meopta. Výrobní portfolium Meopty je velmi široké a spadá do mnoha průmyslových odvětví např. sportovní a vojenská optika, zdravotnické zařízení, digitální filmová projekce, či průzkum vesmíru. Výroba v této firmě je rozdělena na optickou a mechanickou část, která probíhá na více než 120-ti CNC strojích, umožňujících velmi přesné obrábění v řádech tisícín milimetru. Nejčastěji vyráběné díly jsou zhotoveny z hliníkových slitin, barevných kovů, korozivzdorných ocelí, hořčíkových a titanových slitin i plastů pomocí těchto výrobních metod:

- soustružení s průměrem obrobku od 1 do 200 mm, délkou do 300 mm a přesností stupně IT 5,
- frézování na tří, čtyř i pětiosých obráběcích centrech s přesností stupně IT 5,
- broušení na kulato, ploché a broušení otvorů s přesností IT 4,
- elektrojiskrové obrábění a drátové řezání,
- zámečnické práce zahrnující tvářecí metody (ohýbání, válcování závitů), svařování, pájení a velmi přesné dokončovací obráběcí metody jako je lapování a honování. [2]

Neoddělitelnou součástí mechanické výroby je tepelné zpracování, které se provádí na víceúčelovém zařízení s řízenou atmosférou nebo v jednodílné peci s vakuem, případně ochranným plynem (dusík). V těchto pecích je možné provést běžná tepelná (žíhání, kalení, popouštění) a chemicko-tepelná zpracování (cementování, nitrocementování). [2]

Ve firmě se také provádějí povrchové úpravy, které dávají výrobku lepší vzhled a zvyšují mechanické a korozivzdorné vlastnosti výrobků. Na zařízeních se provádějí tyto typy povrchových úprav:

- eloxování – anodická oxidace,
- elektrolytické pokovování niklem, mědí, zinkem, chromem či kadmíem,
- fosfátování zinkem, alkalické černění oceli,
- chemické niklování oceli a slitin mědi,
- lakování v moderní lakovně. [3]

Před samotnou povrchovou úpravou výrobek prochází řadou přípravných operací včetně čištění povrchu. V závodě se nacházejí technologie na tryskání, kartáčování, omílání, leštění, moření v kyselinách a čištění ultrazvukem. [3]

## 1.2 Distanční kroužek

Problémem při výrobě distančního kroužku jsou předepsané geometrické tolerance rovinnosti, kruhovitosti, kolmosti, rovnoběžnosti a házení o velikosti 0,005 mm. Při průměru kroužku 212 mm spadá součást do rozměrové přesnosti IT 2. V tabulce 1.1 jsou uvedeny stupně přesnosti od IT 01 do IT 7 pro obrobky o jmenovitém rozměru do 400 mm. [4]

Tab. 1.1 Stupně normalizovaných tolerancí. Číselné hodnoty uváděny v  $\mu\text{m}$  [4]

Jmenovitý rozměr [mm]	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7
0 ÷ 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10
3 ÷ 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12
6 ÷ 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15
10 ÷ 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18
18 ÷ 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21
30 ÷ 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25
50 ÷ 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30
80 ÷ 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35
120 ÷ 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40
180 ÷ 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46
250 ÷ 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52
315 ÷ 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57

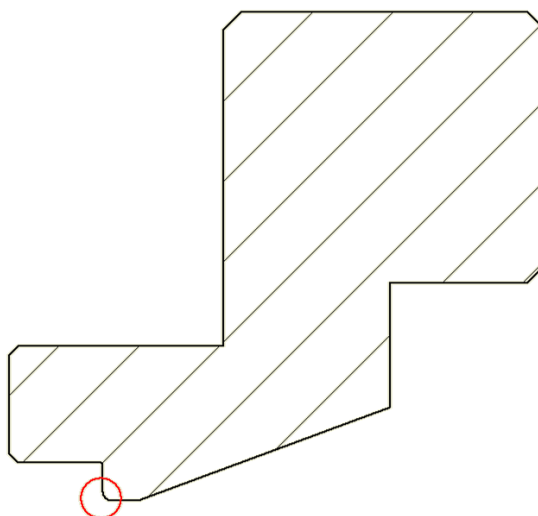
Rozlišujeme celkem 20 stupňů přesnosti, kde stupeň IT 2 je určen pro výrobu měřidel a kalibrů [4]. Všechny rozměry distančního kroužku jsou uvedeny na výkrese,

který je přílohou této práce (viz Příloha 1). Dle původního výrobního postupu bylo zhotoveno několik kusů a následně byly změřeny na oddělení technické kontroly, kde byly zjištěny hodnoty uvedené v tabulce 1.2. V tabulce jsou uvedeny číselně pouze geometrické tolerance, které překračují předepsanou toleranci 5  $\mu\text{m}$ . Pro větší názornost jsou některé geometrické tolerance značené symbolem #0x, který je současně uveden u daných rozměrů na výkresu součásti. Tato práce se nezabývá rozměrovými přesnostmi distančního kroužku z důvodů splnění požadavků výkresové dokumentace.

Tab. 1.2 Velikosti geometrických tolerancí překračující toleranční pole 5  $\mu\text{m}$  [5]

Geometrická tolerance	Hodnoty překročení tolerančního pole 5 $\mu\text{m}$ [ $\mu\text{m}$ ]					
	1. kus	2. kus	3. kus	4. kus	5. kus	6. kus
kruhovitost $\varnothing 175\_1$	ok	ok	ok	ok	ok	ok
kruhovitost $\varnothing 175\_2$	ok	ok	ok	ok	ok	ok
#01 kolmost	ok	ok	ok	ok	ok	ok
#02 kruhovitost $\varnothing 158\_1$	ok	ok	ok	ok	ok	ok
#02 kruhovitost $\varnothing 158\_2$	ok	ok	ok	ok	ok	ok
#03 rovnoběžnost vnitřního čela k D	ok	ok	ok	ok	6,61	ok
#04 rovnoběžnost levého čela k D	ok	ok	0,22	ok	16,78	ok
#05 rovinnost levého čela	ok	ok	0,18	ok	16,83	ok
rovinnost pravého čela	1,47	0,35	2,66	1,17	17,36	1,46
čelní házení R0,5	3,27	2,87	3,04	1,67	11,88	3,54

Ve výše uvedené tabulce můžeme vidět, že naměřené hodnoty 5. kusu se výrazně vymykají ostatním měřením a lze je považovat za ojedinělou chybu při výrobě. Z tohoto důvodu hodnoty naměřené u 5. kusu zanedbáme. Z uvedených hodnot je patrné, že největší nepřesnosti výroby nastávají u rovinnosti pravého čela a čelního házení radiusu 0,5 mm, které jsou znázorněny na průřezu distančního kroužku na obrázku 1.2. Průměrná hodnota překročení tolerance vypočítaná z měření pěti kusů (bez 5. kusu) pro rovinnost pravého čela je 1,42  $\mu\text{m}$  a pro čelní házení 2,88  $\mu\text{m}$ . Kus číslo 3 lehce překračuje toleranci rovnoběžnosti #04 a rovinnosti levého čela #05. Tyto nepřesnosti mohou být z velké části způsobené nevhodným způsobem upnutí při soustružení. Distanční kroužek má být zhotoven z korozivzdorné oceli 1.4057, ze které jsou vyrobeny všechny měřené vzorky. Druhou možností je použití korozivzdorné oceli 1.4301. Výrobní série této součásti bude do sto kusů ročně.



Obr. 1.2 Znázornění geometrických tolerancí (rovinnost čela a házení radiusu) na průřezu distančního kroužku

### 1.2.1 Korozivzdorná ocel 1.4057

Ocel 1.4057, značením podle normy DIN X17CrNi16-2, případně dle ČSN 17 145, je martenzitická korozivzdorná ušlechtilá ocel. Tato ocel dosahuje jedné z nejvyšších odolností vůči korozi mezi martenzitickými oceli. Stejně jako ostatní martenzitické oceli je magnetická a náchylná k mezikrystalické korozi. Korozivzdorné vlastnosti u ocelí jsou zajištěny obsahem chrómu v matici, kdy jeho minimální koncentrace činí 11,5 hm. %. Chemické složení této oceli je uvedeno v tabulce 1.3. Velkou výhodou tohoto materiálu je jeho výborná leštitelnost pomocí mechanického leštění. Hlavní využití oceli X17CrNi16-2 je pro silně namáhané součásti v automobilovém, chemickém, potravinářském, lodním a petrochemickém průmyslu např. hřídele, šrouby a lopatky turbín, čerpadla. [6, 7, 8, 9]

Tab. 1.3 Chemické složení oceli 1.4057. [8]

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
Obsah prvku [hm. %]	0,12-0,22	max 1	max 1,5	max 0,04	max 0,015	15-17	1,5-2,5

Ocel X17CrNi16-2 je vhodná ke kalení, při kterém se výrazně zvýší jeho tvrdost a pevnost. Po kalení součásti je nezbytné provést popouštění kvůli odstranění vysokých strukturních a teplotních pnutí, čímž dochází k mírnému poklesu tvrdosti. Tento materiál se velmi často používá v zušlechtném stavu značeném dle počáteční hodnoty intervalu meze pevnosti QT800 nebo QT900, avšak zušlechťováním lze dosáhnout pevnosti až 1300 MPa. [7, 8, 9] K výrobě distančního kroužku se využívá oceli zušlechtné na stav QT800. Mechanické a fyzikální vlastnosti tohoto stavu jsou uvedeny v tabulce 1.4.

Tab. 1.4 Mechanické a fyzikální vlastnosti oceli 1.4057 pro stav QT 800. [8]

Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	600
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	800-950
Tažnost A [%]	12-14
Nárazová práce KV [J]	20-25
Tvrdost	dle průběhu kalení
Hustota $\rho$ [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	7700
Měrná tepelná kapacita $c_p$ [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	460
Teplotní součinitel roztažnosti $\alpha$ [ $\text{K}^{-1}$ ]	$10,5\cdot 10^{-6}$ při 20-400 °C
Tepelná vodivost $\lambda_t$ [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	25

### 1.2.2 Korozivzdorná ocel 1.4301

Označení této oceli dle chemického složení je X5CrNi18-10, případně dle ČSN 17 240 a jedná se o austenitickou chrom-niklovou korozivzdornou ocel. Patří mezi nejpoužívanější ušlechtilé oceli a vyskytuje se přibližně ve 33 % součástí z korozivzdorných ocelí vystavených malým zatížením. Využívá se v mnoha průmyslových odvětvích jako je potravinářský, ropný, automobilový, chemický, papírenský a farmaceutický průmysl. Tento materiál je nemagnetický, nekalitelný, velmi dobře svařitelný, má výborné korozivzdorné vlastnosti v přirozeném prostředí (působení vody a atmosféry) a odolává i roztokům chloru a solí o slabších koncentracích. Tato ocel je velmi dobře leštitelná mechanicky i elektrolyticky. [9, 10, 11] Složení této oceli najdeme v tabulce 1.5.



Tab. 1.5 Chemické složení oceli 1.4301. [12]

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
Obsah prvku [hm. %]	max 0,07	max 1	max 2	max 0,045	0-0,015 (0,03)	17,5-19,5	8-10,5	max 0,11

U austenitických ocelí se nedosahuje tak vysokých tvrdostí a pevností jako u martenzitických ocelí. Tuto ocel je možné tepelně zpracovat pomocí rozpouštěcího žíhání, kdy se rozpustí karbidy ve struktuře a vzniká homogenní austenitická struktura. [7, 12] Přehled mechanických a fyzikálních vlastností této oceli v tyčovém stavu o průměru polotovaru 160 až 250 mm můžeme vidět v tabulce 1.6.

Tab. 1.6 Mechanické a fyzikální vlastnosti oceli 1.4301. [12]

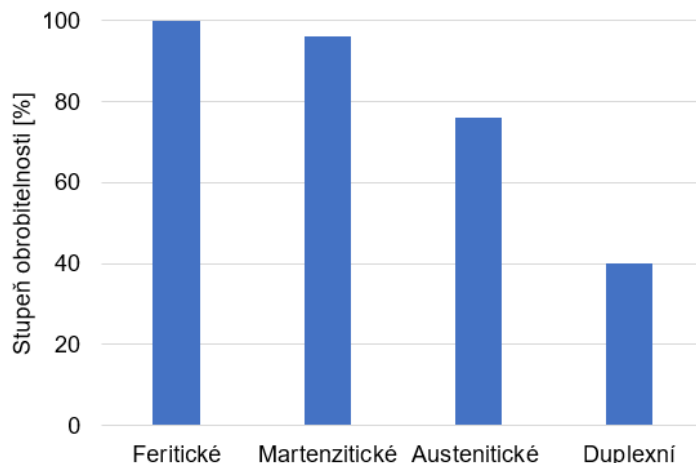
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	190
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	500-700
Tažnost A [%]	35
Nárazová práce KV [J]	60
Hustota $\rho$ [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	7900
Měrná tepelná kapacita $c_p$ [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	500
Teplotní součinitel roztažnosti $\alpha$ [ $\text{K}^{-1}$ ]	$18\cdot 10^6$ při 20–500 °C
Tepelná vodivost $\lambda_t$ [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	15

### 1.2.3 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí

Obrobitelnost je souhrnný pojem pro vyjádření vlivu chemického složení a fyzikálních vlastností obráběného materiálu. Obecně je obrobitelnost daného materiálu závislá na řadě činitelů, z nichž nejvýznamnější jsou:

- Mechanické vlastnosti, které se z velké části podílejí na rychlosti opotřebení břitu nástroje. Především zvýšením pevnosti, tvrdosti a houževnatosti se obrobitelnost zhoršuje kvůli zvětšení řezných sil.
- Chemické složení materiálu, které má zásadní význam na jeho obrobitelnost. Ve většině případů je materiál volen dle požadavků na výrobek, čímž se chemické složení stává těžko ovlivnitelné. Vysoce legované (korozivzdorné) oceli obsahují zvýšené množství chromu, niklu, molybdenu, vanadu, manganu a kobaltu. Tyto prvky zpravidla zvyšují pevnost oceli a tvoří v oceli sloučeniny (např. karbidy chromu), které dále zvyšují opotřebení nástroje. Zejména u austenitických ocelí je výrazné zastoupení niklu, který zhoršuje obrobitelnost od koncentrace 2 %, což je způsobeno zvýšením houževnatosti materiálu. Další negativní vliv na trvanlivost břitu má ocel legovaná manganem, který zvyšuje abrazivnost materiálu.
- Tepelné vlastnosti (odvod tepla z místa řezu) - při obrábění vzniká mezi obrobkem a nástrojem teplo, které je odváděno třískami. U materiálů s nízkou tepelnou vodivostí se teplo neodvádí dostatečně rychle a zvyšuje se teplota řezání a tím i zhoršuje obrobitelnost.
- Výskyt vměstků v materiálu jako jsou oxidy, sulfidy či velmi tvrdé částice nitridů a karbonitridů, které zvyšují abrazivní opotřebení nástroje.
- Sklon k mechanickému zpevnění, kdy v průběhu prvního řezu může dojít ke zpevnění povrchové vrstvy obrobku, kterou je obtížnější odstranit v dalším řezu.
- Původ materiálu (kvalitním zpracováním materiálu dodavatelem)
- Struktura materiálu [13, 14, 15]

V dnešní době je na trhu spousta korozivzdorných materiálů, které můžeme dle jejich struktury rozdělit na feritické, martenzitické, austenitické a duplexní (feriticko-austenitické). Obrobitelnost korozivzdorných materiálů i v rámci jedné struktury je velmi rozdílná. V literatuře Příručka obrábění od firmy Sandvik [16] je znázorněno porovnání obrobitelnosti jednotlivých struktur (viz obr. 1.3). Tato porovnání jsou velmi přibližná a poskytují jen částečné informace o stupni obrobitelnosti dané oceli. [15, 16]



Obr. 1.3 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí dle struktury [16]

Z obrázku 1.3 je patrné, že feritické oceli se obrábějí velmi dobře. U martenzitických ocelí mají nejlepší obrobitelnost materiály s nízkým uhlíkem a obsahem chromu 13 hm. %. Zvyšováním koncentrace těchto prvků, dochází k tvorbě karbidů, které mají silné abrazivní účinky na nástroj. Tyto oceli je vhodné zpracovávat v žíhaném stavu při nižší tvrdosti a jejich zušlechťení provést po dokončení hrubovacích operací. [16]

Austenitické a duplexní oceli můžeme zařadit mezi těžkoobrobitelné materiály. Austenitické oceli mají horší tepelnou vodivost, vysokou pevnost, tvárnost a houževnatost při nízké mezi kluzu, což má za následek náchylnost oceli k mechanickému zpevnování. Při vysokých teplotách řezání a měrných tlacích dochází k přeměně austenitu v povrchové vrstvě na tvrdý martenzit a vytvoření karbidů. Tvrdost této vrstvy může být až dvojnásobná oproti tvrdosti jádra. Je tedy vhodné volit šířku záběru ostří tak, aby břit obráběl pod přeměněnou vrstvou. Dalším problémem je vysoká tvárnost oceli, která způsobuje navařování třísky na břit nástroje. Obrobitelnost těchto ocelí lze zlepšit žíháním, kdy při teplotách okolo 1000 °C dochází k rozpuštění tvrdých karbidů a homogenizaci austenitické struktury. Při tomto tepelném zpracování je nutné použít vysokých ochlazovacích rychlostí pro zajištění dobré obrobitelnosti a odolnosti vůči korozi. Pomalým ochlazováním totiž dochází k opětovnému vytvoření tvrdých a abrazivních karbidů na hranicích zrn, čímž se zároveň u nestabilizovaných ocelí snižuje koncentrace chromu v matici. Výrazného zlepšení obrobitelnosti těchto materiálů docílíme zvýšením koncentrace síry v oceli, která tvoří s manganem sulfidy. Tyto sloučeniny způsobují lámavost odebraného materiálu na drobné třísky, hladký povrch obrobku a výrazně větší trvanlivosti obráběcího nástroje. Zvýšená trvanlivost břitu může být v závislosti na množství síry větší o více než 100 % při současném zvýšení rezné rychlosti. Dle množství síry v oceli můžeme rozdělit oceli určené k obrábění na automatové s obsahem síry 0,15-0,35 hm. % a standardní oceli se zlepšenou obrobitelností s koncentrací 0,015-0,03 hm. %, do které lze zařadit i ocel 1.4301 vhodnou pro výrobu distančního kroužku. Zvyšováním koncentrace síry dochází také k poklesu korozivzdorných vlastností v oceli, proto je její obsah omezen na maximální hodnotu 0,35 hm. %. [14, 15, 16, 17, 18]



## 2 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH VÝROBNÍCH TECHNOLOGIÍ

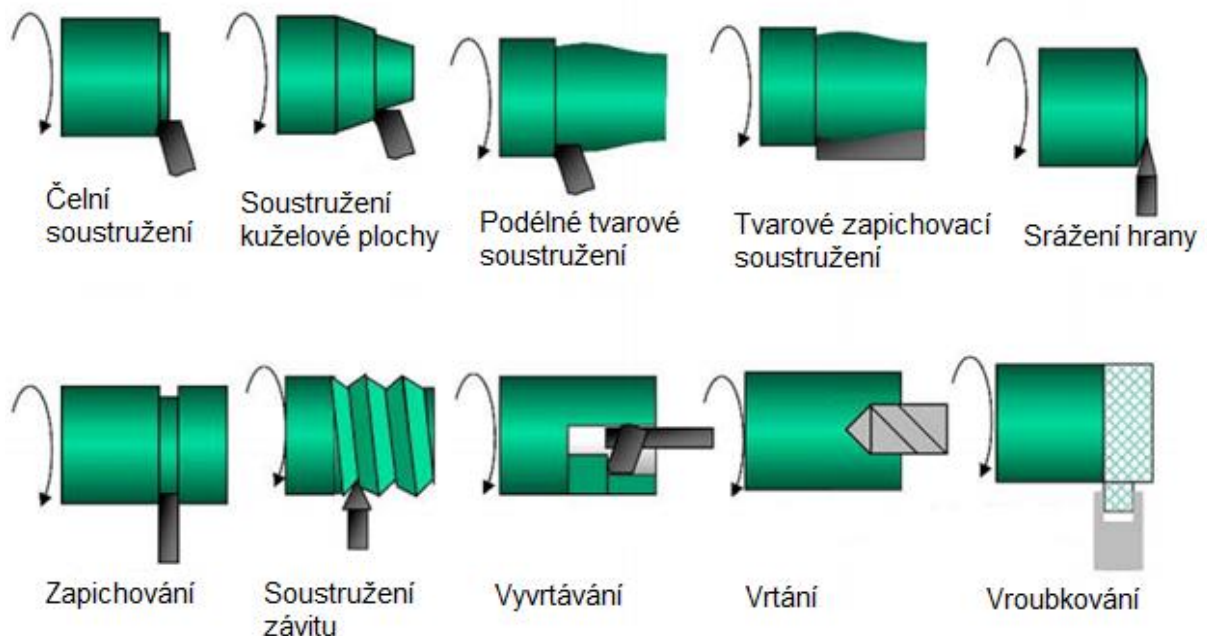
Pro dosažení požadovaných tvarů a rozměrů součásti, musí obrobek projít výrobním procesem, při kterém je použita řada výrobních technologií. Při výrobě zadaného distančního kroužku se jedná o tyto technologie:

- soustružení,
- frézování,
- vrtání,
- leštění,
- lapování.

### 2.1 Soustružení

Soustružení patří mezi nejpoužívanější výrobní technologie. Touto metodou se vyrábějí rotační součásti za pomoci obvykle jednobřítých nástrojů, kterými lze soustružit zápichy, vnitřní, vnější, kuželové a rovinné čelní plochy. Přehled základních operací na soustruhu je znázorněn na obr. 2.1. Při soustružení odebíráme nadbytečnou vrstvu materiálu pomocí nástroje vhodného tvaru. Odebraný materiál je ve formě třísky odváděn po čele nástroje od obrobku. Před začátkem třískového obrábění je nutné určit řezné podmínky, které mají velký vliv na rozměrovou přesnost obrobku a drsnost povrchu. Řezný pohyb u soustružení můžeme rozdělit na:

- Hlavní řezný pohyb – rotace obráběného materiálu kolem své osy.
- Vedlejší řezný pohyb – přímočarý posuv nástroje směrem k obrobku. [19, 20]



Obr. 2.1 Přehled základních operací na soustruhu [19]

### 2.1.1 Řezné podmínky

Těmito podmínkami rozumíme velikost řezné rychlosti  $v_c$ , posuvu  $f$  a šířku záběru ostří  $a_p$ .

Řezná rychlost při soustružení je obvodová rychlost obrobku na obráběné ploše. Její velikost se volí v závislosti na druhu materiálu nástroje a obrobku v intervalu od 5 do 1000  $m \cdot min^{-1}$ . Výpočet řezné rychlosti se stanoví pomocí vztahu 2.1.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3} \quad [m \cdot min^{-1}] \quad (2.1)$$

kde:  $D$  [mm] – průměr obráběné plochy  
 $n$  [ $min^{-1}$ ] – otáčky obrobku

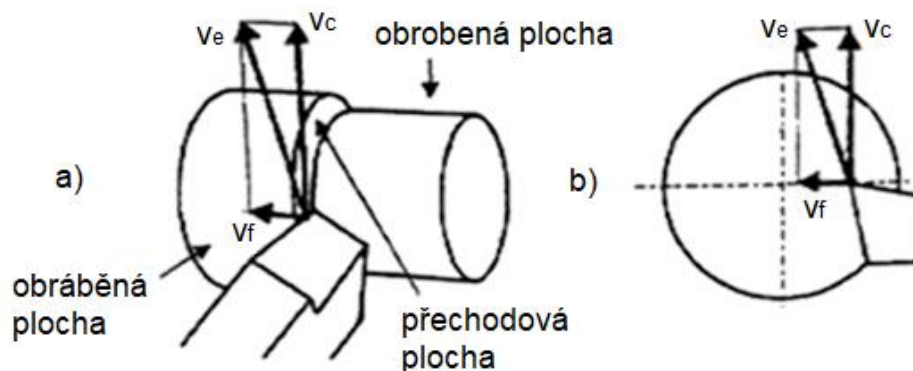
Posuv je vzdálenost, kterou urazí nástroj během jedné otáčky obrobku. Velikost posuvu se pro hrubování volí v rozsahu 0,4 až 3,5 mm a při dokončování 0,06 až 0,3 mm. Ze znalosti posuvu můžeme vypočítat velikost posuvové rychlosti:

$$v_f = f \cdot n \quad [mm \cdot min^{-1}] \quad (2.2)$$

Složením vektorů řezné a posuvové rychlosti dostaneme velikost a směr celkové rychlosti při soustružení (viz obr. 2.2). Velikost posuvové rychlosti je výrazně menší než řezná rychlost. Celková rychlost je tedy přibližně stejně velká jako řezná rychlost (viz vztah 2.4) [19, 20]:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad [m \cdot min^{-1}] \quad (2.3)$$

$$v_e \cong v_c \quad (2.4)$$



Obr. 2.2 Složení vektorů rychlostí pro  
 a) podélné soustružení  
 b) čelní soustružení [20]

Jak je patrné z obrázku 2.2, při obrábění vzniká na obrobku přechodová plocha, která odděluje plochu obráběnou a obrobenou. Pomocí přechodové plochy jsou definovány některé části nástroje, např. hlavní a vedlejší ostří nástroje. [19]

Šířka záběru ostří se volí především podle obráběného materiálu a způsobu soustružení (dokončování a hrubování). Její velikost je řádově od desetin mm po několik mm a stanoví se následujícími vztahy pro podélné (2.5) a čelní soustružení (2.6):

$$a_p = 0,5 \cdot (D - d) \quad [mm] \quad (2.5)$$

kde:  $D$  [mm] – průměr obráběné plochy  
 $d$  [mm] – průměr obrobené plochy

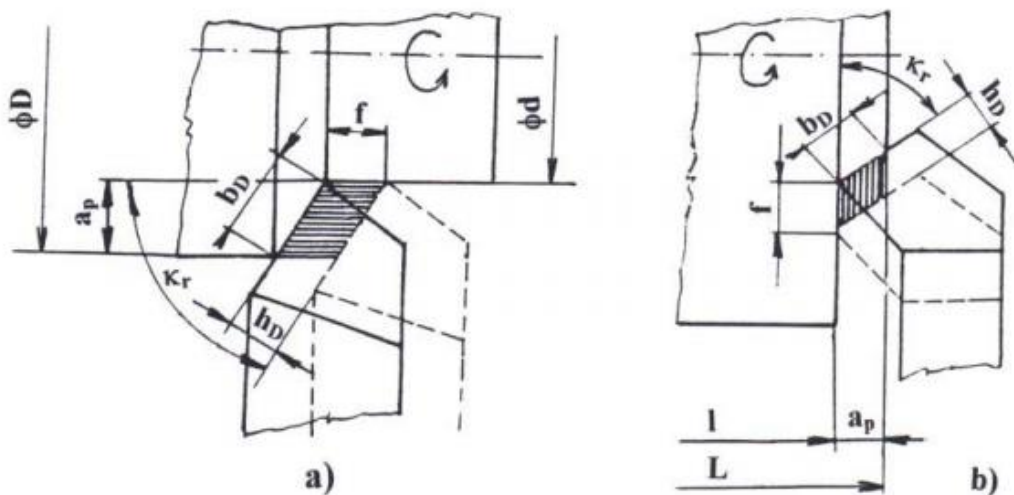
$$a_p = L - l \quad [mm] \quad (2.6)$$

kde:  $L$  [mm] – délka obráběné plochy  
 $l$  [mm] – délka obrobené plochy

Ze znalosti šířky záběru ostří lze spočítat průřez třísky pomocí vztahu, který vyplývá z geometrie obrobku a nástroje při soustružení (viz obr. 2.3). Je definován jako součin jmenovité šířky třísky  $b_D$  a jmenovité tloušťky třísky  $h_D$  [19, 20].

$$A_D = h_D \cdot b_D = f \cdot \sin \kappa_r \cdot \frac{a_p}{\sin \kappa_r} = a_p \cdot f \quad [mm^2] \quad (2.7)$$

kde:  $\kappa_r$  [°] – nástrojový úhel nastavení hlavního ostří



Obr. 2.3 Geometrie obrobku a nástroje při:  
 a) podélném soustružení  
 b) čelním soustružení [20]

### 2.1.2 Sílové účinky při soustružení

Při soustružení působí na obrobek řezná síla  $F_c$ , posuvová síla  $F_f$  a pasivní síla  $F_p$ . Složením těchto tří sil se dostane celková řezná síla  $F$ . Jednotlivé síly jsou zobrazeny na obrázku 2.4 a vypočítají se následujícími empirickými vztahy [19]:

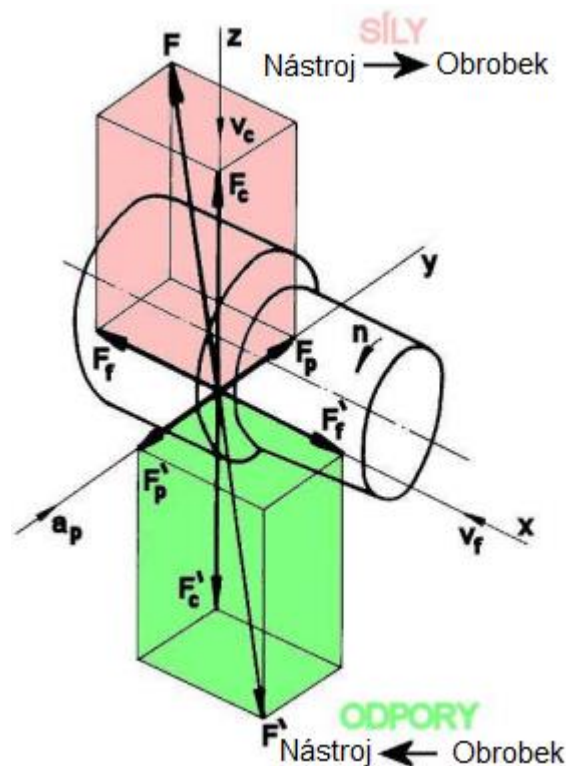
$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \quad [N] \quad (2.8)$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} \quad [N] \quad (2.9)$$

$$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^{x_{Fp}} \cdot f^{y_{Fp}} \quad [N] \quad (2.10)$$

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2} \quad [N] \quad (2.11)$$

kde:  $C_{Fc}$ ,  $C_{Ff}$ ,  $C_{Fp}$  jsou materiálové konstanty  
 $x_{Fc}$ ,  $x_{Ff}$ ,  $x_{Fp}$  jsou exponenty vlivu šířky záběru  $a_p$   
 $y_{Fc}$ ,  $y_{Ff}$ ,  $y_{Fp}$  jsou exponenty vlivu posuvu  $f$



Obr. 2.4 Řezné síly a odpory při podélném soustružení [19]

Pro umožnění odebrání třísky z obrobku, je nutné, aby velikost řezné síly překonala odpor materiálu proti porušení soudržnosti. Tuto veličinu nazýváme měrným řezným odporem, případně měrnou řeznou silou a lze jí určit jako poměr řezné síly a průřezu třísky (viz vztah 2.12). Kromě těchto veličin má na její velikost velký vliv geometrie nástroje a řezné podmínky. [21]

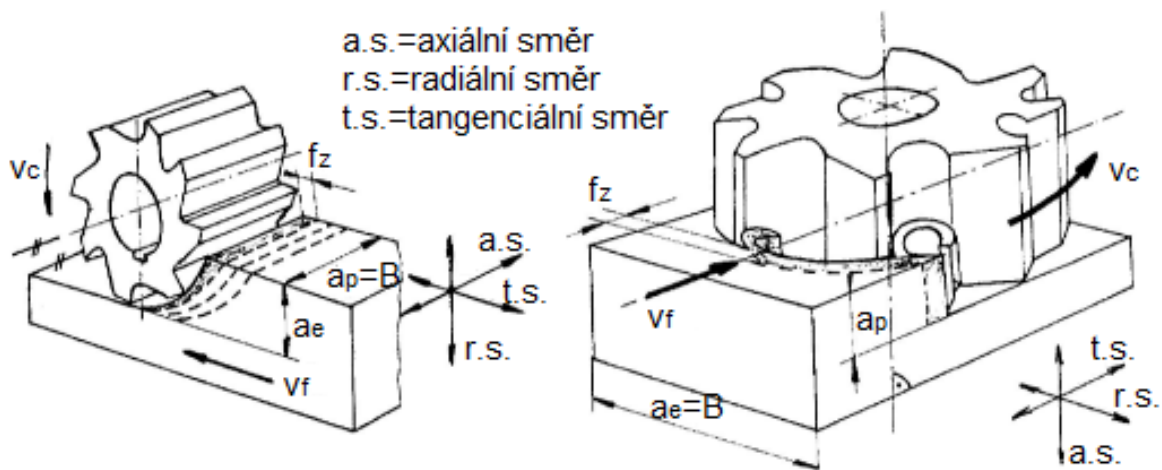
$$k_c = \frac{F_c}{A_D} \quad [MPa] \quad (2.12)$$

## 2.2 Frézování

Tato výrobní metoda je všestrannou technologií, kterou lze obrábět rovinné, rotační i tvarové plochy. Při frézování je přebytečný materiál z obrobku odřezáván pomocí břitů nástroje (frézy), který vykonává hlavní rotační pohyb. Posun obrobku k rotující fríze je pohyb vedlejší. V dnešní době moderních víceosých CNC frézek a obráběcích center můžeme posuv plynule měnit a lze provést ve všech osách včetně rotací kolem os. Na rozdíl od soustružení je řezný proces u frézování přerušovaný a jednotlivé zuby frézy odebírají krátké třísky o různé tloušťce.

Frézování lze rozdělit podle orientace osy otáčení na (viz obr. 2.5):

- válcové frézování (obvodem), při kterém je osa frézy rovnoběžná s osou obráběné plochy,
- čelní frézování, u kterého je osa frézy kolmá na obráběnou plochu obrobku. Jedná se o efektivnější způsob frézování v porovnání s válcovou metodou. [19, 20, 22]



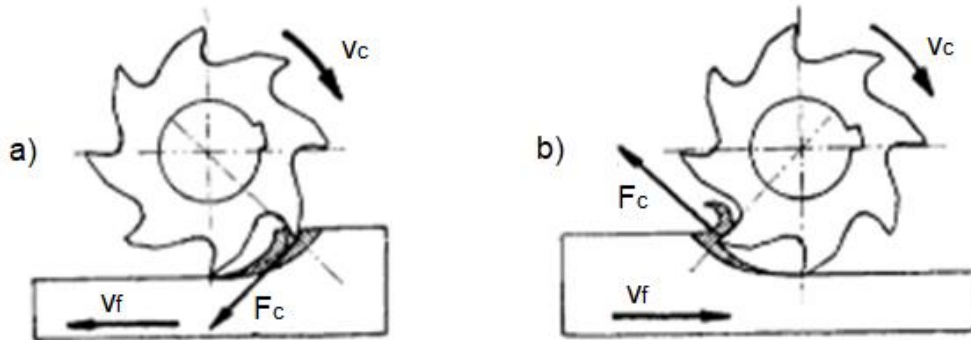
Obr. 2.5 Frézování válcové (vlevo) a čelní (vpravo) [22]

Na výše uvedeném obrázku si můžeme povšimnout souřadného systému, kde axiální směr je rovnoběžný s osou frézy, tangenciální a radiální směr odpovídá směru posuvu. Dle takto zavedených souřadných os rozlišujeme axiální hloubku řezu  $a_p$  a radiální hloubku řezu  $a_e$ , které jsou vyznačeny na obrázku 2.5. [22]

Frézy pro válcové frézování jsou opatřeny zuby pouze na obvodu nástroje. Podle smyslu rotace frézy při obrábění rozlišujeme:

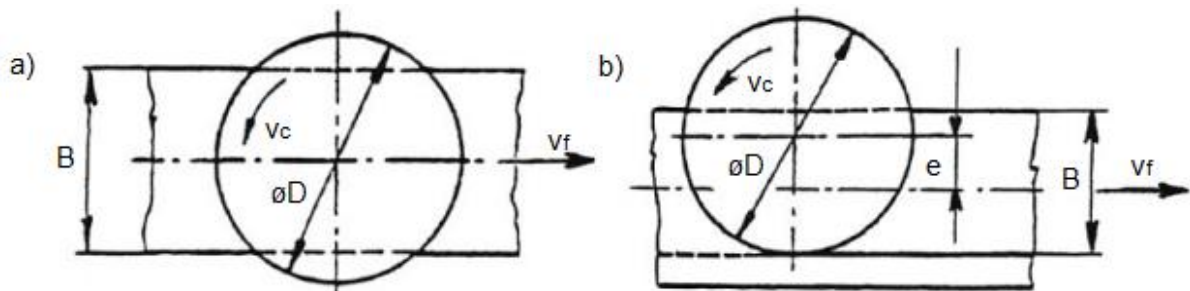
- Sousedné frézování (sousměrné), kde směr posuvu obrobku a smysl rotace frézy jsou stejné. Maximální tloušťka třísky je při vniknutí frézy do obrobku, kde její hodnota je rovna posuvu na zub  $f_z$  a postupně se snižuje až do nulové hodnoty. Tento způsob frézování je doprovázen silnými rázy při vnikání zubu do materiálu a vyžaduje vysokou tuhost obráběcího stroje. Řezná síla směřuje směrem dolů, kde tlačí obrobek na stůl stroje a má snahu vtahovat ho do řezu. Ve výrobě se upřednostňuje před nesousledným frézováním u strojů, které tento způsob obrábění umožňují. Výhody sousledného frézování spočívají především v použití vyšších řezných rychlostí a posuvů, vyšší jakosti obrobkové plochy, jednodušším způsobem upínání a vyšší trvanlivosti nástrojů.
- Nesousledné frézování (nesousměrné), kde směr posuvu obrobku a smysl rotace frézy nejsou stejné. Tloušťka třísky se v průběhu obrábění mění od teoreticky nulové hodnoty po maximální tloušťku. Rázy u nesousledného

frézování jsou výrazně menší a zvyšují trvanlivost stroje. Velkou nevýhodou této metody je zvýšení opotřebení nástroje z důvodu intenzivního tření břitu v okamžiku nulové tloušťky třísky, což má za následek i zhoršení jakosti obrobek plochy. Řezná síla v tomto případě směřuje nahoru, čímž vytrhává obrobek z upnutí. Sousledné i nesousledné frézování včetně směru působení řezné síly je znázorněno na obrázku 2.6. [19, 20, 22]



Obr. 2.6 Sousledné frézování (a) a nesousledné frézování (b) [22]

Čelní frézy jsou opatřeny břity na čele i obvodě nástroje. Při obrábění těmito frézami je možné dle polohy osy nástroje vůči frézované ploše rozlišit symetrické a nesymetrické frézování (viz obr. 2.7). Při čelním frézování je fréza současně v sousledném i nesousledném záběru. [22]



Obr. 2.7 Symetrické frézování (a) a nesymetrické frézování (b) [19]

### 2.2.1 Řezné podmínky

Jak již bylo zmíněno, hlavní rotační pohyb u frézování vykonává nástroj a vedlejším pohybem je posun obrobku k nástroji. Řezná rychlost při této metodě obrábění se spočítá dle vztahu 2.1, kde  $D$  je průměr nástroje [mm] a  $n$  otáčky nástroje [ $\text{min}^{-1}$ ]. Posuv obrobku za jednu otáčku je popsán pomocí posuvu na zub  $f_z$  [mm], což je dráha, kterou vykoná stolek frézky mezi záběry dvou po sobě jdoucích břitů a lze vypočítat pomocí následujícího vztahu: [19, 20]

$$f_n = f_z \cdot z \text{ [mm]} \quad (2.13)$$

kde:  $z$  [-] – počet zubů frézy

Ze znalosti posuvu na otáčku můžeme určit rychlost posuvu dle vztahu 2.14. [20]

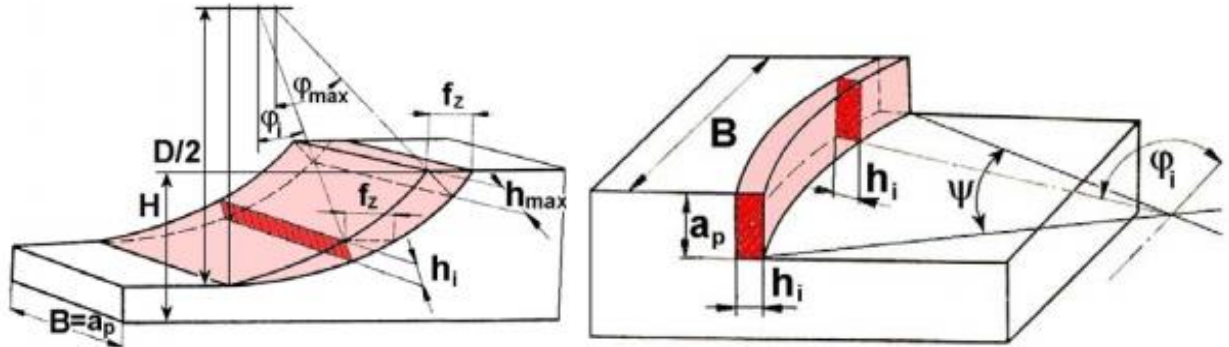
$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.14)$$



Při frézování se setkáváme s problémem určení tloušťky třísky  $h_i$  v závislosti na pootočení nástroje. Vztah (2.15) pro její výpočet vyplývá z obrázku 2.8. [20]

$$h_i = f_z \cdot \sin \varphi_i \quad [mm] \quad (2.15)$$

kde:  $\varphi_i$  [°] – úhel posuvového pohybu



Obr. 2.8 Průřez třísky při válcovém a čelním frézování [19]

Pro velikost tloušťky třísky v daném bodě můžeme vypočítat průřez třísky  $A_{Di}$  pomocí rovnice 2.16. Maximální velikost tloušťky třísky nastane v případě, že úhel posuvového pohybu je roven velikosti úhlu  $\varphi_{max}$  a určí se výpočtem 2.17 a 2.18. Tento maximální úhel se určí z geometrie obrobku a frézy (viz obr. 2.8). [19, 20]

$$A_{Di} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \quad [mm^2] \quad (2.16)$$

$$A_{Dmax} = a_p \cdot h_{max} = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_{max} \quad [mm^2] \quad (2.17)$$

$$\sin \varphi_{max} = \frac{2}{D} \cdot \sqrt{D \cdot H - H^2} \quad [-] \quad (2.18)$$

Tloušťka třísky u čelního frézování je závislá ještě na úhlu nastavení hlavního ostří nástroje  $\kappa_r$  a vztah 2.15 se upraví na: [19]

$$h_i = f_z \cdot \sin \varphi_i \cdot \sin \kappa_r \quad [mm] \quad (2.19)$$

### 2.2.2 Sílové účinky při frézování

Pro definování řezných sil působících při frézování vyjdeme ze silového zatížení jednoho břitu pootočeném o úhel  $\varphi_i$ . Celkovou řeznou silou  $F_i$  můžeme rozložit dle obrázku 2.9 na řeznou složku  $F_{ci}$ , kolmou řeznou složku řezání  $F_{cni}$ , posuvovou složku síly řezání  $F_{fi}$  a kolmou posuvovou složku síly řezání  $F_{fni}$ . Výpočet řezné složky síly (2.20) lze určit jako součin průřezu třísky a měrné řezné síly vypočtenou vztahem 2.21. [19, 20]

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \quad [N] \quad (2.20)$$

$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \varphi_i \cdot \sin \kappa_r)^{1-x}} \quad [MPa] \quad (2.21)$$

kde:  $x$  [-] – exponent vlivu tloušťky třísky

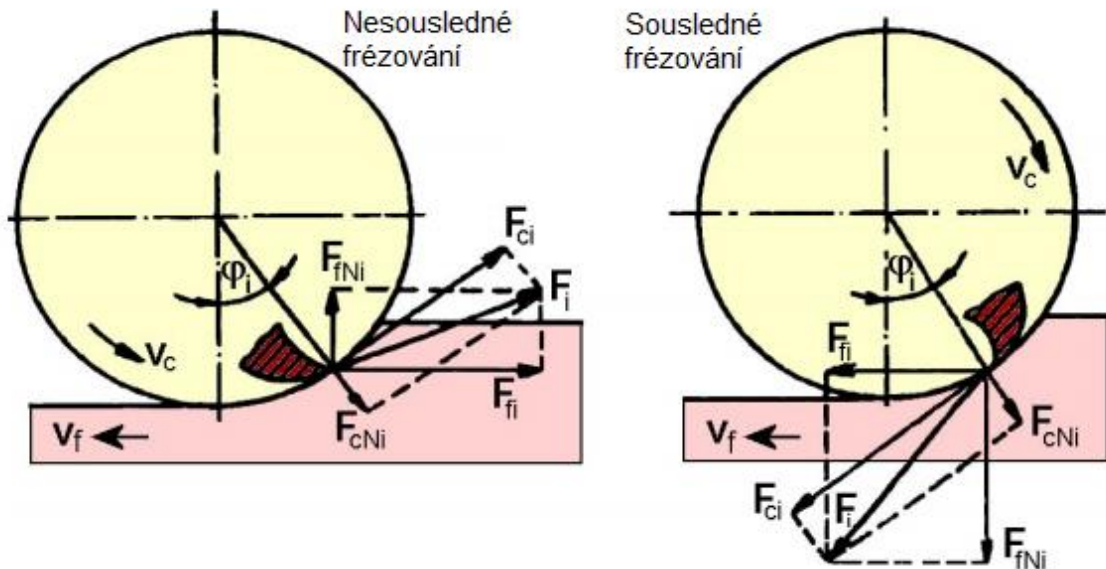
Z rovnic 2.20 a 2.21 dostaneme vztah: [19]

$$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^{(x-1)} \kappa_r \cdot \sin^x \varphi_i \quad [N] \quad (2.22)$$

Celková řezná síla se následně určí jako součet všech dílčích řezných sil pro válcové a čelní frézování dle vztahů 2.23, resp. 2.24. [19]

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f^x \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \quad [N] \quad (2.23)$$

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f^x \cdot \sin^{(x-1)} \kappa_r \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \quad [N] \quad (2.24)$$

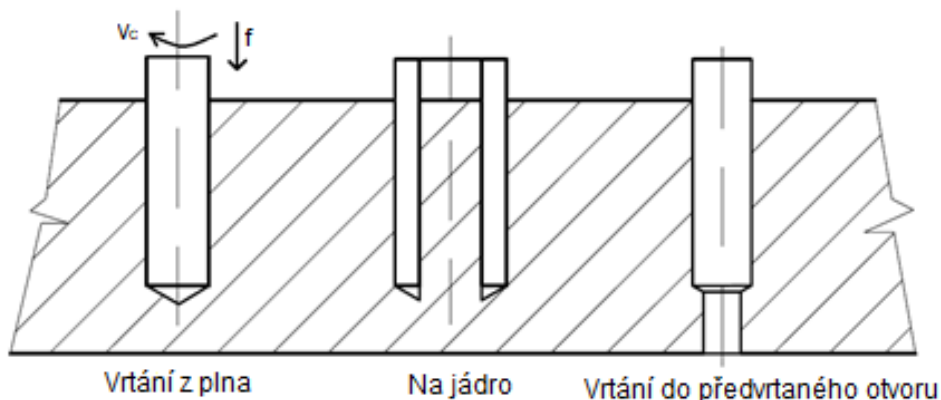


Obr. 2.9 Rozbor řezných sil u sousledného a nesousledného frézování [20]

### 2.3 Vrtání

Technologie vrtání slouží ke zhotovení děr do plného nebo předvrtaného materiálu. Na tuto obráběcí technologii může navazovat několik dalších výrobních procesů např. vyhrubování, vystružování, vyvrtávání. U vrtaček vykonává hlavní rotační i vedlejší posuvný řezný pohyb vrták. Při vrtání na soustruzích je hlavní řezný pohyb zajištěn rotací obrobku, zatímco vedlejší posuvný pohyb koná nástroj. Vrták je obvykle opatřen více břity. U vrtání jsou kladeny vyšší požadavky na utváření třísky a její odstraňování z místa řezu. Tuto technologii můžeme rozdělit podle geometrie vrtaných děr (viz obr. 2.10):

- vrtání do plného materiálu,
- vrtání na jádro,
- vrtání do předvrtaného otvoru. [20, 22, 23]



Obr. 2.10 Základní způsoby vrtání [22]



### 2.3.1 Řezné podmínky

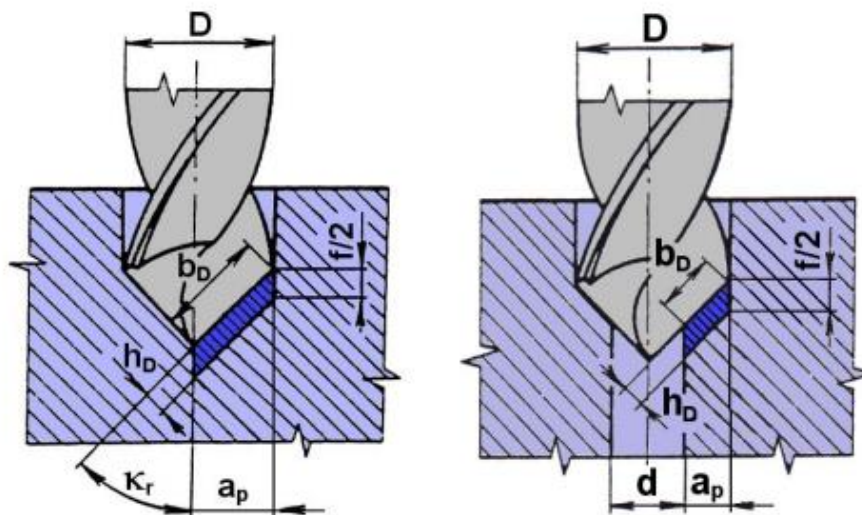
Typickou charakteristikou vrtání je snižující se řezná rychlost hlavního ostří od obvodu ke středu vrtáku, kde nabývá nulové hodnoty. Při jejím výpočtu za použití vztahu 2.1, je řezná rychlost stanovena pro maximální průměr vrtáku  $D$ . Pro posuv analogicky platí rovnice 2.14. Šířka záběru ostří společně s posuvem určují průřez třísky, která se pro jednobřítový nástroj učí dle vztahu 2.25. Průřez třísky pro dvoubřítový vrták je znázorněn na obrázku 2.11 a stanoví se pro vrtání do plného materiálu dle vztahu 2.26, resp. do materiálu s předvrtanou dírou dle 2.27. [20, 23]

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f_n}{2} \quad [mm^2] \quad (2.25)$$

$$A_D = \frac{D \cdot f_n}{4} \quad [mm^2] \quad (2.26)$$

$$A_D = \frac{(D - d) \cdot f_n}{4} \quad [mm^2] \quad (2.27)$$

kde:  $d$  [mm] – průměr předvrtané díry



Obr. 2.11 Průřez třísky při vrtání nástrojem s dvěma břity [23]

### 2.3.2 Řezné síly při vrtání

Použijeme-li pro vrtání běžný dvoubřítový nástroj, bude řezná  $F_c$ , posuvová  $F_f$  a pasivní síla  $F_p$  symetricky rozdělena vůči ose nástroje na dvě stejné složky. Celkové síly se určí součtem těchto složek dle obr. 2.12, kde si můžeme povšimnout opačného směru pasivních složek síly. Po jejich součtu bude tedy výsledná velikost pasivní síly rovna nule. [20, 23]

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} \quad [N] \quad (2.28)$$

$$F_f = F_{f1} + F_{f2} \quad [N] \quad (2.29)$$

$$F_p = F_{p1} - F_{p2} = 0 \quad [N] \quad (2.30)$$

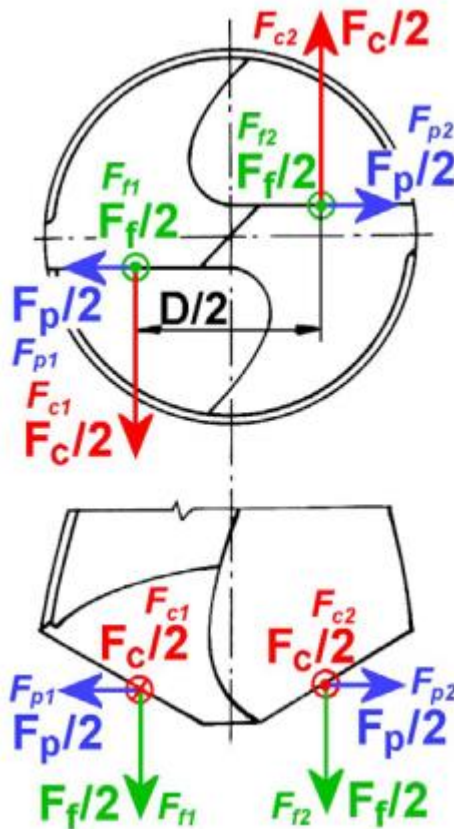
Velikosti řezné a posuvové síly lze určit pomocí empirických vztahů. [23]

$$F_c = C_{Fc} \cdot D^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \quad [N] \quad (2.31)$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot D^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} \quad [N] \quad (2.32)$$

kde:  $x_{Ff}$ ,  $x_{Fc}$  [-] – exponenty vlivu průměru vrtáku

$y_{Ff}$ ,  $y_{Fc}$  [-] – exponenty vlivu posuvu na otáčku



Obr. 2.12 Řezné síly při vrtání [23]

Protože složky řezné síly mají stejnou velikost, můžeme pomocí rovnice 2.31 sestavit vztah pro výpočet kroučícího momentu k ose nástroje. Po jednoduchých úpravách a zjednodušení vztahu zavedením konstanty  $C_M$  a exponentu  $x_M$ , dostaneme rovnici 2.33. [20, 23]

$$M_k = C_M \cdot D^{x_M} \cdot f^{y_{Fc}} \quad [N \cdot mm] \quad (2.33)$$

## 2.4 Leštění

Jedná se o dokončovací operaci, která slouží k výraznému zlepšení vzhledu a drsnosti obrobené plochy. Střední aritmetická odchylka profilu po leštění dosahuje hodnoty až 0,1  $\mu\text{m}$ . Při této technologii je vrstva odebíraného materiálu velmi malá a docílí se pouze odstranění vrcholků profilu drsnosti po předešlém obrábění. Rozměrová a geometrická přesnost je dána předchozími obráběcími procesy a leštěním se nezlepší. Tuto technologii lze rozdělit dle způsobu odebrání materiálu na tři metody:

- mechanické leštění – spočívá v nanesení tvrdých zrn na leštící nástroj, případně jsou brusná zrna mezi nástrojem a obrobenou plochou volně. Vlivem tvrdých zrn dochází k odebrání materiálu.
- chemické leštění – k odebrání vrcholků nerovností materiálu dochází vlivem reakce roztoku na povrchu obrobené plochy.
- elektrochemické leštění – odstranění vrcholků nerovností vlivem elektrochemického děje, kde obrobek představující anodu je umístěn v nádobě s daným elektrolytem a katodami. [24, 25, 26]

Mechanické leštění můžeme členit podle tvaru nástroje na:

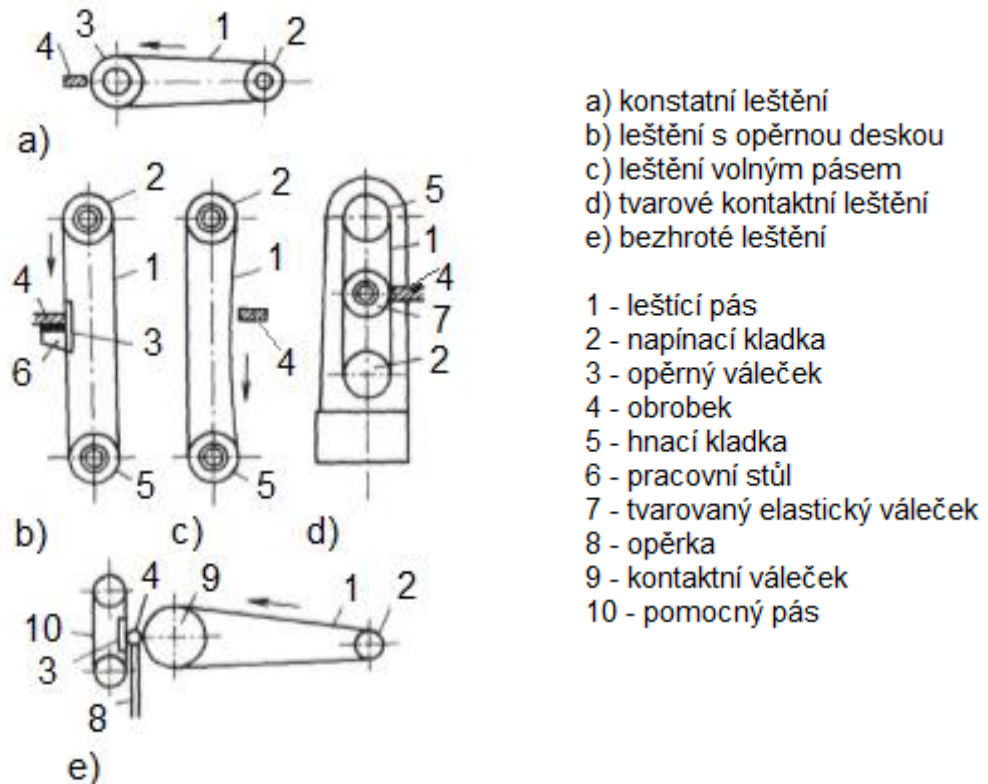
- Mechanické leštění kotouči, kde leštícími látkami nanášenými na povrch kotouče jsou směsi oleje a brusiva, leštící pasty, případně jsou brusná zrna součástí kotouče. Největší vliv na výslednou leštěnou plochu má zrnitost a tvar brusných částic, přitlačná síla, obvodová rychlost nástroje, materiál obrobku a kotouče a druh použité mazací kapaliny. Při běžném leštění se volí obvodová rychlost kotouče v intervalu od 25 do 40  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Pro složitější tvary se rychlost snižuje pod uvedený rozsah na 20  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- Mechanické leštění otáčejícími se kartáči – u této metody obvodová rychlost kotouče nabývá hodnot v rozmezí od 10 do 60  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Rozhodujícím kritériem pro volbu rychlosti je teplota na povrchu obrobku, která by neměla překročit 60°C. Nejvyšší povrch součásti je při rychlostech kolem 25  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  v závislosti na obrobeném materiálu, viz tabulka 2.1.

Tab. 2.1 Orientační hodnoty obvodové rychlosti [24]

Materiál činné části nástroje	Obvodová rychlost kartáče [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
Měkké nekovové kartáče bez leštící pasty	30 až 40
Kovové kartáče pro jemné leštění	20 až 35
Kovové kartáče pro hrubování	15 až 25
Zaoblování ostrých hran kovovými kartáči	50 až 60
Čištění svarů kovovými kartáči	30 až 45

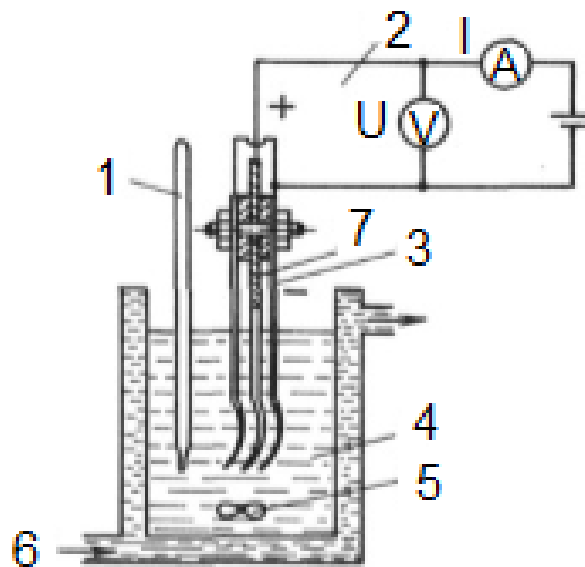
- Mechanické leštění pásy probíhá při rychlostech 11 až 40  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Pás je přitlačován k obrobku tlakem o velikost 0,05 až 0,075 MPa. Na obrázku 2.13 jsou zobrazeny základní varianty strojů využívané při leštění pásy. [24]

U chemického leštění je výsledek do značné míry ovlivněn čistotou povrchu obrobku, časem leštění, koncentrací, chemickým složením a teplotou roztoku. Ideální teplota se liší v závislosti na materiálu obrobené plochy v rozsahu od 70 do 90°C. Při této metodě dochází k rovnoměrnému rozpouštění ponořených ploch za vzniku plynu, který uniká z roztoku. Největší uplatnění má v hromadné výrobě pro tvarově složitě součásti, kvůli vysoké efektivitě leštění. [24]



Obr. 2.13 Typy strojů s leštícími pásy [24]

Princip elektrochemického leštění spočívá v průchodu stejnosměrného proudu, přičemž dochází k rozpuštění výčnělků nerovností povrchu obrobku. Katoda je z důvodu nerozpustnosti v elektrolytu zhotovena z olova a má větší plochu než leštěný materiál. Jako elektrolyt se využívá kyselina chlorovodíková, fosforečná a sírová. Tato metoda se používá v potravinářském průmyslu pro leštění korozivzdorných ocelí (např. vnitřků cisteren). Zařízení pro elektrochemické leštění je znázorněno na obrázku 2.14. [24, 27]



Obr. 2.14 Zařízení pro elektrochemické leštění – teplotní stabilizace (1), napájecí zdroj (2), nástroj (3), elektrolyt (4), zařízení pro zajištění proudění elektrolytu (5), chlazení (6), obrobek (7) [27]

## 2.5 Lapování

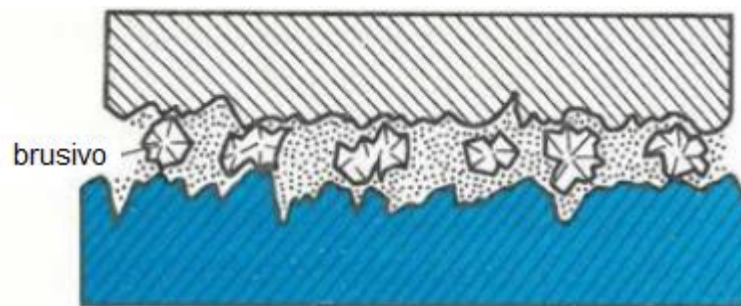
Tato metoda se používá pro dokončovací operace rovinných, válcových a různě tvarovaných ploch. Lapováním se docílí maximální přesnosti rozměrů s minimální drsností povrchu plochy a využívá se pro dokončení ozubení, funkčních částí měřidel, kalibrů, otvorů pro přesná kluzná ložiska a mnoho dalších. Tuto technologii lze použít i pro tvrdé materiály v kusové i hromadné výrobě. Dosahované rozměry při lapování jsou uvedeny v tabulce 2.2. Dle velikosti úběru materiálu je možné rozlišit lapování na:

- hrubovací, při kterém se odstraňují mikro nerovnosti velkým množstvím zrn,
- jemné,
- velmi jemné, kde povrchová vrstva plochy je plasticky deformována. [24, 26, 28, 29]

Tab. 2.2 Dosahovaná přesnost lapování rovinných a vnitřních rotačních ploch [29]

Lapování	Přesnost rozměrů IT		Drsnost povrchu Ra [ $\mu\text{m}$ ]	
	střední	rozsah	střední	rozsah
hrubovací	4	3 až 5	0,2	0,16 až 0,4
jemné	2	1 až 3	0,1	0,08 až 0,16
velmi jemné			0,03	0,01 až 0,04

Úběr materiálu probíhá pohybem brusných zrn, které se na obrobek nanášejí rozptýlené v oleji, případně pastě. Nástroj vyvolává nepravidelný pohyb těchto zrn, čímž se mění jejich dráha a nedojde k vytvoření stopy po nástroji jako u jiných metod obrábění. Brusné zrna jsou částice velmi tvrdých materiálů. Pro lapování oceli se využívá umělého korundu, na litiny a keramiku karbid křemíku. U nejtvrdějších materiálů se používají zrna z karbidu boru nebo diamantu. Pro lapování měkčích materiálů jsou brusné částice zhotoveny z oxidu železitého, případně chromitého. Princip úběru materiálu je znázorněn na obrázku 2.15. [24, 26, 28, 29]



Obr. 2.15 Princip úběru materiálu [28]

Lapovací pasty mají různé složení v závislosti na požadované zrnitosti. Složení past pro umělý korund  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , karbid křemíku  $\text{SiC}$  a oxid chromitý  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  je uveden v tabulce 2.3.

Tab. 2.3 Složení lapovacích past [29]

Druh brusiva		$\text{Al}_2\text{O}_3$		$\text{SiC}$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$		
Zrnitost		1200-70	150-36	180-150	36	100	220
Obsah složek [%]	brusivo	70	50 ÷ 70	60	81	76	74
	kyselina olejová	20	20 ÷ 27				2
	kyselina stearová	8	8 ÷ 17		10		
	tuhá kyselina křemičitá				2		1,8
	zmýdelněný tuk			38	5		10
	bikarbonát sodný						0,2
	petrolej	2	2 ÷ 6		2		

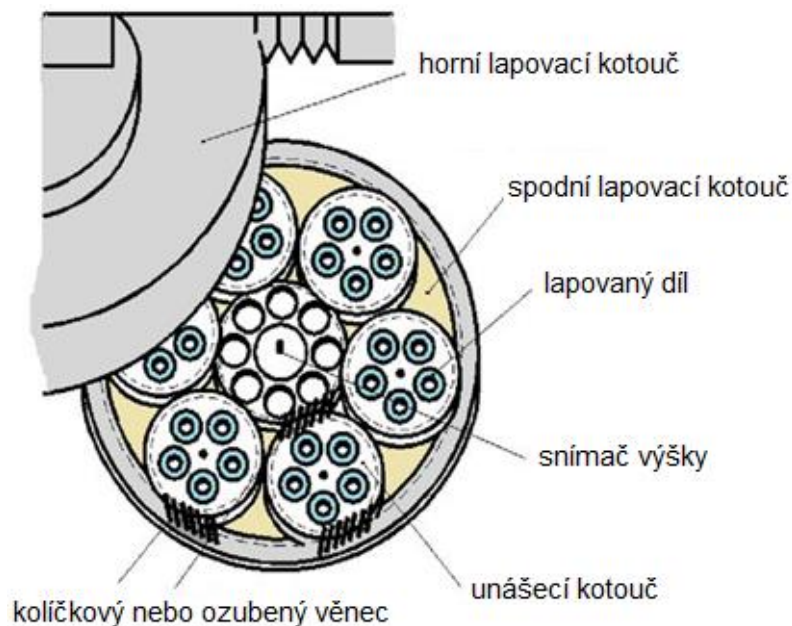


Řezné rychlosti se u této dokončovací metody volí s ohledem na typ obráběné plochy, druh lapování, použité brusivo a tlak nástroje na plochu obrobku. Přibližné hodnoty řezných rychlosti v závislosti na těchto parametrech jsou uvedeny v tabulce 2.4.

Tab. 2.4 Řezné rychlosti při lapování [29]

Typ plochy a lapovaný materiál	Způsob lapování	Druh brusiva	Přídavek	Tlak	Řezná rychlost
			[ $\mu\text{m}$ ]	$p_k$ [MPa]	$v_c$ [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]
Rovinné plochy, kalené oceli	hrubovací	$\text{Al}_2\text{O}_3$	30 ÷ 60	0,13 ÷ 0,15	30 ÷ 60
	jemné		10 ÷ 15	0,12 ÷ 0,15	15 ÷ 30
	velmi jemné		5 ÷ 7	0,1 ÷ 0,12	10 ÷ 15
	velmi jemné		1 ÷ 3	0,08 ÷ 0,1	7 ÷ 10
Vnější válcové plochy, bronz	hrubovací	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	20 ÷ 30	0,02 ÷ 0,03	20 ÷ 30
	jemné		10 ÷ 15	0,01 ÷ 0,015	10 ÷ 15
	velmi jemné		3 ÷ 5	0,01 ÷ 0,015	

Nástroj pro lapování má negativní tvar obráběných ploch obrobku a bývá vyráběn z feritické nebo perlitické litiny, mědi či měkké oceli. U velmi jemného lapování se můžeme setkat s nástroji z kalené oceli. Lapování lze provádět ručně za použití lapovacích desek, trnů a prstenců nebo strojně u větších výrobních dávek za pomoci litinových lapovacích kotoučů, které jsou zobrazeny na obrázku 2.16. [20, 29]



Obr. 2.16 Lapovací kotouč [30]

Před zařazením lapování do technologického postupu by se mělo zvážit, zda je tato operace skutečně potřebná, neboť se jedná o velmi nákladnou metodu obrábění v porovnání s ostatními dokončovacími technologiemi. Tato metoda je poměrně pracná a časově náročná. Z těchto důvodů bývá u součásti, které nemají příliš vysoké požadavky na přesnost a drsnost povrchu, často nahrazována honováním nebo superfinišováním. [20, 29]

### 3 STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGICKÝ POSTUP

K vytvoření nového výrobního postupu obrábění je nutné provést rozbor stávajícího technologického postupu. Dle charakteristiky distančního kroužku v kapitole 1 této práce, lze předpokládat, že největší vliv na splnění geometrických tolerancí bude mít upnutí obrobku v obráběcím stroji a správně zvolené tepelné zpracování oceli. Rovněž lze za problematickou část výrobního procesu považovat operaci soustružení (hrubovací i dokončovací operace), kterou se obrábí všechny plochy s geometrickou tolerancí kruhovitosti, rovnoběžnosti, rovinnosti, kolmosti a házení radiusu o velikosti 5  $\mu\text{m}$ . Z těchto důvodů bude rozbor stávajícího technologického postupu zaměřen především na tyto části výrobního procesu.

Technologický postup pro výrobu distančního kroužku je vzhledem k vysoké přesnosti poměrně složitý. Požadovaných rozměrů není možné dosáhnout při výrobě na klasických zařízeních a je nutné využít velmi přesné CNC stroje. Na výrobu distančního kroužku dle stávajícího technologického postupu se využívá korozivzdorná martenzitická ocel 1.4057, ze které byly vyrobeny všechny vzorky. Využití austenitické korozivzdorné oceli 1.4301 pro výrobu distančního kroužku zatím nebylo vyzkoušeno, ale jedná se o přípustnou alternativu. V tabulce 3.1 je uveden stávající technologický postup, který je z důvodu velkého počtu úkonů u některých operacích zkrácen a bude podrobně popsán v této kapitole.

Tab. 3.1 Stávající technologický postup [31]

Č.op.	Operace	Popis operace
10	Dělení materiálu	Řezat tyč o průměru 220 mm na délku 125 mm
20	Soustružení	Hrubování dle nákresu, viz kapitola 3.2 Odjehlit hrany 0,3x45° Celkové opracování Ra 3,2
30	Soustružení	Hrubování dle nákresu, viz kapitola 3.2 Odjehlit hrany 0,3x45° Celkové opracování Ra 3,2
40	Žihání ke snížení pnutí	Při teplotě 850 °C Náběh na teplotu 90 minut Výdrž na teplotě 2 hodiny Chladnutí v peci 5 hodin do 250 °C, pak rychle
50	Zmrazování	Při teplotě -70 °C Výdrž na teplotě 1 hodinu
60	Stabilizace rozměrů	Při teplotě 330 °C Výdrž na teplotě 24 hodin
70	Soustružení	Dokončování, viz kapitola 3.4 Odjehlit hrany 0,1x45° Celkové opracování Ra 1,6
80	Balení	Eliminace poškození při manipulaci
90	Frézování	Frézovací operace budou popsány v kapitole 3.5
100	Zámečnické práce	Odjehlit po CNC strojích: -Závity M3x0,5 (3x zevnitř) -Zahloubení průměru 11 (4x z vnější strany) -Díry průměru 6 (6x z jedné strany) -Díry průměru 7 (6x z jedné strany)
110	Laserový popis	Označení součásti pomocí laseru
120	Leštění	Leštit čelo obrobku
130	Lapování	Ruční lapování dosedacích ploch
140	OTK	Kontrola rozměrů dle výkresové dokumentace

### 3.1 Dělení materiálu

Polotovarem pro výrobu distančního kroužku je korozivzdorná ocel 1.4057 dodávána v zušlechťeném stavu QT800. Toto označení pochází z anglických slov Quenched (kaleno) a Tempered (popouštěno). Číselný údaj 800 za označením QT značí minimální mez pevnosti v MPa. Orientační průměr výchozího polotovaru se může spočítat dle vzorce 3.1. [32, 33]

$$p = 0,05 \cdot D_{max} + 2 \text{ [mm]} \quad (3.1)$$

Dosadíme-li za  $D_{max}$  největší průměr součásti 212 mm, dostaneme přídavek na polotovar 12,6 mm, což odpovídá polotovaru o průměru 224,6 mm. Polotovar by se měl volit podle nejbližšího vyššího normalizovaného průměru, kterým je v tomto případě průměr 230 mm. [34] Vzhledem ke značnému obrábění, vyšším nákladům na pořízení oceli, obtížnější manipulaci s těžším polotovarem a zkušeností s dodavatelem materiálu byl zvolen polotovar o průměru 220 mm.

Dělení materiálu se provádí na pásové pile Kasto SBA 260 AU, která je zobrazena na obrázku 3.1. Technické parametry pily jsou uvedeny v tabulce 3.2.



Obr. 3.1 Pásová pila Kasto SBA 260 AU [35]

Tab. 3.2 Technické údaje pásové pily Kasto SBA 260 AU [35, 36]

Řezný průměr	260 mm
Rozměry pilového pásu	3 830x25x0,9 mm
Řezná rychlost	17-110 m/min
Hmotnost stroje	1 300 kg
Rozměry stroje	2 100x2 280x1 720 mm
Nejmenší průměr k řezání	10 mm
Minimální zbytkový kus	15 mm

Tyč se na pásové pile řeže na délku 125 mm. Hmotnost polotovaru vypočítáme vynásobením jeho objemu a hustoty korozivzdorné oceli 1.4057, která odpovídá  $7\,700 \text{ kg/m}^3$  (viz Tab. 1.4). Pro získání hmotnosti v kilogramech, budeme do vzorce 3.2 dosazovat rozměry v metrech.

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = 7\,700 \cdot \frac{\pi \cdot 0,22^2}{4} \cdot 0,125 = 36,59 \text{ kg} \quad (3.2)$$



Vzhledem k vysoké hmotnosti polotovaru, kdy jeho hmotnost přesahuje 36 kg, je nutné k jeho přemísťování využít manipulátory.

### 3.2 Hrubování

Značným problémem při výrobě distančního kroužku jsou jeho rozměry. Kvůli velké přesnosti se musí součást dokončovat na velmi přesném CNC stroji, na kterém se obrobky upínají pomocí stahovacího pouzdra. Ve stroji je maximální průměr pro stáhnutí obrobku 65 mm. Z tohoto důvodu bylo nutné vysoustružit na polotovaru čep o tomto průměru, za který se obrobek upne při dokončovacím obráběcím procesu. Nutnost vytvořit čep vede k rozdělení hrubování na dvě operace. Při prvním hrubování bude součást upnuta za obvod obrobku ve stroji, zatímco při druhé hrubovací operaci již bude obrobek upevněn za vyhrubovaný čep.

Obě hrubovací operace jsou prováděny na CNC stroji značky Hyundai-Kia SKT 28, který je zobrazen na obrázku 3.2. Řada soustružnických center Hyundai-Kia SKT patří mezi těžké horizontální soustruhy určené pro obrábění součástí o velkých průměrech. V této řadě existuje mnoho typů soustružnických center rozdělených dle velikosti. Rozdíly ve velikostech těchto strojů jsou značné, jejich hmotnost se pohybuje od 5,6 tun u SKT 25 po 12 tun u největší verze. Mezi CNC stroji této řady se nacházejí hned 3 verze SKT 28 (SKT 28, SKT 28L, SKT 28LM), které se liší především v maximální délce soustružení, maximálním oběžném průměru nad ložem, otáčky vřetena a mají i výrazně rozdílnou hmotnost. Všechny uvedené stroje mají stejný upínací průměr a výkon na vřetenu. Technické parametry CNC strojů verze SKT 28 jsou uvedeny v tabulce 3.3. [37]

Tab. 3.3 Technické parametry CNC strojů SKT 28/SKT 28L/ SKT 28LM [38]

Průměr upnutí	254 mm
Oběžný průměr nad ložem	590 / 590 / 650 mm
Obráběná délka	720 / 1 070 / 1 000 mm
Otáčky vřetena	3 000 / 3 000 / 3 500 ot./min
Výška stroje	1 950 mm
Rozměry	3 010x1 812 / 3 620x1 812 / 3 670x1 812 mm
Hmotnost	6 100 / 8 000 / 8 100 kg

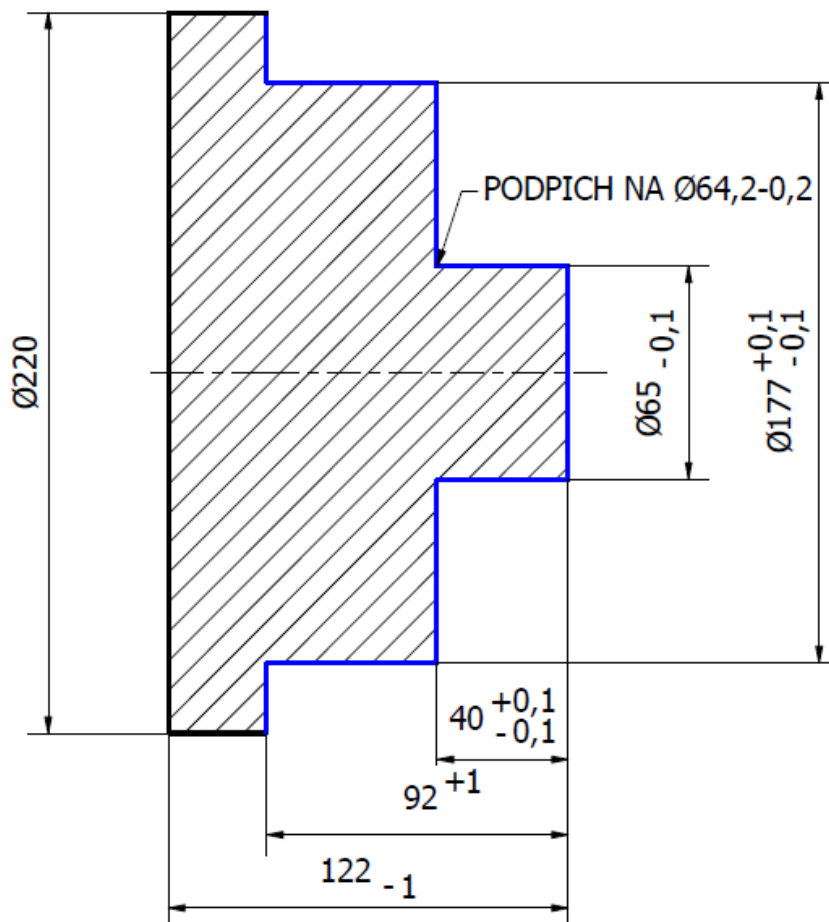


Obr. 3.2 CNC soustruh Hyundai – Kia SKT 28 [37]

Jak již bylo zmíněno, v první hrubovací operaci se vyrábí především čep pro upnutí součásti při dokončovacím soustružení. Proto je nutné volit polotovar o délce 125 mm, i když samotný distanční kroužek má šířku pouhých 30 mm. Při prvním hrubování se polotovar upne za průměr 220 mm a probíhají tyto úkony:

- zarovnání čela,
- soustružení na průměr 177 mm v délce 92 mm,
- soustružení na průměr 65 mm v délce 40 mm,
- podpich na konci čepu,
- sražení hran 0,3x45. [31]

Při prvním hrubovacím soustružení dojde k výraznému úbytku materiálu. Hmotnost obrobku po této operaci je 19,6 kg (dle výpočtu programu Inventor), což představuje ztrátu hmotnosti přes 17 kg. Po vyhrubování je na konci čepu udělán podpich, aby se odstranilo zaoblení mezi plochami, které by bránilo upnutí celého čepu ve stroji při druhém hrubování a dokončování. U obrobku jsou sražené ostré hrany, čímž dojde k odjehlení součásti. Průřez obrobku po prvním hrubování je znázorněn na obrázku 3.3. Pro lepší přehlednost jsou obráběné plochy v této operaci zvýrazněné modrou barvou.



Obr. 3.3 Průřez obrobku po první hrubovací operaci

V druhé hrubovací operaci je obrobek upnut v CNC stroji Hyundai-Kia SKT 28 za vysoustružený čep a jsou provedeny tyto práce:

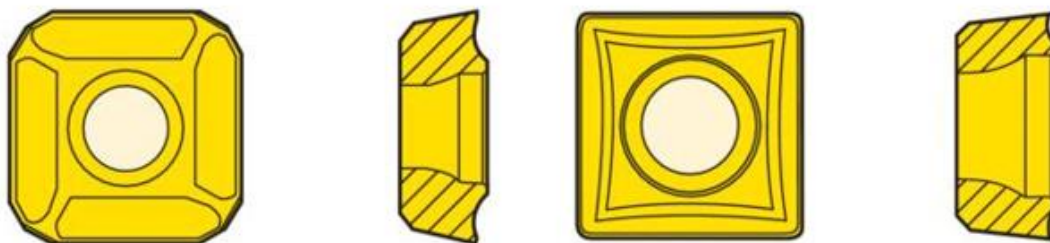
- vrtání díry do středu obrobku o průměru 30 mm do hloubky 61 mm,
- zarovnání čela na průměr 119 mm,
- hrubovat otvor na průměr 155 mm,
- dokončení díry na průměr 156 mm,
- soustružení průměru 180 mm do hloubky 8,7 mm,
- úkos 20° z průměru 156 mm,
- soustružení obvodu obrobku na průměr 214 mm,
- hrubování otvoru na průměr 160 mm v délce 34,2 mm od dna díry,
- hrubování průměrů 214 mm na délku 20 mm od čela obrobku a navázání na průměr 177 mm obrobený v předchozí hrubovací operaci,
- sražení hran 0,3x45°. [31]

Vrtání se provádí pomocí vrtáku s vyměnitelnými břitovými destičkami od firmy Seco, který můžeme vidět na obrázku 3.4. Označení tohoto vrtáku je SD523-30-90-32R7.



Obr. 3.4 VBD vrták SD523-30-90-32R7 [39]

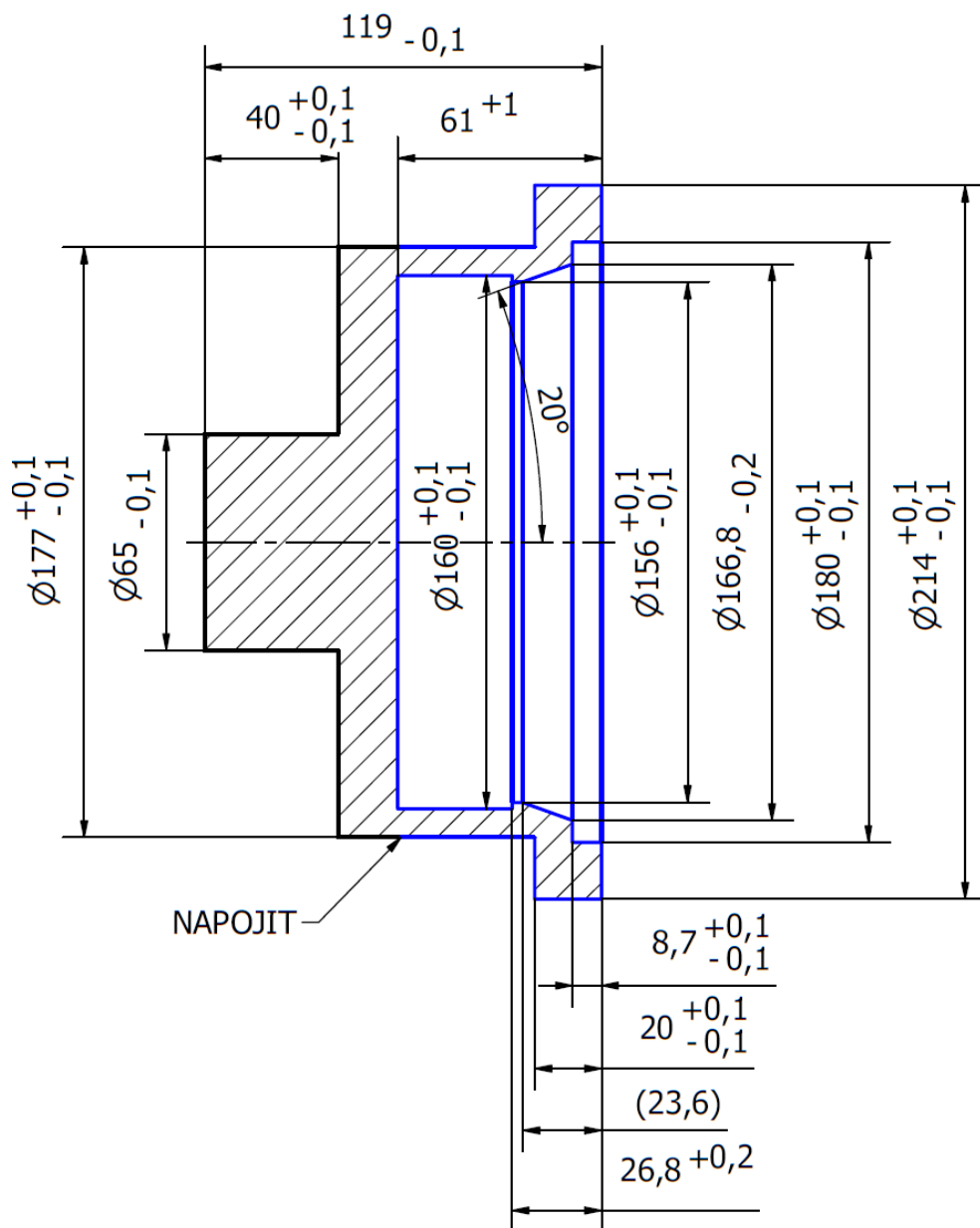
Tento vrták je vybaven dvěma druhy vyměnitelných břitových destiček, a to SCGX09T308-P2 DP3000 na obvodu nástroje a SPGX0903-C1 T400D v jeho středu. Tvary těchto destiček jsou znázorněny na obrázku 3.5.



Obr. 3.5 VBD SPGX0903-C1 T400D (vlevo) a SCGX09T308-P2 DP3000 (vpravo) [40, 41]

Po vyhrubování díry na průměr 155 mm je provedeno její dokončení na průměr 156 mm, z důvodu získání hladšího povrchu před tepelným zpracováním. Pro lepší představu tvaru obrobku je jeho průřez znázorněn na obrázku 3.6. Stejně jako u obrázku 3.3 v předchozí hrubovací operaci jsou i zde zvýrazněny obráběné plochy modře. Z obrázku je patrné, že i při druhém hrubování dochází k velkému úbytku

materiálu. Hmotnost takto vysoustruženého obrobku je 7,9 kg (dle výpočtu programu Inventor), což představuje ztrátu necelých 12 kg oceli oproti předchozí operaci. Po ukončení hrubování je provedeno odjehlení součásti pomocí sražení ostrých hran  $0,3 \times 45^\circ$ .



Obr. 3.6 Průřez obrobku po druhé hrubovací operaci

### 3.3 Tepelné zpracování

Pro výrobu velmi přesného distančního kroužku je nezbytné správně zvolit a provést tepelné zpracování. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1, výchozí stav materiálu je zušlechtěná ocel 1.4057. Ocel se zušlechťuje kalením a následným vysokoteplotním popouštěním. Takto zpracovaná ocel má mnohem lepší mechanické vlastnosti (zejména pevnost a tvrdost) oproti oceli v surovém stavu. Kalící teplota této oceli je uvedena v materiálovém listu v rozmezí  $950\text{--}1\ 050\text{ }^\circ\text{C}$  s ochlazováním do oleje, případně na vzduchu. Pro získání zušlechtěného stavu QT800 je zde předepsáno dvojitě vysokoteplotní popouštění při teplotách  $750\text{--}800\text{ }^\circ\text{C}$  a  $650\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$ . V případě,

že je koncentrace niklu v této oceli na spodní hranici intervalu 1,5–2,5 hm. %, lze provést pouze jednoduché popouštění při teplotách 620–720 °C. [7, 8]

Během hrubovací operace dochází k velkému úbytku materiálu v krátkém čase. Ztráta hmotnosti při těchto operacích přesahuje 28 kg. Přitlačením nástroje k obrobku dochází k pružným a následně k plastickým deformacím, které mají za následek teplotní a napěťové deformace obrobku. Správně zvoleným tepelným zpracováním, výškou teploty a výdrží na této teplotě můžeme deformace v součásti výrazně zmenšit. Pro snížení těchto vnitřních pnutí se využívá žíhání. Výška žíhací teploty se liší v závislosti na druhu materiálu a je uvedena v materiálových listech. Doba výdrže na teplotě je volena dle velikosti obrobku. [7]

Distanční kroužek byl žíhán při teplotě 850 °C po dobu dvou hodin, přičemž ohřev distančního kroužku na tuto teplotu trvá 90 minut. Chladnutí obrobku probíhá v peci po dobu 5 hodin až do teploty 250 °C při tlaku jednoho baru v ochranné atmosféře, poté součást chladne rychle. Žíhací teplota byla ve stávajícím technologickém postupu volena nezvykle vysoko. V materiálovém listu pro tento druh oceli [8] je uveden interval žíhacích teplot od 680 do 800 °C.

Ohřev je prováděn v elektrické komorové peci BVD KKR 07.1,2.05-10, která je znázorněna na obrázku 3.7. Technické údaje tohoto zařízení jsou uvedeny v tabulce 3.4.

Tab. 3.4 Technické údaje pece BVD KKR 07.1,2.05-10 [42]

Maximální teplota ohřevu	1000 °C
Vnitřní rozměry	700 x 1 200 x 400 mm
Vnější rozměry	1 450 x 2 400 x 1 750 mm
Výkon	37 kW
Hmotnost	920 kg



Obr. 3.7 Elektrická pec BVD KKR 07.1,2.05-10



Po žihání distančního kroužku je součást vložena do mrazícího boxu s nastavenou teplotou  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  na dobu jedné hodiny. Tímto procesem dochází k přeměně zbytkového austenitu ve struktuře na martenzit. Zbytkový austenit je nežádoucí strukturní fáze, která je měkká, vysoce nestabilní a má negativní vliv na rozměrovou stálost obrobku. Při obrábění velmi přesné součásti z materiálu s vysokým zastoupením zbytkového austenitu ve struktuře, může i nepatrná změna teploty vyvolat změnu objemu, a tedy i nepřesnosti v obráběcím procesu. Přeměna martenzitu je bezdifuzní transformace a probíhá prakticky okamžitě. Množství martenzitu ve struktuře je dáno pouze mírou přechlazení oceli, přičemž nejvyššího zastoupení dosahuje při dosažení teploty martenzit finish  $M_f$ . Ani při dosažení této teploty však není podíl martenzitu ve struktuře 100 % z důvodu vyššího měrného objemu martenzitu v porovnání s austenitem. [7, 43] Tato operace se provádí v hluboko mrazícím pultovém boxu Trigon plus ULTF 320, který můžeme vidět na obrázku 3.8.

Zkratka ULTF pochází z anglických slov Ultra Low Temperature Freezer a lze je přeložit jako hluboko mrazící zařízení. [44] Technické údaje o tomto zařízení jsou uvedeny v tabulce 3.5.



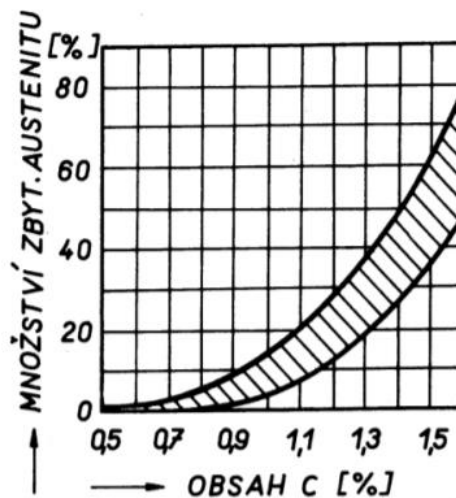
Obr. 3.8 Hlubokomrazící pultový box Trigon plus ULTF 320 [44]

Tab. 3.5 Technické údaje hlubokomrazícího pultového boxu Trigon plus ULTF 320 [44]

Chladicí rozsah	$-40$ až $-86\text{ }^{\circ}\text{C}$
Maximální teplota okolí	$20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Objem boxu	284 l
Vnější rozměry	1264x691x891 mm
Vnitřní rozměry	1100x440x630 mm
Hmotnost	76 kg
Hlučnost	50 dB
Zdroj napájení	230 V
Spotřeba energie	7,5 kWh/den

Množství zbytkového austenitu v oceli závisí na koncentraci uhlíku a většiny legujících prvků (mangan, chrom, nikl, křemík). S rostoucím obsahem těchto prvků se zvyšuje procentuální podíl zbytkového austenitu ve struktuře. Největší vliv na množství zbytkového austenitu má uhlík. Tato závislost je znázorněna na obrázku 3.9,

ze kterého je patrné, že korozivzdorná ocel 1.4057 s obsahem uhlíku 0,12-0,22 hm. % (viz tabulka 1.3) bude mít minimální množství zbytkového austenitu. [43]



Obr. 3.9 Závislost koncentrace uhlíku na množství zbytkového austenitu ve struktuře [43]

V literatuře nauka o materiálu od Eduarda Dorazila [45] je uvedeno, že zmrazování by mělo probíhat nejpozději do 15 minut po zakalení oceli. Po této době dochází ke stabilizaci austenitu a tento proces je již méně účinný. Tato literatura rovněž uvádí případy, kdy je vhodné využít technologii zmrazování. Jedná se o součásti pracující v extrémních podmínkách při záporných nebo vysokých teplotách (150-200 °C), a také u přesných měřicích nástrojů, u kterých se požaduje velká rozměrová přesnost. Při zmrazování dochází k přeměně zbytkového austenitu na martenzit, čímž se zvyšuje vnitřní pnutí v obrobku, a je tedy nezbytné po tomto procesu provést další tepelné zpracování při nízké teplotě. Vzhledem k tomu, že materiál pro výrobu distančního kroužku je již dodáván v zušlechťeném stavu s minimálním množstvím zbytkového austenitu a bude součástí teleskopu pracujícího ve standardních teplotních podmínkách, můžeme tento způsob zpracování považovat za nepříliš efektivní. [7, 43, 45, 46]

Jak již bylo zmíněno, po zmrazování je nutné uskutečnit další tepelné zpracování. Jednou z možností je provedení nízkoteplotního popouštění oceli při teplotě přibližně 150 °C a s výdrží několika hodin. Cílem tohoto popouštění je především snížit vnitřní pnutí v obrobku. [7, 47]

Další variantu tepelného zpracování po zmrazování představuje žíhání ke stabilizaci rozměrů. Během této operace dochází k dlouhodobému popouštění martenzitu při velmi nízké teplotě, s cílem dosáhnout dokonalého rozpadu zbytkového austenitu. Teplota ohřevu a výdrž jsou značně rozdílné pro jednotlivé druhy ocelí. U součástí z nízkolegovaných ocelí je žíhací teplota okolo 120 °C s výdrží 200 hodin. Legované materiály se zpracovávají při teplotě 160 °C po dobu až 500-ti hodin. Je-li toto tepelné zpracování využito pro součásti, které prošly zmrazovacím procesem, je vhodnější volit vyšší teploty, a to v rozsahu 170 až 200 °C. Tento druh žíhání se provádí pouze u součástí s maximálním požadavkem na stabilitu rozměrů (měřidla, kalibry, valivá ložiska). Tato technologie se pro výrobu běžných součástí příliš nevyužívá z důvodu vysokých nákladů a časové náročnosti. [46]

Distanční kroužek byl po zmrazení popouštěn, avšak s rozdílnou teplotou zpracování i výdrží na této teplotě, než uvádí literatura [47]. Distanční kroužek je popouštěn při žíhací teplotě 330 °C. Tato teplota je příliš vysoká a spadá již do intervalu nízkoteplotního popouštění křehkosti 250 až 400 °C. Těmto teplotám je doporučeno se při tepelném

zpracování vyhnout, zvláště u chromniklových ocelí, které jsou na popouštěcí křehkost náchylné. Výdrž na popouštěcí teplotě je 24 hodin, což je pro popouštění nezvykle dlouhá doba. Prodleva na popouštěcí teplotě by měla být volena v závislosti na průměru součásti, nejméně však 2 hodiny. [7, 46]

Popouštění se provádí ve stejné elektrické komorové peci jako žíhání ke snížení pnutí.

### 3.4 Dokončování

Po tepelném zpracování se součást dokončuje soustružením. Pro zajištění stálosti rozměrů a splnění požadovaných geometrických tolerancí je nezbytné, aby tato výroba probíhala v klimatizovaném prostoru o stále teplotě. I lokální zvýšení teploty by mohlo způsobit nepatrné změny rozměrů obrobku, což by se výrazně projevilo na konečné přesnosti dané součásti. Teplota v klimatizovaném prostoru je udržována na 21 °C. Obrobek po tepelném zpracování je převezen do tohoto prostoru dostatečně dlouhou dobu před samotným obráběním, aby se zajistilo vyrovnaní teplot mezi ocelí a okolím. Dokončovací soustružení je provedeno na velmi přesném CNC soustružnickém centru Hardinge T-65 SP MYT. Výrobce v této kategorii velmi přesných strojů uvádí hned 3 verze, a to T-42, T-51 a T-65. Rozdíl mezi těmito soustružnickými centry je především v maximálním upínacím průměru přímo ve stroji a jeho číselná hodnota je uvedena v názvu verze v milimetrech. Technické údaje výrobního stroje jsou uvedeny v tabulce 3.7. Na obrázku 3.11 můžeme vidět soustružnické centrum Hardinge T-65. [48]

Tab. 3.7 Technické údaje CNC soustružnického centra Hardinge T-65 [48]

Maximální upínací průměr	65 mm
Otáčky vřetene	4 000 ot./min
Maximální obráběný průměr	313,7 mm
Řídící systém CNC	FANUC 31i
Hmotnost	7 800 kg
Rozměry	3 257x2 312x2 123 mm
Dosažitelná přesnost na průměru	3 μm
Kruhovitost	0,625 μm
Dosažitelná drsnost povrchu	0,2 μm





Obr. 3.11 CNC soustružnické centrum Hardinge T65 [49]

Při dokončovacím soustružení je obrobek upnut za vysoustružený čep pomocí stahovacího pouzdra Hardinge 25C Collet o průměru 65 mm, který je zobrazen na obrázku 3.12.



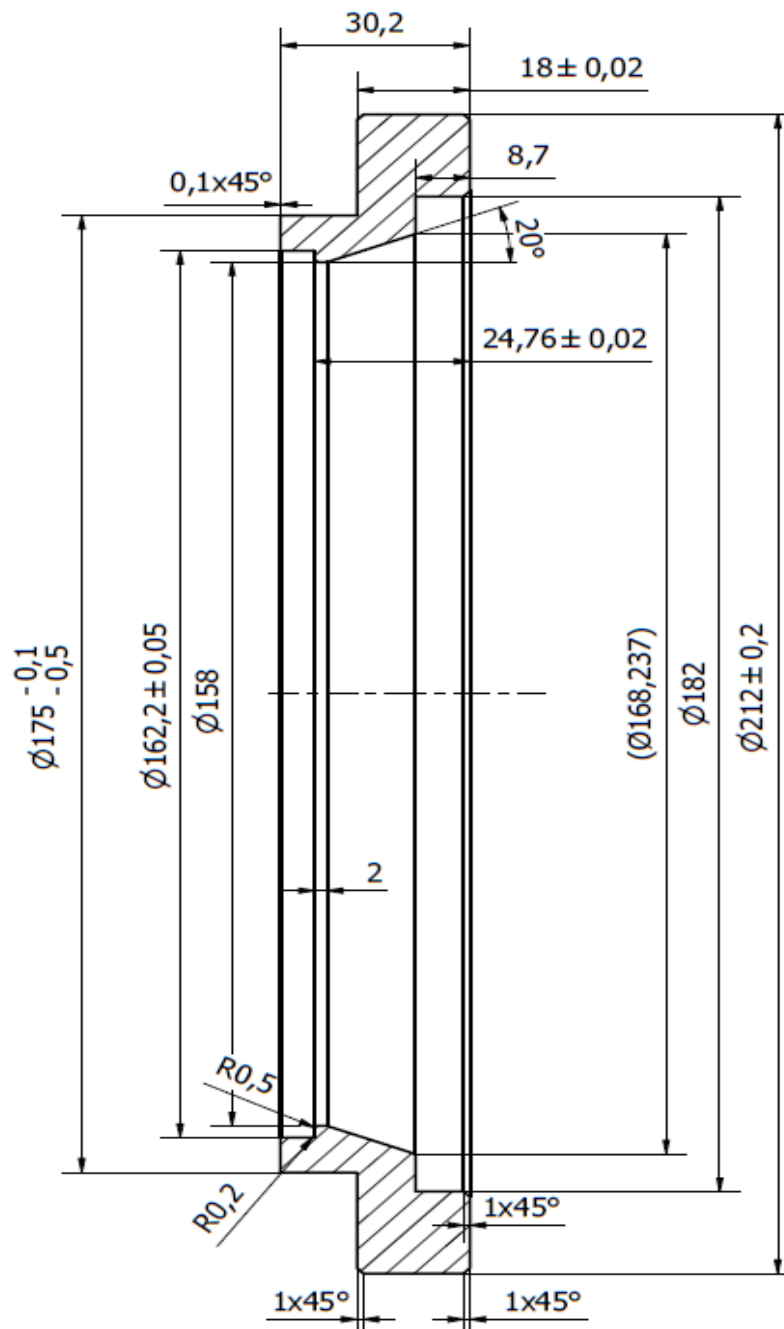
Obr. 3.12 Stahovací pouzdro Hardinge 25C Collet 65MM [50]

V této operaci se obrábí plochy postupně z vnitřní části obrobku směrem k vnějším plochám a provádí se soustružení následujících ploch:

- vnitřní průměr  $162,2 \pm 0,5$  ke kótě  $24,76 \pm 0,02$  a radius  $R0,2$ ,
- radius  $R0,5$ ,
- vnitřní průměr  $158 \pm 0,1$  ke kótě 2,
- úkos pod úhlem  $20^\circ$  (dle výkresu) k průměru (168,237),
- vnitřní průměr 182 v délce  $8,7 \pm 0,1$ ,

- sražení hrany 1x45°,
- zarovnat čelo (drsnost povrchu Ra 0,8),
- sražení hrany 1x45°,
- vnější průměr  $212 \pm 0,2$ ,
- sražení hrany 1x45°,
- vnější čelo ke kótě  $18 \pm 0,02$  s drsností povrchu Ra 0,8,
- vnější průměr  $175^{+0,1}_{-0,5}$ ,
- upíchnout na délku  $30,2 \pm 0,1$ . [31]

U operací, kde není předepsaná drsnost povrchu jsou obráběné plochy opracovány na hodnotu Ra 1,6. Na všech ostrých hranách obrobku se provede odjehlení  $0,1 \times 45^\circ$ . Obrobek po dokončovacím soustružení je zobrazen na obrázku 3.13.



Obr. 3.13 Průřez obrobku po dokončovacím soustružení

Dokončovací soustružení se provádí pomocí vnitřního nože A32T-SDUCR11-X a radiálního zapichovacího nože G1011.2525L-3T21GX24 od firmy Walter, které jsou zobrazeny na obrázku 3.14 a 3.15.

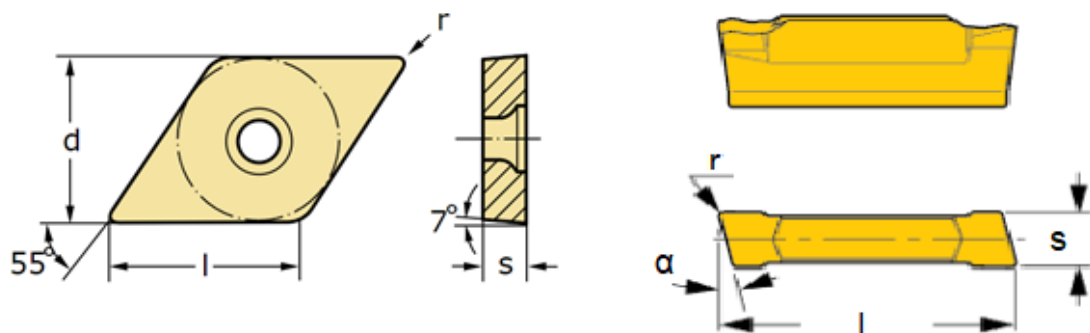


Obr. 3.14 Vnitřní nůž A32T-SDUCR11-X [51]



Obr. 3.15 Radiální zapichovací nůž G1011.2525L-3T21GX24 [52]

Vnitřní nůž je vybaven břitovou destičkou DCMT11T308-FM6 WSM20S s úhlem břitu  $55^\circ$  a poloměrem špičky 0,8 mm. Upíchnutí obrobku se provádí pomocí zapichovacího nože s vyměnitelnou břitovou destičkou DGR 3000ZS-6D (katalogové číslo IC908) od firmy Iscar. Tento druh VBD je výrobcem doporučen pro obrábění chromniklových slitin s nízkým obsahem uhlíku. [53] Výměnné břitové destičky můžeme vidět na obrázku 3.16. Geometrie a řezné podmínky udávané výrobcem pro jednotlivé nástroje jsou uvedeny v tabulkách 3.8 a 3.9.



Obr. 3.16 VBD DCMT11T308-FM6 WSM20S (vlevo) [54] a zapichovací nůž DGR 3000ZS-6D (vpravo) [53]

Tab. 3.8 Geometrie a řezné podmínky VBD DCMT11T308-FM6 WSM20S [54]

Průměr vepsané kružnice d	9,525 mm
Délka řezné hrany l	11,63 mm
Tloušťka s	3,97 mm
Poloměr špičky r	0,8 mm
Posuv na otáčku f	0,12-0,32 mm/ot.
Šířka záběru ostří $a_p$	0,6-2 mm

Tab. 3.9 Geometrie a řezné podmínky zapichovací destičky DGR 3000ZS-6D [53]

Řezná tloušťka s	3 mm
Poloměr špičky r	0,02 mm
Délka L	20,4 mm
Úhel řezné hrany $\alpha$	6°
Posuv na otáčku f	0,03-0,12 mm/ot.

### 3.5 Frézování

Po dokončovacím soustružení je na technologickém postupu zařazena operace frézování, kde se obrobek upravuje na konečné rozměry, vrtají se všechny díry a závity. Jedná se o poslední operaci, kde se odebrá větší množství materiálu. Frézováním je odebráno přibližně 0,1 kg oceli a konečná hmotnost distančního kroužku je 1,87 kg (vypočítáno dle programu Inventor). Hmotnost polotovaru na výrobu této součásti byla 36,59 kg, což znamená, že více než 34,5 kg materiálu bylo ve formě třísek odebráno od obrobku. Vysoce legovaná korozivzdorná ocel je drahá (cenu zvedají legury, především nikl) a při tak značném množství odpadního materiálu se významně projeví na výrobní ceně součásti.

Distanční kroužek je frézován na pětiosém CNC obráběcím centru Chiron FZ 12 FX, které můžeme vidět na obrázku 3.17.



Obr. 3.17 CNC obráběcí centrum Chiron FZ 12 FX [55]

Technické údaje tohoto stroje jsou uvedeny v tabulce 3.10.

Tab. 3.10 Technické údaje stroje Chiron FZ 12 FX [56]

Maximální pohyb v osách X-Y-Z	550 – 400 – 400 mm
Maximální výkon	40 kW
Maximální otáčky vřetena	30 000 ot./min
Maximální zrychlení v osách X-Y-Z	10 – 15 – 20 m/s <sup>2</sup>
Rychloposuv	75 m/min
Maximální počet nástrojů	128
Upínací kužel frézy	HSK-A40 / HSK-A50 / HSK-A63
Maximální průměr nástroje	125 mm
Maximální délka nástroje	250 mm
Dvouosý otočný stůl	CASD Ø280

Na CNC obráběcím centru jsou postupně provedeny následující operace:

- frézovat čelo na rozměr 30 mm (po soustružení 30,2±0,1),
- frézovat plošky na obvodu (4x),
- vrtat díry o průměru 7 mm – průchozí (6x),
- vrtat díry o průměru 6 mm – průchozí (6x),
- vrtat díry o průměru 4,2 mm pro M5 do hloubky 12,6 mm na čele (6x),
- vrtat díry o průměru 5 mm pro M6 na obvodu do hloubky 10 mm (4x),
- vrtat díry o průměru 2,5 mm pro M3 na obvodu (3x),
- frézovat zahloubení o průměru 10 mm do hloubky 8 mm (6x),
- frézovat zahloubení o průměru 11 mm do hloubky 1 mm (4x),
- řezat závity M6 – 6H do hloubky 8 mm na obvodu (4x),
- řezat závity M5 – 6H do hloubky 10,1 mm (6x),
- řezat závity M3 – 6H do hloubky 10 mm (3x),
- odjehlit hrany 0,1x45°. [31]

Vyřezané závity se po dokončení frézovací operace kontrolují pomocí závitových trnů M3x0,5 – 6H, M6x1 – 6H a mezního závitového trnu M5x0,8 – 6H.

### 3.6 Zámečnické práce a laserový popis obrobku

Po vrtání děr je nutné je důkladně očistit od zbylých třísek na konci vrtaného otvoru, které nebyly vrtákem odebrány. Většina děr a závitů je odjehlena během frézovací operace na CNC obráběcím centru. Manuálně jsou opracovány:

- průchozí díry o průměrech 6 (6x) a 7 mm (6x) pomocí dvoubřitového vrtáku z tvrdokovu o průměru 10,5 mm,
- zahloubení průměru 11 mm (4x) u závitu M6 brusným červeným kotoučkem v Enesce,
- závit M3 z vnitřní strany pomocí Enesky s 90° držákem a záhlubníkem pro zahloubení díry o průměru 3 mm. Při zahlubování tohoto závitu je nutné postupovat velmi opatrně, aby nedošlo k poškození vnitřního čela pod závitem, na kterém bude upevněna optická čočka teleskopu. [31]

Po provedení těchto úkonů se obrobená součást označí pomocí laserové popisovací stanice MediCom LD50C Nd:YAG, kterou můžeme vidět na obrázku 3.18. Zkratka Nd:YAG označuje typ laseru, kde aktivní látkou je krystal Yttrium Aluminium Granát

obohacený o prvek neodym (chemická značka Nd). Technické údaje popisovací laserové stanice jsou uvedeny v tabulce 3.11. [57]

Tab. 3.11 Technické údaje laserové popisovací stanice MediCom LD50C Nd:YAG [58]

Výkon laseru	50 W
Vlnová délka	1 064 nm
Frekvence	1–60 kHz
Šířka stopy	0,08 – 0,15 mm
Rozměry pracovní kabiny	520 x 600 x 600 mm
Maximální hmotnost předmětu	60 kg
Stupeň krytí	IP54
Rozměry stanice	1 520 x 720 x 1 400 mm
Hmotnost stanice	180 kg



Obr. 3.18 Laserová popisovací stanice MediCom LD50C Nd:YAG [58]

Každý distanční kroužek je popsán trojčíferným sériovým číslem na čele součásti. Přesné umístění tohoto čísla je zakótováno na výkrese, který je přílohou 1 této práce.

### 3.7 Leštění a lapování

Po označení distančního kroužku sériovým číslem je čelo součásti leštěno za účelem dosažení menší drsnosti povrchu. Leštění probíhá na leštícím a lapovacím stroji Precisionlap model 900, který je zobrazen na obrázku 3.19. Vzhledem k podobnosti leštění a lapování jsou tyto stroje často vyráběny tak, aby umožňovaly provést obě operace. Technické údaje leštícího a lapovacího stroje Precisionlap model 900 jsou uvedeny v tabulce 3.12.



Tab. 3.12 Technické údaje leštícího a lapovacího stroje Precisionlap model 900 [59]

Vnější průměr lapovací desky	914 mm
Vnitřní průměr lapovací desky	178 mm
Vnější průměr unášecího kroužku	419 mm
Vnitřní průměr unášecího kroužku	368 mm
Rozměry	1 270 x 1 702 x 1 016 mm
Hmotnost	1 247 kg



Obr. 3.19 Leštící a lapovací stroj Precisionlap model 900 [60]

Po vyleštění součásti je provedena operace lapování. Na distančním kroužku jsou ručně lapovány dosedové plochy optických čoček pomocí nástroje z kalené oceli o stejném poloměru křivosti jako je na čočce, což odpovídá poloměru nástroje 117,217 mm. Všechny lapované plochy distančního kroužku jsou zaznačený na výkrese součásti (viz Příloha 1).

### 3.8 Oddělení technické kontroly

Ve výrobním procesu je nezbytné přesně stanovit rozměry obrobeneho distančního kroužku. Měření je prováděno na oddělení technické kontroly na moderních měřících přístrojích. Tyto stroje jsou umístěny v klimatizované místnosti se stálou teplotou 21 °C z důvodu větší přesnosti měření a rozměrové stálosti vyrobené součásti. Měření probíhá na dvou strojích, přičemž jeden měří rozměry vyrobené součásti a druhý jeho geometrické tolerance. Pro měření rozměrů je využit stroj ZEISS PRISMO ultra se senzorem VAST gold. Technické údaje měřícího stroje jsou uvedeny v tabulce 3.13 a je zobrazen na obrázku 3.20.

Jak již bylo zmíněno v úvodní kapitole (viz kapitola 1), všechny rozměry distančního kroužku splňují požadavky předepsané ve výrobní dokumentaci.

Tab. 3.13 Technické údaje stroje ZEISS PRISMO ultra se senzorem VAST gold [61]

Délková přesnost měření při 20 – 22 °C	0,5+L/500
Rozsah opakovatelnosti	0,4 µm
Odchylka měření	0,9 µm
Odchylka kruhovitosti	0,5 µm
Maximální dráhy v osách X – Y – Z	900 – 1 300 – 650 mm
Vnější rozměry	1 733 x 2 340 x 3 040 mm
Rozměry pracovního prostoru	1 070 x 1 820 x 705 mm
Maximální hmotnost součásti	1 000 kg
Hmotnost měřicího stroje	2 950 kg



Obr. 3.20 Měřicí stroj ZEISS PRISMO ultra [62]

Druhé zařízení pro měření geometrických tolerancí je od německého výrobce Jenoptik. Jedná se konkrétně o verzi Formline Roundscan 555. Využití jiného přístroje pro zjištění geometrických odchylek je dán jeho větší přesností a především všestranností. Na tomto stroji je možné měřit geometrické tolerance kruhovitosti, válcovitosti, kolmosti, sousostí, rovnoběžnosti, rovinnosti, přímosti, obvodového a čelního házení. [63]

Podrobnější údaje o měřicím stroji jsou uvedeny v tabulce 3.14 a je zobrazen na obrázku 3.21. Hodnoty v závorkách v tabulce 3.14 představují různé možnosti

provedení této verze dle požadavků zákazníka. Jedná se o tříosý měřicí stroj s horizontální osou R, vertikální osou Z a rotační osou otočného stolku C. [63]

Tab. 3.14 Technické údaje měřicího stroje Jenoptik Formline Roundscan 555 [63, 64]

Maximální měřitelný průměr	430 (530) mm
Maximální měřitelná výška	550 mm
Maximální hmotnost součásti	60 (100) kg
Vzdálenost os C a Z	370 (420) mm
Průměr otočného stolku	330 mm
Vyrovnání obrobku	automatické
Odchylka kruhovitosti dle výšky měření nad rotačním stolkem	0,02 $\mu\text{m}$ + 0,0005 $\mu\text{m}/\text{mm}$ měřené výšky
Axiální házení	0,03 $\mu\text{m}$ + 0,0005 $\mu\text{m}/\text{mm}$ rádiusu
Odchylka přímosti osy Z/100 mm	0,15 $\mu\text{m}$
Rovnoběžnost os C a Z	0,8 $\mu\text{m}$
Odchylka přímosti osy R/100 mm	0,25 $\mu\text{m}$
Kolmost os C a R	0,8 $\mu\text{m}$
Rozměry	1 990 x 750 x 1 960 mm



Obr. 3.21 Měřicí stroj Jenoptik Formline Roundscan 555 [63]

Velikosti naměřených geometrických tolerancí překračující předepsané toleranční pole jsou uvedeny v tabulce 1.2.

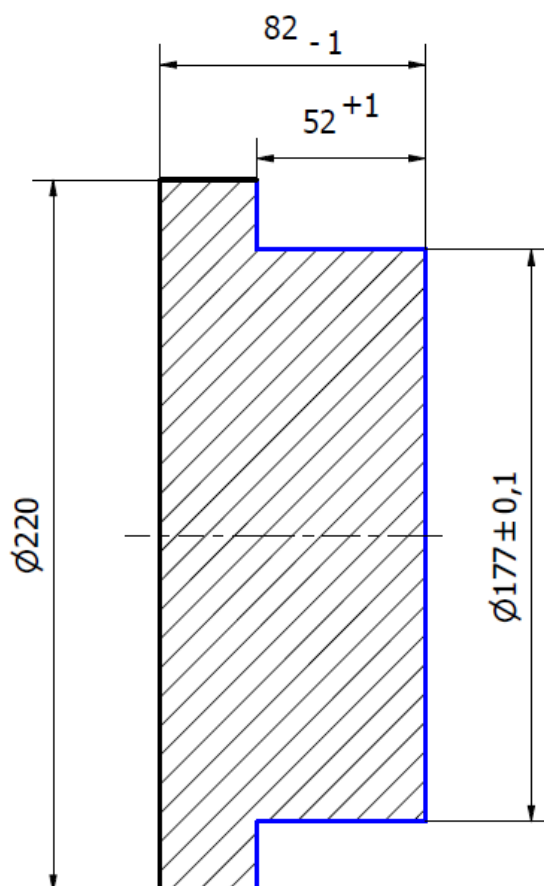
## 4 NÁVRH NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU

Jako hlavní problém při výrobě distančního kroužku dle stávajícího technologického postupu se jeví systém upínání při soustružení. Upínání do stahovacího pouzdra pomocí vysoustruženého čepu o malém průměru není optimální z hlediska nízké tuhosti a pevnosti, což se může významně projevit na výsledné přesnosti obrobku. Dalším problémem, který souvisí s upnutím obrobku v obráběcím stroji, je hmotnost polotovaru. Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, při obrábění distančního kroužku je přes 34 kg odpadního materiálu korozivzdorné oceli. Změnou systému upínání tedy pravděpodobně dojde nejen ke zlepšení přesnosti součásti, ale také ke značnému snížení výrobních nákladů. Stejně jako ve stávajícím výrobním postupu, byla i zde součást vyrobena z korozivzdorné martenzitické oceli 1.4057. Tato ocel byla zvolena z důvodu vyšší tvrdosti a nižší teplotní roztažnosti v porovnání s austenitickou ocelí 1.4301.

Další změnou ve výrobním postupu bude tepelné zpracování, které není vhodně zvoleno pro daný typ materiálu a nemá tak požadovaný efekt.

### 4.1 Hrubování

Pro zvýšení tuhosti a pevnosti upnutí obrobku bude vhodnější součást upínat za její obvod 177 mm, který vznikne po prvním hrubovacím soustružení. Díky této úpravě již nebude nutné vytvoření upínacího čepu, a dojde tedy i ke zmenšení polotovaru. Délka polotovaru byla zkrácena o velikost čepu 40 mm. Nový polotovar je tedy tyč o průměru 220 mm a délce 85 mm, což při původní délce 125 mm představuje téměř třetinovou úsporu materiálu. Dle vzorce 3.2 je hmotnost tohoto polotovaru 24,88 kg. Průřez obrobkem po první hrubovací operaci dle nového technologického postupu je znázorněn na obrázku 4.1.



Obr. 4.1 Průřez obrobku po prvním hrubovacím soustružení dle nového postupu

Stejně jako na obrázku 3.3 v předešlé kapitole, jsou i v tomto případě na obrázku označeny obrobené plochy vznikající při této hrubovací operaci modrou barvou. Na první pohled je zřejmé, že došlo k výraznému zjednodušení prvního soustružení součásti. Upínání obrobku zůstalo v této operaci stejné jako ve stávajícím technologickém postupu (za obvod polotovaru 220 mm) a provádějí se již jen tyto úkony:

- zarovnání čela,
- soustružení na průměr 177 mm v délce 52 mm,
- sražení hran  $0,3 \times 45^\circ$ .

Při druhé hrubovací operaci došlo pouze ke změně upnutí. Ve stávajícím technologickém postupu se distanční kroužek upínal za vysoustružený čep, zatímco v novém výrobním postupu je součást upevněna ve stroji za obvod 177 mm.

## 4.2 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování dle stávajícího technologického postupu není zcela optimální vzhledem k faktu, že distanční kroužek je vyráběn z korozivzdorné oceli 1.4057 zušlechtěné na stav QT800. Cílem tohoto tepelného zpracování je především stabilizovat rozměry obrobku snížením koncentrace zbytkového austenitu. Jeho množství v daném typu oceli je však minimální. Snaha tento obsah ještě snížit nemá velký význam z hlediska stálosti rozměrů a prodražuje výrobu součásti.

Žíhání ke snížení pnutí bylo v novém technologickém postupu zachováno z důvodu značného hrubování obrobku, při kterém je odebráno téměř 18 kg materiálu. Vlivem velkého teplotního a deformačního zatížení mohlo v součásti dojít ke zvýšení vnitřního pnutí, což by se mohlo projevit nestálostí rozměrů obrobku. Provedením tohoto tepelného zpracování nedojde ke změně struktury oceli a ani k výrazné změně vlastností. Při žíhání zušlechtěného materiálu za účelem snížení pnutí je nezbytné, aby žíhací teplota byla nižší než teplota popouštění z důvodů poklesu tvrdosti materiálu. [65]

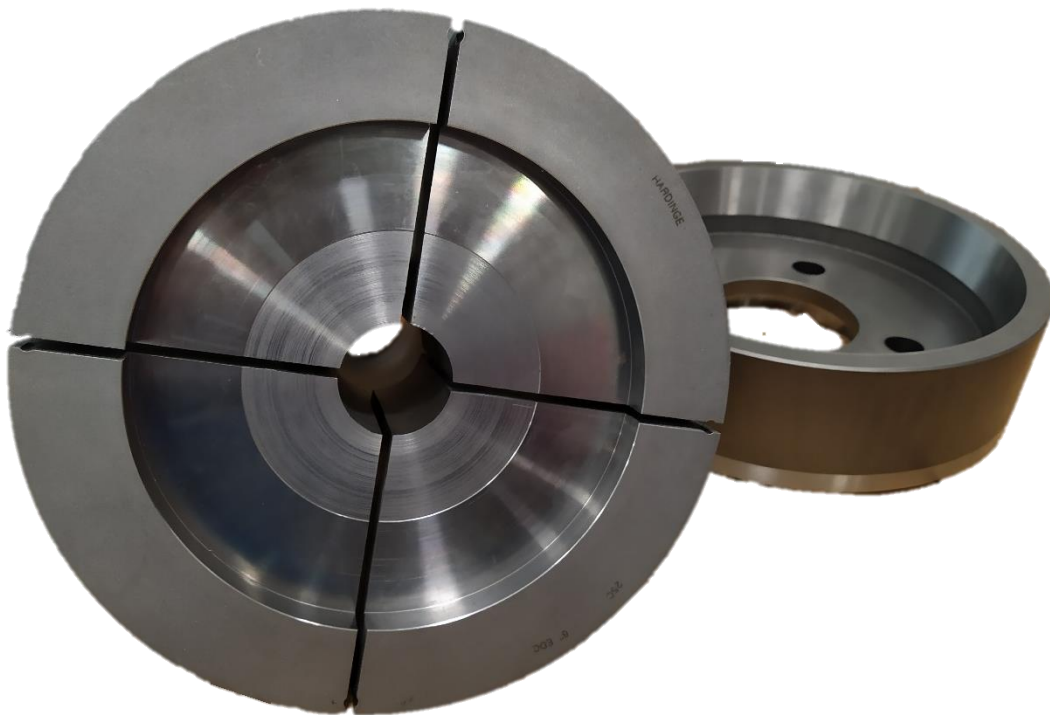
Žíhací teplota ve stávajícím technologickém postupu je  $850\text{ }^\circ\text{C}$  a přesahuje tak předepsané popouštěcí teploty. Proto byla v novém výrobním postupu teplota změněna na  $700\text{ }^\circ\text{C}$ . Aby nedošlo k překročení této teploty, byla rovněž upravena doba náběhu na tuto teplotu z 90 na 120 minut.

Další tepelné zpracování ve stávajícím technologickém postupu bylo zmrazování. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.3, toto tepelné zpracování pro materiál 1.4057 zušlechtěný na stav QT800 je nevhodné kvůli nízkému obsahu zbytkového austenitu ve struktuře, a také skutečnosti, že k danému procesu dochází dlouho po kalení, kdy je již zbytkový austenit v oceli stabilizován. Z těchto důvodů je z nového technologického postupu tato operace vyřazena, čímž odpadá i nutnost tuto součást popouštět z důvodu zvyšování vnitřního pnutí při zmrazování.



### 4.3 Dokončování

V novém technologickém postupu již není upínací čep o průměru 65 mm. Tento průměr je maximální upínací průměr na velmi přesném CNC obráběcím stroji Hardinge T65 SP MYT a upíná se pomocí stahovacího pouzdra. Nejvhodnější způsob uchycení je za obvod obrobku s průměrem 177 mm. Pro tento účel bylo nutné využít přídatné stahovací pouzdro Hardinge 25C 8" EDC, které umožňuje upnout obrobky o průměru až 8 palců (203,2 mm). Před použitím tohoto stahovacího pouzdra je nutné do něho vysoustružit zapuštění o průměru obráběné součásti. Hloubka tohoto zapuštění může dle výrobce dosáhnout až 7/4 palce, což odpovídá 44,45 mm. [66] Velkou nevýhodou tohoto stahovacího pouzdra je, že pro výrobu součástí s průměrem nad 65 mm na tomto stroji je nezbytné mít toto přídatné pouzdro upravené na daný průměr, což v případě kusové výroby značně prodrazí výrobní náklady. Použité stahovací pouzdro je možné vidět na obrázku 4.2. Průměr zapuštění pouzdra na obrázku je 160 mm. Tento průměr byl následně na stroji Hardinge T-65 SP MYT zvětšen na 177 mm.



Obr. 4.2 Stahovací pouzdro Hardinge 25C 8" EDC

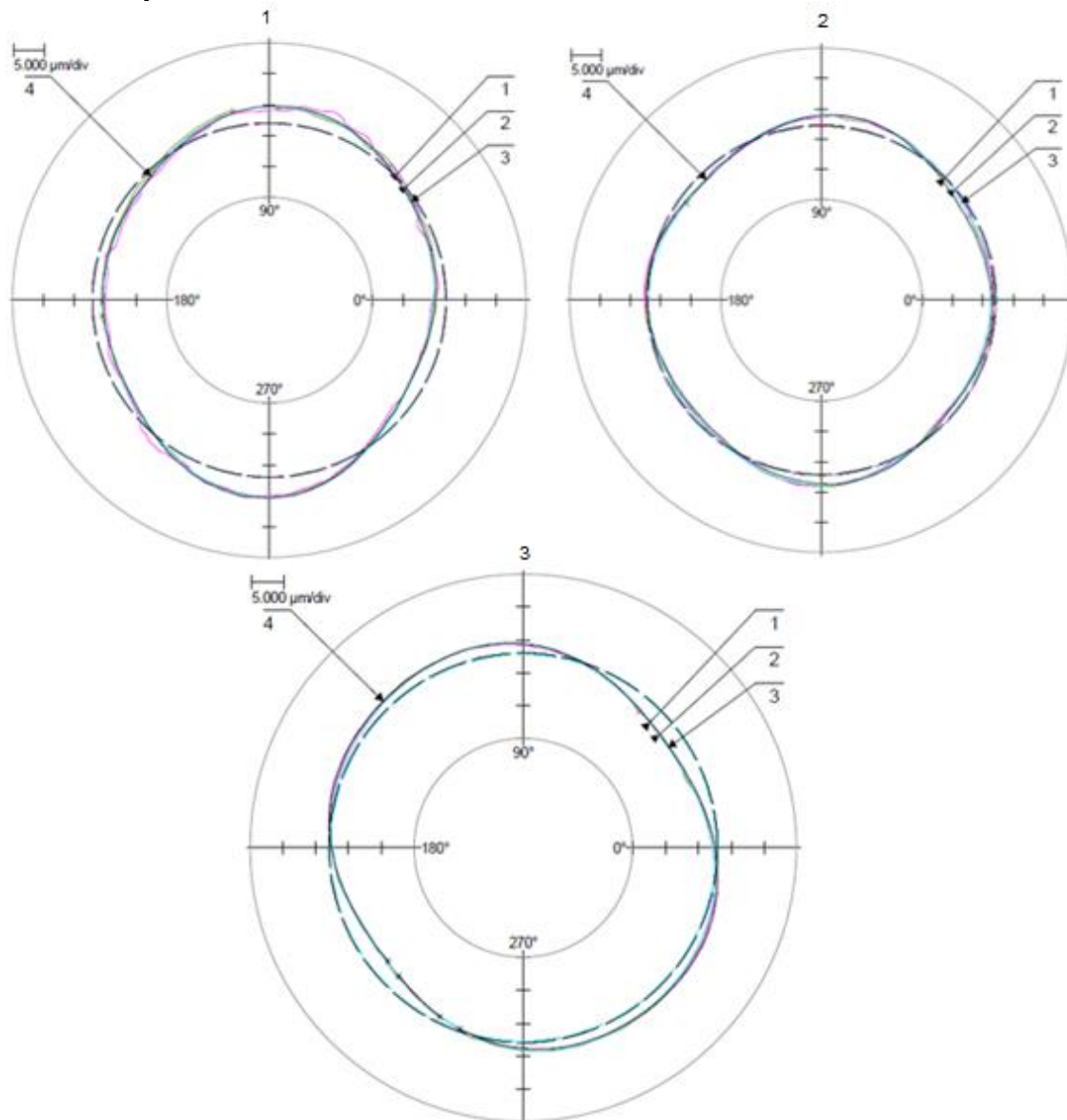
### 4.4 Oddělení technické kontroly

Měření rozměrů a geometrických tolerancí v novém technologickém postupu probíhá na stejných zařízeních jako u stávajícího. Stejně jako u stávajícího postupu, tak i zde splňují rozměry součásti předepsané tolerance ve výkresové dokumentaci. Všechny stanovené geometrické tolerance dodrženy nebyly ani při výrobě součásti dle nového technologického postupu, nicméně překročení předepsaného tolerančního pole je menší v porovnání se stávajícím postupem. Nutno podotknout, že v rámci testování tohoto postupu byly zpracovány pouhé 3 kusy a jejich průměrné hodnoty odchylek vypočítané z jednotlivých geometrických tolerancí se od těch reálných mohou výrazně lišit.



#### 4.4.1 Geometrické tolerance kruhovitosti

Na distančním kroužku jsou předepsané dvě geometrické tolerance kruhovitosti  $5\ \mu\text{m}$  o průměrech 158 a 175 mm. Každý průměr je měřen 2x, a to vždy na začátku a na konci kruhové části. Dráhy měřicí sondy pro všechny měřené součásti jsou zobrazeny na obrázku 4.3. Velikosti jednotlivých geometrických tolerancí kruhovitosti jsou uvedeny v tabulce 4.1.



Obr. 4.3 Dráhy měřicí sondy geometrických tolerancí kruhovitosti pro všechny kusy, kde dráhy 1 a 2 jsou pro průměr 158 mm a 3 a 4 pro průměr 175 mm [67]

Tab. 4.1 Velikosti jednotlivých geometrických tolerancí kruhovitosti v  $\mu\text{m}$  [67]

	1. Kus	2. Kus	3. Kus
#02 Kruhovitost D158_1	5,42	3,34	4,52
#02 Kruhovitost D158_2	6,11	3,32	4,52
Kruhovitost D175_1	5,73	3,12	4,55
Kruhovitost D175_2	5,79	3,2	4,54

Dle výše uvedených hodnot vyplývá, že předepsanou geometrickou tolerancí kruhovitosti nesplňuje pouze první kus ve všech měřeních. V průměru je toleranční pole překročeno o  $0,76\ \mu\text{m}$ . Zbýlé obrobky tuto toleranci splňují.

#### 4.4.2 Geometrické tolerance kolmosti

Na výkrese je předepsaná jedna geometrická tolerance kolmosti #01 o velikosti 5  $\mu\text{m}$ . Velikosti změřených geometrických tolerancí kolmosti jsou pro všechny vyrobené kusy uvedeny v tabulce 4.2.

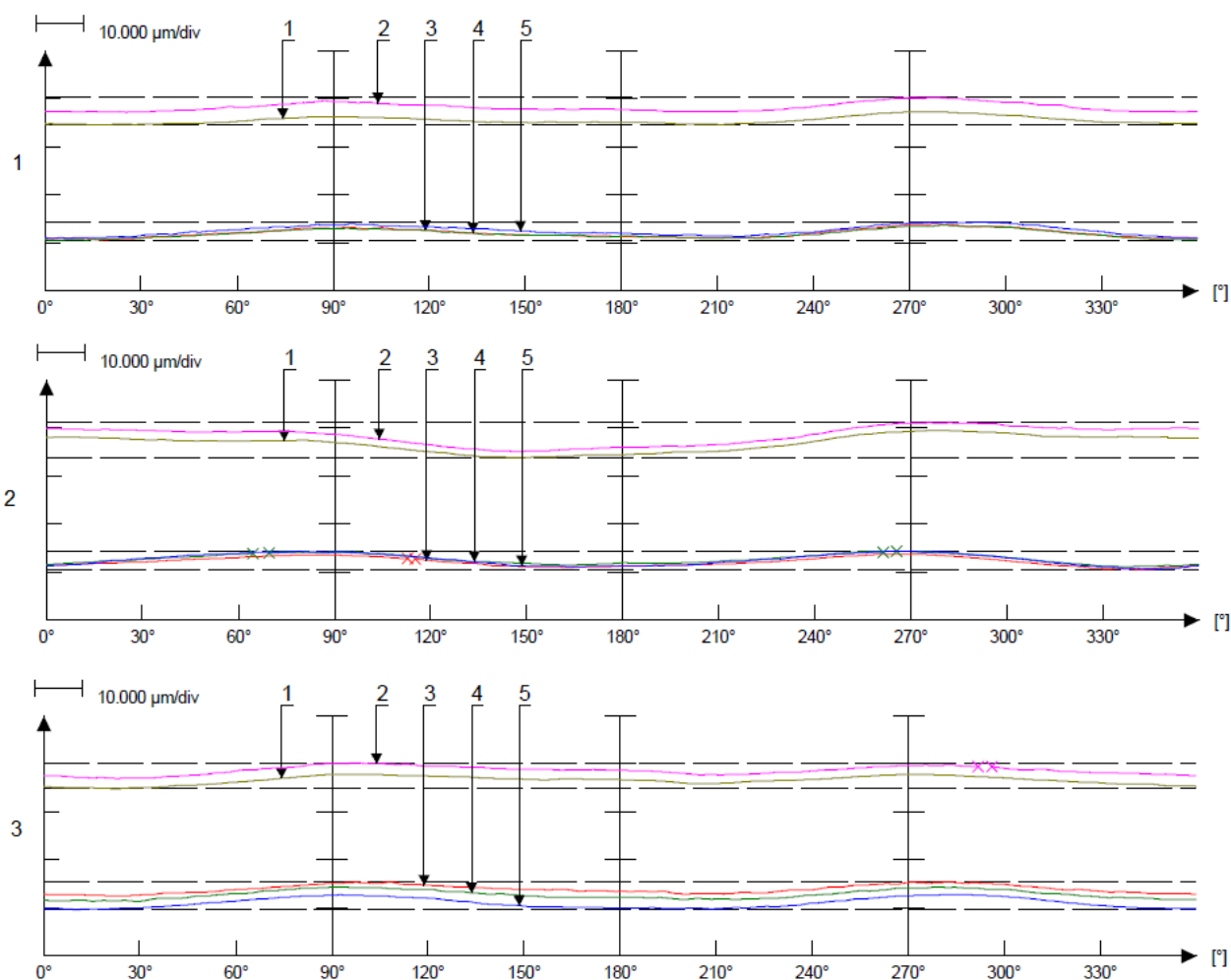
Tab. 4.2 Velikosti geometrických tolerancí kolmosti v  $\mu\text{m}$  [67]

	1. Kus	2. Kus	3. Kus
#01 Kolmost	0,34	0,42	0,62

Stejně jako ve stávajícím technologickém postupu jsou i zde splněny předepsané tolerance kolmosti u všech kusů.

#### 4.4.3 Geometrické tolerance rovnoběžnosti

Geometrické tolerance rovnoběžnosti o velikosti 5  $\mu\text{m}$  jsou předepsány dvě, a to #03 a #04. Jedná se o rovnoběžnosti vnitřních čel k základně D. Rovnoběžnost #03 byla měřena na dvou místech stejné plochy, zatímco rovnoběžnost #04 na třech z důvodu větších rozměrů této plochy. Dráhy obou těchto rovnoběžností byly zaznamenány do jednoho grafu, který je pro všechny kusy zobrazen na obrázku 4.4. Velikosti jednotlivých geometrických tolerancí rovnoběžnosti jsou uvedeny v tabulce 4.3.



Obr. 4.4 Dráhy měřící sondy tří kusů z měření geometrické tolerance rovnoběžnosti #03 (dráhy 1 a 2) a #04 (dráhy 3,4 a 5) [67]

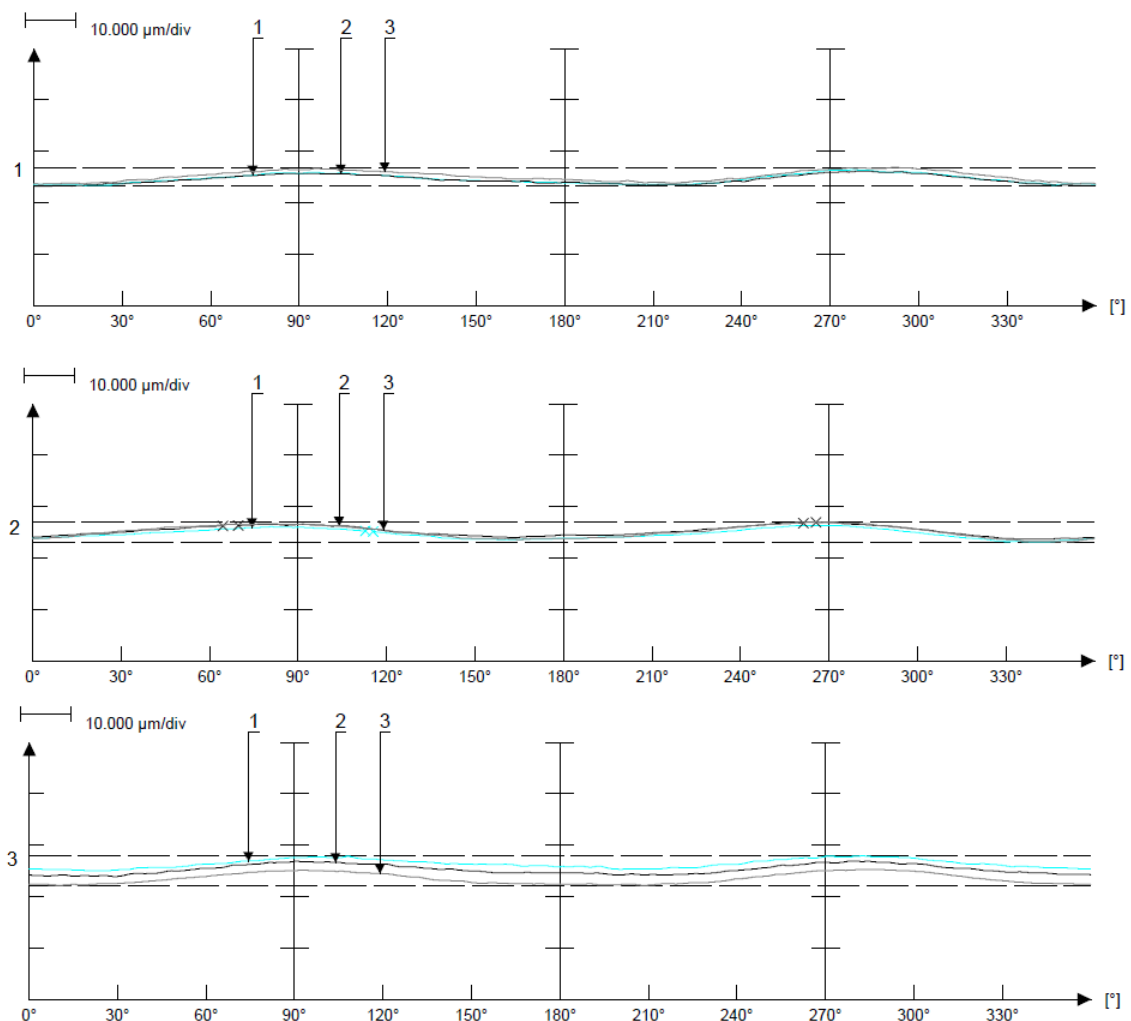
Tab. 4.3 Velikosti jednotlivých geometrických tolerancí rovnoběžnosti v  $\mu\text{m}$  [67]

	1. Kus	2. Kus	3. Kus
#03 Rovnoběžnost vnitřního čela k D	5,62	7,22	5,36
#04 Rovnoběžnost levého čela k D	3,75	3,72	5,75

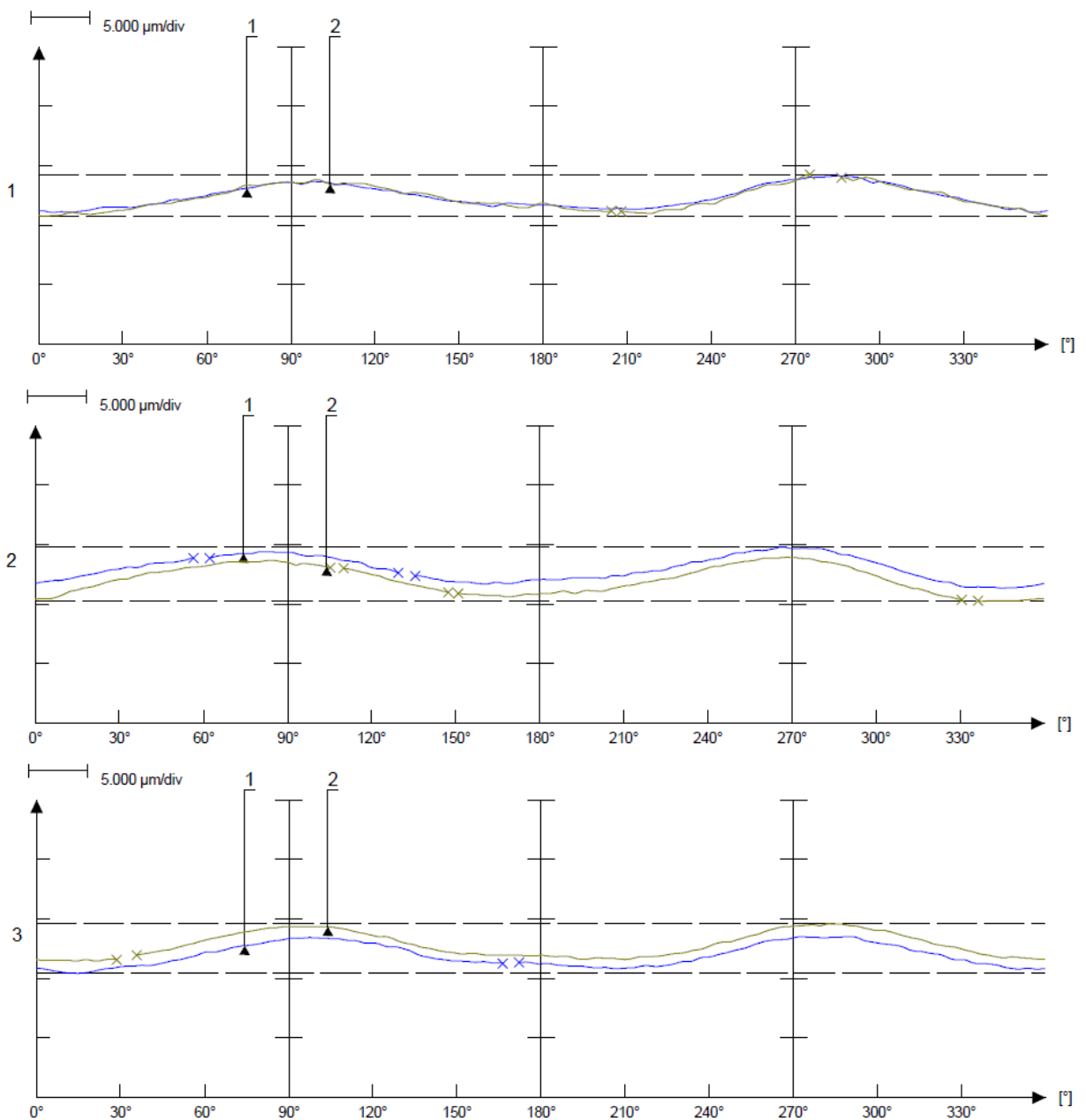
Porovnáme-li tyto údaje s výsledky měření distančního kroužku vyrobeného dle stávajícího výrobního postupu uvedených v tabulce 1.2 zjistíme, že došlo ke zhoršení rovnoběžnosti vnitřního čela k základně D. Toleranční pole rovnoběžnosti #03 bylo překročeno u všech tří kusů v novém postupu, zatímco ve stávajícím postupu pouze u paté součásti, kde byly v porovnání s ostatními mnohem větší všechny geometrické tolerance a šlo patrně o chybu při výrobě. Průměrná velikost překročení tolerančního pole je  $1,07 \mu\text{m}$ . Oproti tomu rovnoběžnost #04 dopadla přibližně stejně v obou postupech. Ve stávajícím byla překročena u třetího a pátého kusu o  $0,22 \mu\text{m}$ , resp.  $16,78 \mu\text{m}$ , zatímco v novém postupu je toleranční pole překročeno pouze u kusu 3, a to o  $0,75 \mu\text{m}$ .

#### 4.4.4 Geometrické tolerance rovinnosti

Geometrické tolerance rovinnosti o velikosti tolerančního pole  $5 \mu\text{m}$  jsou ve výrobní dokumentaci předepsány dvě, a to rovinnost pravého čela a rovinnost #05. Tyto rovinnosti byly vyneseny do dvou různých grafů. Na obrázku 4.5, resp. 4.6 můžeme vidět dráhy měřící sondy z měření rovinností. Velikosti geometrických tolerancí rovinnosti pro všechny kusy jsou uvedeny v tabulce 4.4.



Obr. 4.5 Dráhy měřící sondy tří kusů z měření geometrické tolerance rovinnosti #05 [67]



Obr. 4.6 Dráhy měřící sondy tří kusů z měření geometrické tolerance rovinnosti pravého čela [67]

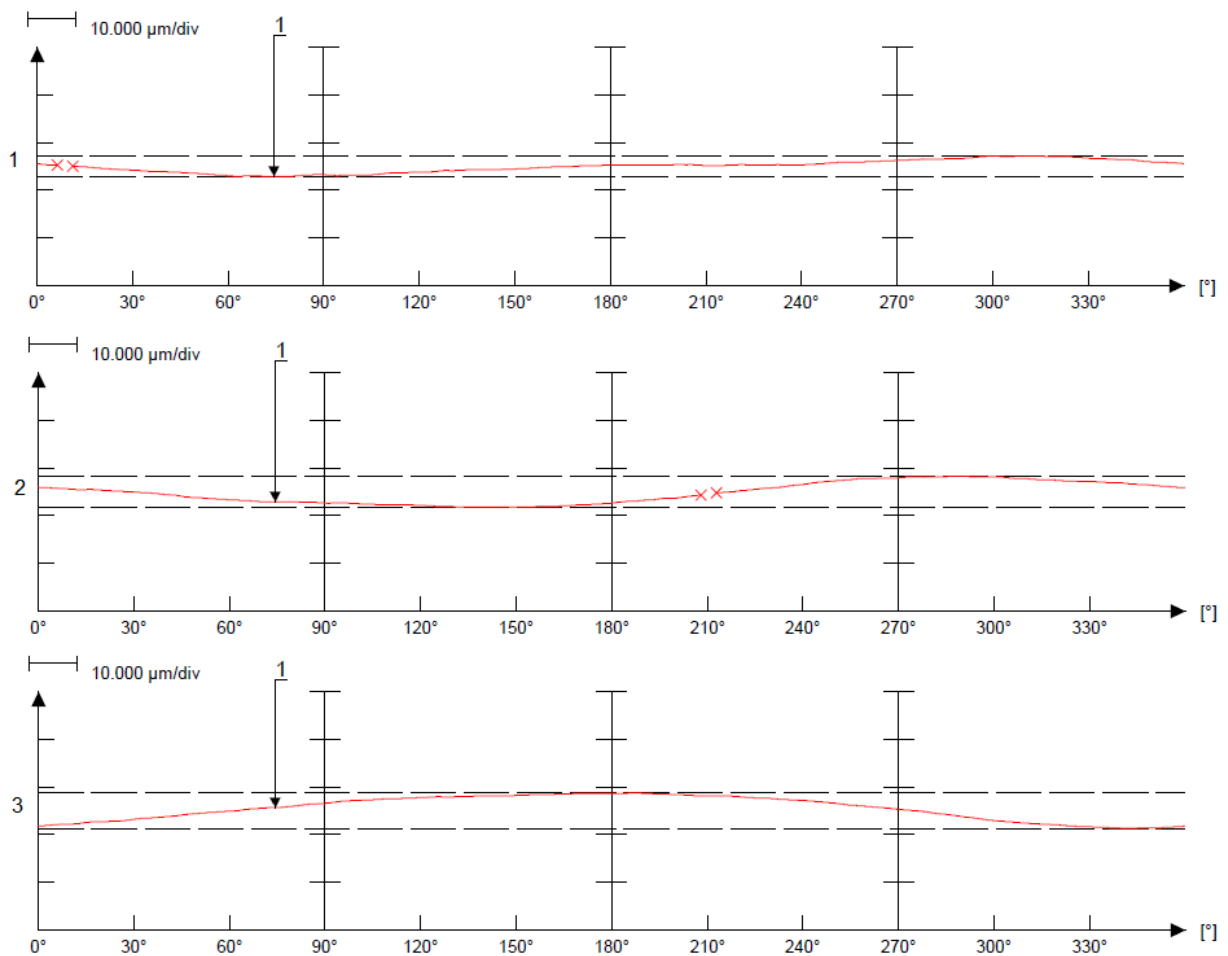
Tab. 4.4 Velikosti geometrických tolerancí rovinnosti v  $\mu\text{m}$  [67]

	1. Kus	2. Kus	3. Kus
#05 Rovinnost čelo levé	3,6	3,85	5,72
Rovinnost čelo pravé	3,48	4,58	4,15

Výsledky měření rovinnosti levého čela jsou podobné v obou postupech. Ve stávajícím postupu došlo k nedodržení předepsané tolerance u třetího a pátého kusu o  $0,18 \mu\text{m}$ , resp.  $16,83 \mu\text{m}$ , zatímco u nového postupu o  $0,72 \mu\text{m}$  u třetího kusu. Velkého zlepšení se docílilo u rovinnosti pravého čela, kde ve stávajícím postupu nebylo toleranční pole dodrženo u žádného obrobku, zatímco v novém postupu byla tato geometrická tolerance splněna ve všech případech.

#### 4.4.5 Geometrická tolerance házení čela R0,5

Házení čela radiusu 0,5 mm je na výkresu předepsáno jedenkrát. Záznam dráhy sondy z měření této geometrické tolerance je uveden pro všechny kusy na obrázku 4.7. Velikosti změřeného házení radiusu 0,5 mm jsou uvedeny v tabulce 4.5.



Obr. 4.7 Záznam dráhy sondy z měření geometrické tolerance házení R0,5 [67]

Tab. 4.5 Velikosti změřeného házení R0,5 v  $\mu\text{m}$  [67]

	1. Kus	2. Kus	3. Kus
Čelní házení R0,5	4,2	6,57	7,38

Při výrobě součásti dle nového technologického postupu došlo k výraznému zlepšení čelního házení radiusu 0,5 mm. Ve stávajícím postupu tato geometrická tolerance nebyla dodržena ani v jednom případě a průměrné překročení tolerančního pole dosahovalo 2,88  $\mu\text{m}$ . Oproti tomu v novém postupu jeden kus splňuje tuto toleranci a nejvyšší hodnota překročení tolerančního pole u kusu 3 nedosahuje ani průměrné hodnoty stávajícího postupu.

## 4.5 Shrnutí

Pro zřetelnější interpretaci výsledků byly velikosti všech geometrických tolerancí s velikostí tolerančního pole 5  $\mu\text{m}$  zpracovány do jedné tabulky 4.6. V této tabulce jsou zeleně označeny velikosti geometrických tolerancí, které splnily předepsané požadavky. Červeně jsou označeny ty, které překročili velikost tolerančního pole a rovněž je zde uvedeno o kolik bylo toto toleranční pole překročeno.

Tab. 4.6 Shrnutí velikostí všech geometrických tolerancí tří kusů v  $\mu\text{m}$  [67]

Geometrická tolerance	1. Kus		2. Kus		3. Kus	
	Aktuální hodnota	Překročení	Aktuální hodnota	Překročení	Aktuální hodnota	Překročení
Kruhovitost D175_1	5,73	0,73	3,12		4,55	
Kruhovitost D175_1	5,79	0,79	3,2		4,54	
#01 Kolmost	0,34		0,42		0,62	
#02 Kruhovitost D158_1	5,42	0,42	3,34		4,52	
#02 Kruhovitost D158_2	6,11	1,11	3,32		4,52	
#03 Rovnoběžnost vnitřního čela k D	5,62	0,62	7,22	2,22	5,36	0,36
#04 Rovnoběžnost levého čela k D	3,75		3,72		5,75	0,75
#05 Rovinnost levého čela	3,6		3,85		5,72	0,72
Rovinnost pravého čela	3,48		4,58		4,15	
Čelní házení R0,5	4,2		6,57	1,57	7,38	2,38

Z tabulky je patrná značná různorodost výsledků. Pro přesnější zhodnocení výsledků by bylo vhodnější vyrobit v této sérii více kusů. Vyhodnocení výsledků z pouhých tří kusů nemusí být zcela přesné a může dojít ke zkreslení reálných výsledků.

Porovnáme-li tyto hodnoty s výsledky měření distančního kroužku vyrobeného dle stávajícího technologického postupu, je na první pohled zřejmé, že se počet geometrických tolerancí nesplňující předepsané požadavky zvýšil. Velikost překročení tolerančního pole je však výrazně menší, než tomu bylo u stávajícího postupu a ve většině případů nepřekračuje 1  $\mu\text{m}$ .

Ve stávajícím technologickém postupu byl největší problém z rovinností pravého čela a čelního házení radiusu 0,5 mm. V novém postupu se ve všech případech podařilo snížit toleranční pole pod 5  $\mu\text{m}$  u rovinnosti pravého čela a výrazně snížit házení radiusu.

Dle výše zmíněného, lze považovat nový výrobní postup za přesnější, i když nebyly odstraněny všechny nepřesnosti výroby. Oddělení technologie výroby ve firmě Meopta tyto výsledky shledalo jako dostačující a distanční kroužek bude vyráběn podle nového technologického postupu.



## 5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Závěr technicko-ekonomického zhodnocení je jedním z nejdůležitějších ukazatelů vhodnosti daného postupu. Kromě splnění předepsaných technických požadavků je pro součást nezbytná její nízká výrobní cena, díky které je možné daný výrobek prodat se ziskem a levněji než konkurence. Do výrobních nákladů součásti spadají náklady na materiál, nástroje, provoz stroje, logistiku materiálu v podniku a mzdy pracovníků. Cílem této kapitoly je určit rozdíl v nákladech na výrobu distančního kroužku mezi stávajícím a novým technologickým postupem bez ohledu na to, že stávající postup výrazně překračuje předepsané geometrické tolerance.

### 5.1 Náklady na materiál

Jak již bylo zmíněno v předešlých kapitolách, polotovar na výrobu distančního kroužku je kruhová tyč o průměru 220 mm z korozivzdorné oceli 1.4057. Jiný tvar polotovaru nepřichází v úvahu vzhledem k tomu, že je součást rotační a vyráběná na soustruhu s požadavky na vysokou přesnost. Tento průměr korozivzdorného materiálu 1.4057 není standardním sortimentem a je nutné ho objednávat na zakázku. Nejvyšší nalezený průměr na internetových stránkách inerez.cz je 170 mm, kde metr polotovaru stojí 20 583 Kč bez DPH. Dle porovnání cen za kilogram oceli u různých průměrů oceli 1.4057, byla cena odhadnuta na 135 Kč/kg. Ceny za kilogram u různých průměrů můžeme vidět v tabulce 5.1.

Tab. 5.1 Ceny materiálu 1.4057 pro různé průměry [68]

Průměr [mm]	80	90	100	110	170	220
Hmotnost [kg]	39,46	49,94	61,65	74,6	172,2	292,7
Cena za metr tyče [Kč/m]	3 864	5 219	6 720	8 124	20 583	39 515,5
Cena za kilogram [Kč/kg]	97,92	104,51	109	108,9	119,53	135

Délka tyče je jeden metr vzhledem k jeho velké hmotnosti. Vezmeme-li délku polotovaru na výrobu jednoho distančního kroužku pro stávající a nový technologický postup, můžeme vypočítat počet kusů z jedné tyče dle vzorce 5.1. Při tomto výpočtu je nutné přihlídnout k šířce pilového pásu 0,9 mm. Podělíme-li náklady na metr tyče počtem z ní vyrobených kusů, dostaneme náklady na materiál jednoho distančního kroužku. Výpočty jsou uvedené v tabulce 5.2.

$$n = \frac{L_t}{L_p + u} \quad (5.1)$$

kde:  $L_t$  [mm] – délka tyče  
 $L_p$  [mm] – délka polotovaru  
 $u$  [mm] – šířka pilového pásu

Tab. 5.2 Výpočet kusů polotovaru z jedné tyče a náklady na materiál za jeden kus

	Stávající postup	Nový postup
Délka polotovaru [mm]	125	85
Počet kusů z jedné tyče [ks]	7	11
Náklady na 1 kus [Kč]	5 645	3 592

## 5.2 Náklady na nástroje a provoz stroje

Při výrobě distančního kroužku je využita celá řada moderních i starších strojů a vybavení. Výrobní postup zahrnuje moderní CNC soustruh pracující s vysokou přesností i pásovou pilu z 90. let. Je tedy zřejmé, že není možné počítat náklady na stroje celkově, ale pro každý stroj zvlášť. Vzhledem k velkému množství strojů, pro které již není snadné najít všechny údaje pro výpočet nákladů na provoz stroje dle vzorce 5.2 [69], je tento parametr určen dle spotřeby elektrické energie, provozních kapalin, nástrojů a amortizaci stroje za hodinu jeho práce, které můžeme vidět v tabulce 5.3 včetně časového využití jednotlivých strojů pro stávající ( $T_1$ ) i nový ( $T_2$ ) technologický postup. Vzhledem k výrazně nižší sériovosti tohoto distančního kroužku v porovnání s výrobou ostatních součástí ve firmě, jsou náklady na měřidla zanedbány.

$$N_{hs} = S + \frac{C + N_i + N_d - L}{Z \cdot E_{ef}} \quad (5.2)$$

kde:  $S$  [Kč·h<sup>-1</sup>] – fixní hodinová sazba  
 $C$  [Kč] – pořizovací cena stroje  
 $N_i$  [Kč] – náklady na instalaci stroje  
 $N_d$  [Kč] – náklady na demontáž stroje  
 $L_i$  [Kč] – likvidační hodnota stroje  
 $Z$  [h] – doba životnosti  
 $E_{ef}$  [h] – Efektivní časový fond stroje za rok

Tab. 5.3 Náklady na hodinu provozu strojů a jejich časové využití pro oba postupy [70]

Stroj	Náklady na hodinu provozu $N_{hs}$ [Kč]	Čas operace $T_1$ [min]	Čas operace $T_2$ [min]
Kasto SBA 260 AU	600	11	11
CNC Hyundai-Kia SKT 28	1 800	78,6	52,6
Pec BVD – žíhání	700	210	240
Mrazicí box Trigon plus ULTF 320	300	60	-
Pec BVD – popouštění	700	1 440	-
CNC Hardinge T-65 SP MYT	3 000	90	90
CNC Chiron FZ 12 FX	2 500	15	15
Laser Medicom LD50-C	2 000	0,5	0,5
Precisionlap 900	700	180	180
Jenoptik Roundscan 555 HR	1 200	15	15
Zeiss PRISMO ultra	1 200	15	15

Z údajů uvedených v tabulce je možné vypočítat náklady na provoz stroje včetně nástrojů pomocí vzorce 5.3. V tabulce 5.3 jsou uvedeny i náklady na hodinu provozu strojů pro tepelné zpracování, kde však dochází ke zpracování více kusů najednou. Z tohoto důvodu budou náklady na jejich provoz děleny výrobní dávkou 10 kusů. Výpočty dle vzorce 5.3 jsou uvedeny v tabulce 5.4.

$$N = \frac{N_{hs}}{60} \cdot T_x \text{ [Kč} \cdot \text{ks}^{-1}\text{]} \quad (5.3)$$

Tab. 5.4 Náklady na výrobu jednoho kusu dle stávajícího ( $N_1$ ) a nového ( $N_2$ ) postupu

Stroj/vybavení	Náklady na výrobu jednoho kusu $N_1$ [Kč]	Náklady na výrobu jednoho kusu $N_2$ [Kč]
Kasto SBA 260 AU	110	110
CNC Hyundai-Kia SKT 28	2 358	1 578
Pec BVD – žihání	245	280
Mrazicí box Trigon plus ULTF 320	30	-
Pec BVD – popouštění	1 680	-
CNC Hardinge T-65 SP MYT	4 500	4 500
CNC Chiron FZ 12 FX	625	625
Laser Medicom LD50-C	17	17
Precisionlap 900	2 100	2 100
Jenoptik Roundscan 555 HR	300	300
Zeiss PRISMO ultra	300	300
Hardinge 25C 8" EDC	-	430
Součet	12 265	10 240

K nákladům na výrobu distančního kroužku dle nového postupu je nutné započítat cenu přídatného stahovacího pouzdra Hardinge 25C 8" EDC. Toto stahovací pouzdro včetně uzávěru není standardním vybavením stroje a jeho cena na stránkách výrobce [66, 71] je 1 720 dolarů, což je přibližně 43 000 Kč. Část této sumy se musí započítat do každého vyrobeného kusu. Vzhledem k neznalosti přesného počtu požadovaných kusů v nadcházejících letech bude tato částka přičtena k výrobě sta kusů, což představuje zvýšení nákladů na jeden kus o 430 Kč.

### 5.3 Logistika po firmě

Jak již bylo zmíněno, distanční kroužek je vyráběn na celé řadě strojů a je tedy zapotřebí vzít do úvahy náklady na převoz součásti mezi jednotlivými pracovišti. Logistika materiálu po firmě je zajištěna elektrickými vysokozdvíhnými vozíky. Cena za hodinu provozu elektrického vysokozdvíhného vozíku je 200 Kč. Čas přepravy mezi jednotlivými pracovišti pro výrobu distančního kroužku dle stávajícího ( $T_1$ ) a nového ( $T_2$ ) technologického postupu je uveden v tabulce 5.5.

Tab. 5.5 Časy přepravy mezi pracovišti dle stávajícího ( $T_1$ ) a nového ( $T_2$ ) postupu

Trasy přepravy	Čas přepravy $T_1$ [min]	Čas přepravy $T_2$ [min]
sklad → pásová pila	15	15
pásová pila → CNC soustruh	10	10
CNC soustruh → pec – žihání	10	10
pec – žihání → mrazicí box	5	-
mrazicí box → pec – popouštění	5	-
pec – popouštění (pec – žihání) → CNC soustruh	10	10
CNC soustruh → CNC frézka	5	5
CNC frézka → dílna	10	10
dílna → popis součásti	10	10
popis součásti → leštění	15	15
leštění → lapování	5	5
lapování → OTK	10	10
OTK → sklad	15	15
Součet	125	115

Náklady na přepravu mezi jednotlivými pracovišti se vypočítají dle vztahu 5.4.

$$N_p = \frac{\sum T_x}{60} \cdot 200 \text{ [Kč} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (5.4)$$

Dle tohoto vzorce jsou náklady na přepravu po firmě dle stávajícího technologického postupu 417 Kč, zatímco dle nového 383 Kč.

## 5.4 Mzdy pracovníků

Pro zjednodušení výpočtu mzdy pracovníků budeme uvažovat, že u každého stroje pracuje jeden pracovník. Dalším zjednodušením je využití jedno strojové obsluhy z důvodu výpočtu nákladu na mzdy pracovníků za výrobu pouze této součásti. Reálně bude výroba probíhat u některých operací s více strojovou obsluhou vzhledem k vysoké časové náročnosti výroby distančního kroužku na CNC. Pracovník u stroje je placen dle náročnosti obsluhy daného stroje. Hodinové mzdy jsou uvedeny v tabulce 5.6. Všechny mzdy jsou uváděny jako superhrubé a představují tak konečné náklady firmy na zaměstnance.

Tab. 5.6 Superhrubé hodinové mzdy pracovníků

Pracovník	Hodinová mzda $N_h$ [Kč/h]
operátor pásové pily	200
operátor CNC SKT 28	200
operátor pece BVD	250
operátor mrazícího boxu	200
operátor CNC Hardinge	250
operátor CNC Chiron	250
zámečník	300
operátor laseru	250
operátor stroje na leštění	200
OTK	200
řidič vysokozdvížného vozíku	200

K výpočtu mezd je nutné znát čas, za který pracovník vyrobí distanční kroužek. Tento čas se skládá z jednotkového času  $t_{AC}$  a dávkového času  $t_{BC}$  s přírůžkou času směnového. Koeficient přírůžky směnového času vypočítáme z času směny  $T_{sm}$  pro běžnou osmi hodinovou směnu (480 minut) a přestávek na úklid a osobní potřeby dle vzorce 5.5. Na přestávky na úklid pracoviště budeme počítat s 20 minutami a na osobní potřeby 15 minut, což je v součtu 35 minut. [72]

$$k_c = \frac{T_{sm}}{T_{sm} - t_c} = \frac{480}{480 - 35} \cong 1,08 \quad (5.5)$$

V tabulce 5.7 jsou uvedeny jednotkové časy  $t_A$  a dávkové časy  $t_B$  pro stávající ( $t_{A1}$ ,  $t_{B1}$ ) i nový ( $t_{A2}$ ,  $t_{B2}$ ) výrobní postup, které se následně dosadí do vzorce 5.6, resp. 5.7. Jednotkový čas zahrnuje čas výroby součásti a nezbytně nutné přestávky (případně podmíněně nutné přestávky). Dávkový čas představuje dobu nutnou k nastudování výrobní dokumentace, seřízení stroje, zajištění nástrojů a náradí. K časům operace z tabulky 5.3 byly přičteny časy na nezbytně nutné přestávky tak, aby v přepočtu na normální pracovní dobu činili 25 minut. Přestávky nejsou započítané u operací tepelného zpracování vzhledem k velkému času operace a snadnosti práce.

U operace popouštění dle stávajícího technologického postupu (24 hodin) je počítáno s časem jedné směny. [72]

Tab. 5.7 Jednotkový a dávkový čas práce

Pracovník	Jednotkový čas $t_{A1} / t_{A2}$ [min]	Dávkový čas $t_{B1} / t_{B2}$ [min]
operátor pásové pily	11,57	10
operátor CNC SKT 28	82,7 / 55,34	15
operátor pece – žihání	210/240	10
operátor mrazícího boxu	60 / -	5 / -
operátor pece – popouštění	480 / -	10 / -
operátor CNC Hardinge	94,69	15
operátor CNC Chiron	15,78	15
zámečnick	6,31	10
operátor laseru	0,53	5
operátor stroje na leštění	189,38	10
zámečnick – lapování	15,78	10
OTK	15,78	10
řidič vysokozdvizného vozíku	131,51 / 121	10

Jednotkový a dávkový čas s přírůžkou směnového času získáme dle vztahu 5.6, resp. 5.7. Celkový čas operace se vypočítá jako součet těchto času, kde dávkový čas s přírůžkou času směnového je podělen velikostí výrobní dávky (viz rovnice 5.8). [72] Do těchto vzorců jsou vzorově dosazeny jednotkové a dávkové časy operace na pásové pile. Zbývající hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5.8.

$$t_{AC} = t_A \cdot k_C = 11,57 \cdot 1,08 = 12,5 \text{ [min]} \quad (5.6)$$

$$t_{BC} = t_B \cdot k_C = 10 \cdot 1,08 = 10,8 \text{ [min]} \quad (5.7)$$

$$t_{op} = t_{AC} + \frac{t_{BC}}{d_v} = 12,5 + \frac{10,8}{10} = 13,58 \text{ [min]} \quad (5.8)$$

Tab. 5.8 Velikosti jednotkového a dávkového času s přírůžkou směnového a času operace

Pracovník	Jednotkový čas s přírůžkou času směnového $t_{AC1} / t_{AC2}$ [min]	Dávkový čas s přírůžkou času směnového $t_{BC1} / t_{BC2}$ [min]	Čas operace $t_{op1} / t_{op2}$ [min]
operátor pásové pily	12,5	10,8	13,58
operátor CNC SKT 28	89,3 / 59,77	16,2	90,92 / 61,39
operátor pece – žihání	226 / 259,2	10,8	227,1 / 260,28
operátor mrazícího boxu	64,8 / -	5,4 / -	65,34 / -
operátor pece – popouštění	518,4 / -	10,8 / -	519,48 / -
operátor CNC Hardinge	102,27	16,2	103,89
operátor CNC Chiron	17,04	16,2	18,66
zámečnick	6,82	10,8	7,9
operátor laseru	0,57	5,4	1,11
operátor stroje na leštění	204,53	10,8	205,61
zámečnick – lapování	17,04	10,8	18,12
OTK	17,04	10,8	18,12
řidič vysokozdvizného vozíku	142,03 / 130,68	10,8	143,38 / 131,76

Vynásobením času operace hodinovou mzdou dostáváme celkové náklady na mzdy pracovníků. Tyto mzdy zaokrouhlené na koruny jsou uvedené pro oba postupy v tabulce 5.9.

Tab. 5.9 Náklady na mzdy pracovníků

Pracovník	Náklady na mzdy $N_{m1}$ [Kč]	Náklady na mzdy $N_{m2}$ [Kč]
operátor pásové pily	45	45
operátor CNC SKT 28	303	205
operátor pece – žíhání	946	1 085
operátor mrazícího boxu	218	-
operátor pece – popouštění	2 165	-
operátor CNC Hardinge	433	433
operátor CNC Chiron	78	78
zámečnick	40	40
operátor laseru	5	5
operátor stroje na leštění	685	685
zámečnick – lapování	91	91
OTK	60	60
řidič vysokozdvížného vozíku	478	439
Součet	5 547	3 166

## 5.5 Celkové náklady

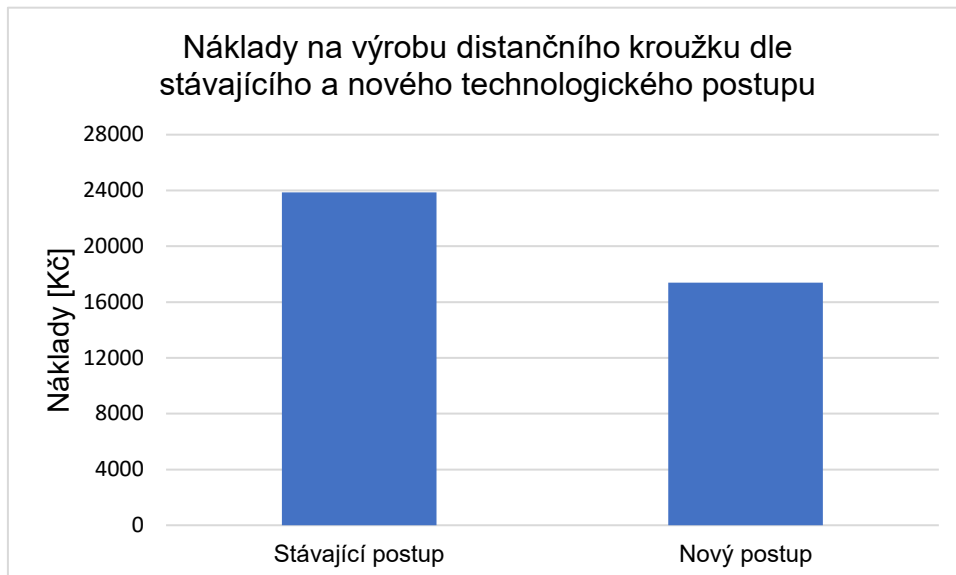
Celkové náklady se stanoví jako součet výše zmíněných výpočtů pro stávající i nový technologický postup. Náklady na výrobu jednoho distančního kroužku jsou uvedeny v tabulce 5.10.

Tab. 5.10 Celkové náklady na výrobu distančního kroužku

Náklady	Stávající postup [Kč]	Nový postup [Kč]
polotovary	5 645	3 592
provoz stroje, nástroje	12 265	10 240
přeprava po firmě	417	383
mzdy zaměstnanců	5 547	3 166
celkem	23 874	17 811

Z tabulky 5.10 je patrné, že v novém technologickém postupu byla ušetřena značná část financí. Rozdíl v nákladech na výrobu jednoho distančního kroužku představuje 6 493 Kč, což je snížení nákladů o více než 27 % oproti původnímu postupu. Výsledky byly zpracovány do grafu, který je zobrazen na obrázku 5.1. V tabulce 5.11 jsou následně uvedeny náklady na výrobu 10, 20, 50 a 100 kusů dle stávajícího i nového technologického postupu včetně úspory.





Obr. 5.1 Náklady na výrobu distančního kroužku dle stávajícího a nového technologického postupu

Tab. 5.11 Náklady na výrobu 10, 20, 50 a 100 kusů včetně úspory

Počet kusů	Náklady na výrobu dle stávajícího technologického postupu [Kč]	Náklady na výrobu dle nového technologického postupu [Kč]	Úspora [Kč]
10	238 740	173 810	64 930
20	477 480	347 620	129 860
50	1 193 700	869 050	324 650
100	2 387 400	1 738 100	649 300

## ZÁVĚRY

Hlavním problémem při výrobě distančního kroužku jsou jeho předepsané geometrické tolerance rovinnosti, kruhovitosti, kolmosti, rovnoběžnosti a házení o velikosti 0,005 mm a jeho velký průměr 212 mm. Distanční kroužek je dle požadavku firmy vyráběn z martenzitické korozivzdorné oceli 1.4057 zušlechtěné na stav QT800. Vyhovující alternativou byla austenitická korozivzdorná ocel 1.4301, která však nebyla použita v žádném postupu z důvodu nižší tvrdosti a větší teplotní roztažnosti.

Dle stávajícího technologického postupu bylo vyrobeno a změřeno šest distančních kroužků. Z předepsaných geometrických tolerancí bylo u všech kusů překročeno toleranční pole u rovinnosti pravého čela a házení radiusu 0,5 mm. Průměrná hodnota překročení tolerančního pole u rovinnosti pravého čela byla 1,42  $\mu\text{m}$  a u házení R0,5 2,88  $\mu\text{m}$ .

Vzhledem k požadavkům na přesnost a tvar byl distanční kroužek vyroben pomocí soustružení, frézování, vrtání, leštění a lapování. Mezi hrubovacím a dokončovacím soustružením byla součást tepelně zpracována kvůli odstranění pnutí a stabilizaci rozměrů. Překročení tolerančního pole u geometrických tolerancí bylo zapříčiněno pravděpodobně již během soustružení, kterému bylo při tvorbě nového technologického postupu věnováno nejvíce pozornosti.

Z rozboru stávajícího technologického postupu byly zjištěny možné příčiny problému. První z nich je upínání obrobku za vysoustružený čep o průměru 65 mm při dokončovacím soustružení pomocí stahovacího pouzdra. Takové upínání není vhodné kvůli jeho nízké tuhosti, pevnosti a také nutnosti použití většího polotovaru. Dalším problémem stávajícího technologického postupu bylo tepelné zpracování součásti, které zahrnovalo žihání na odstranění pnutí, zmrazování a popouštění. Teplota žihání na odstranění pnutí byla příliš vysoká (850 °C). Důvodem pro tepelné zpracování součásti zmrazováním a následně popouštěním je minimalizace obsahu zbytkového austenitu ve struktuře, a tím rozměrové stabilizaci obrobku. Tato ocel má však malý obsah uhlíku, a proto bude koncentrace zbytkového austenitu v oceli minimální i bez tohoto tepelného zpracování.

V novém technologickém postupu bylo změněno upínání součásti při dokončovacím soustružení. Jako nejvhodnější se jevílo upnutí obrobku za jeho průměr 177 mm. K tomuto účelu bylo zakoupeno přídavné stahovací pouzdro umožňující upnutí součásti až o průměru osmi palců (203,2 mm). Tímto způsobem upnutí obrobku došlo ke zmenšení polotovaru o 32 %. Z tepelného zpracování bylo zachováno pouze žihání ke snížení pnutí se sníženou teplotou ohřevu (700 °C), z důvodu rozsáhlého hrubování součásti, při kterém bylo odebráno necelých 18 kg materiálu. Novým technologickým postupem byly vyrobeny a změřeny pouhé tři kusy. Dle výsledků měření byly některé geometrické tolerance překročeny. Velikost překročení tolerančního pole byla však výrazně menší, než tomu bylo u stávajícího postupu a ve většině případů nepřekračuje 1  $\mu\text{m}$ . Výrazného zlepšení se docílilo u rovinnosti pravého čela, kdy toleranční pole 5  $\mu\text{m}$  bylo dodrženo u všech kusů. Geometrická tolerance házení R0,5 byla splněna u jednoho kusu, přičemž hodnoty překročení tolerančního pole u zbylých kusů byly v porovnání s původními hodnotami značně nižší.

Nový výrobní postup lze dle výsledků měření považovat za přesnější, i když nebyly odstraněny všechny nepřesnosti výroby. Oddělení technologie výroby ve firmě Meopta tyto výsledky shledalo jako dostačující a distanční kroužek bude vyráběn podle nového technologického postupu.

Při výrobě součásti dle nového technologického postupu budou náklady na výrobu distančního kroužku nižší o 6 493 Kč, především z důvodu zmenšení polotovaru a zjednodušení tepelného zpracování.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SVOBODA, Rostislav. Přesnost CNC stroje. *Factory automation* [online]. 2015 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/presnost-cnc-stroje-dnes-dokaze-pracovat-i-na-nanometry/>
2. *Meopta – Optika, s.r.o.* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.meopta.com/cz/presne-strojni-obrabeni-a-tepelne-zpracovani/>
3. *Meopta – Optika, s.r.o.* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.meopta.com/cz/povrchove-upravy/>
4. DRASTÍK, František. *Přesnost strojních součástí podle mezinárodních norem: tolerování rozměrů a geometrických vlastností*. Ostrava: Montanex, 1996. ISBN 80-85780-18-6.
5. Interní dokument o měření geometrických tolerancí podle stávajícího technologického postupu firmy Meopta – Optika, s.r.o.
6. Korozivzdorná martenzitická chromová zušlechťená ocel (1.4057). *Www.kipp.cz* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Slu%C5%BEby/P%C5%99ehled-materi%C3%A1l%C5%AF/nerezov%C3%A1-ocel/pid.1097.1108.1244.8092.8186/1-4057-Edelstahl.html>
7. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II. 2., opr. a rozš. vyd.* Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
8. *Korozivzdorné oceli - ČSN EN 10088: Materiálový list oceli 1.4057*. 2015.
9. Převodní tabulky. *Www.matezex.cz* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.matezex.cz/prevodni-tabulky.html#normy>
10. Korozivzdorná austenitická chrom-niklová ocel (1.4301). *Www.kipp.cz* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Slu%C5%BEby/P%C5%99ehled-materi%C3%A1l%C5%AF/nerezov%C3%A1-ocel/pid.1097.1108.1244.8092.8192/1-4301-Edelstahl.html>
11. Specifikace korozivzdorných materiálů. *Www.armat.cz* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://armat.cz/pdf/specifikace-nerezovych-oceli-chemicke-slozeni.pdf>
12. *Korozivzdorné oceli – ČSN EN 10088: Materiálový list oceli 1.4301*. 2015.
13. SECO TOOLS CZ. *Obrábění nerezových ocelí: příručka pro technology*. Česko]: Seco Tools CZ, s. r. o, 2012, 19 s.
14. Korozivzdorné oceli – vlastnosti. *Www.cedinox.es* [online]. 2002 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: [http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/StainlessSteelProperties\\_CZ.pdf](http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/StainlessSteelProperties_CZ.pdf)

15. PŘIKRYL, Zdeněk a Rosa MUSÍLKOVÁ. *Teorie obrábění*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 227 s.
16. KUDELA, Miroslav. SANDVIK COROMANT. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. Praha: Scientia, 1997. ISBN 91-972299-4-6.
17. STRNAD, Tomáš. *Obrobitelnost austenitické ocele* [online]. Plzeň, 2011 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/22585612-Fakulta-strojnicka-technologie-obrabeni.html>
18. MIKOVEC, Miroslav. *Obrábění materiálu s velkou pevností a tvrdostí*. Praha: SNTL, 1982, 196 s.
19. HUMÁR, Anton. *Technologie I technologie obrábění – 1. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. Brno: VUT v Brně, 2003, 138 s. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1441/jaro2011/DT3MK\\_STR3/um/TI\\_TO-1cast.pdf](https://is.muni.cz/el/1441/jaro2011/DT3MK_STR3/um/TI_TO-1cast.pdf)
20. *Technologie II - 2. díl* [online]. Ostrava: VŠB v Ostravě [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: [http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta\\_Technologie\\_II\\_2dil.pdf](http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf)
21. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
22. MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. *Základy technologie II*. Praha: ČVUT v Praze, 2002, 55 s. ISBN 80-01-02610-8.
23. HUMÁR, Anton. *Technologie I technologie obrábění – 2. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. Brno: VUT v Brně, 2004, 95 s. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1441/jaro2011/DT3MK\\_STR3/um/TI\\_TO-2cast.pdf](https://is.muni.cz/el/1441/jaro2011/DT3MK_STR3/um/TI_TO-2cast.pdf)
24. ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3, 1. díl: Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. Praha: Scientia, spol. s.r.o., 2000, 257 s. ISBN 80-7183-207-3.
25. *Leštění* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1387>
26. MÁDL, Jan, Jindřich KAFKA, Martin VRABEC a Rudolf DVOŘÁK. *Technologie obrábění 3. díl*. ČVUT. Praha, 2000, 80 s. ISBN 80-01-02-091-6.
27. ŘASA, Jaroslav, Vladimír GABRIEL a Přemysl POKORNÝ. *Strojírenská technologie 3, 2. díl: Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění*. Praha: Scientia, spol. s.r.r., 2001, 222 s. ISBN 80-7183-227-8.
28. *Lapování* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1385>

29. HUMÁR, Anton. *Technologie I technologie obrábění – 3. část: Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program* [online]. Brno: VUT v Brně, 2005, 57 s. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/13479-Technologie-i-technologie-obrabeni-3-cast.html>
30. *Lapovací kotouč* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/15230677/92/images/1/Lapov%C3%A1n%C3%AAD.jpg>
31. *Stávající technologický postup pro výrobu distančního kroužku: Meopta – Optika, s.r.o.* Přerov, 2019.
32. ZEMČÍK, Oskar. *Technologické procesy: Učební texty kombinovaného bakalářského studia* [online]. Brno: VUT v Brně [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TechnProcesy.pdf>
33. Vlastnosti materiálu 1.4057. *Www.rodacciai.com* [online]. 2018 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: [https://www.rodacciai.com/UPLOAD/datasheets/431\\_X17CrNi16-2-Nr.1.4057-ENG.pdf](https://www.rodacciai.com/UPLOAD/datasheets/431_X17CrNi16-2-Nr.1.4057-ENG.pdf)
34. Tyčové materiály. *Www.nerezove-materialy.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.nerezove-materialy.cz/app/uploads/2020/03/nm-tycove-materialy.pdf>
35. Pásová pila Kasto SBA 260 AU. *Www.machinetools.com* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.machinetools.com/en/models/kasto-sba-260-au#listings>
36. Pásová pila Kasto SBA 260 AU. *Www.machineseecker.cz* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.machineseecker.cz/kasto-sba+260+au/i-4133936>
37. CNC soustruh Hyundai-Kia SKT 28. *Www.profika.cz* [online]. 2006 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.profika.cz/media/cache/file/60/2006-profika-hyundai-skt28.pdf>
38. *CNC soustružnická centra Hyundai-Kia série SKT28* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <http://docplayer.net/41953947-Skt28-series-skt28-28l-28lm.html>
39. VBD vrták SD523-30-90-32R7. In: *Www.secotools.com* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: [https://www.secotools.com/article/p\\_03080632?language=en](https://www.secotools.com/article/p_03080632?language=en)
40. VBD SPGX0903-C1 T400D. In: *Www.secotools.com* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: [https://www.secotools.com/article/p\\_74077373?language=en](https://www.secotools.com/article/p_74077373?language=en)
41. VBD SCGX09T308-P2 DP3000. In: *Www.secotools.com* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: [https://www.secotools.com/article/p\\_02807359](https://www.secotools.com/article/p_02807359)

42. Komorové pece BVD. *Www.bvd.cz* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <http://www.bvd.cz/komorove-pece>
43. MAZANCOVÁ, Eva. *Technické materiály I. Kovové materiály: učební text*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012, 150 s. ISBN 978-80-248-2577-9. Dostupné také z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/TM1/Technicke%20materialy%20I.pdf>
44. Hluboko mrazící box. *Www.arctiko.com* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.arctiko.com/products/86-c-ultra-low-temperature-freezers/ultf-320/>
45. DORAZIL, Eduard. *Nauka o materiálu I: přednášky*. Vyd. 2. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1986, 247 s.
46. KRAUS, Václav. *Tepelné zpracování a slinování*. 3. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013, 272 s. ISBN 978-80-261-0260-1.
47. *Tepelné zpracování martenzitické oceli* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.knife.cz/Default.aspx?tabid=53&g=posts&t=10415>
48. CNC soustružnické centrum Hardinge série T. *Www.hardinge.com* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: [https://www.hardinge.com/wp-content/uploads/1376A\\_TSeries.pdf](https://www.hardinge.com/wp-content/uploads/1376A_TSeries.pdf)
49. CNC soustružnické centrum Hardinge série T. In: *Www.hardinge.com* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.hardinge.com/product/turning/t-series/>
50. Stahovací pouzdro 25C Collet 65MM. In: *Www.shophardinge.com* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: [https://www.shophardinge.com/product.aspx?partNo=18010017650000&img=/assets/images/ProductShots/2/25C\\_RdSm\\_1814E\\_400.jpg](https://www.shophardinge.com/product.aspx?partNo=18010017650000&img=/assets/images/ProductShots/2/25C_RdSm_1814E_400.jpg)
51. Vnitřní nůž A32T-SDUCR11-X. In: *Www.walter-tools.com* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/cs-cz/search/pages/default.aspx#/product/A32T-SDUCR11-X>
52. Radiální zapichovací nůž G1011.2525L-3T21GX24. In: *Www.walter-tools.com* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/cs-cz/search/pages/default.aspx#/product/G1011.2525L-3T21GX24?query=%7B%22t%22:%22INS%22%7D>
53. VBD DGR 3000ZS-6D. *Www.iscar.com* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=6003288&fnum=2260&map p=TG&app=0&GFSTYP=M&isoD=1>



- 
54. VBD DCMT11T308-FM6 WSM20S. *Www.walter-tools.com* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/en-gb/search/pages/default.aspx?m=7054143#/product/DCMT11T308-FM6%20WSM20S>
  55. CNC obráběcí centra Chiron. In: *Www.chiron.de* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://chiron.de/en/products/machine-tools/the-12-series>
  56. CNC obráběcí centra Chiron. *Www.chiron.de* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: [https://chiron.de/pdf/series/series\\_12\\_en.pdf](https://chiron.de/pdf/series/series_12_en.pdf)
  57. Nd:YAG lasery. *Www.medicom.cz* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: [http://www.medicom.cz/p.php?p=prumyslove.aplikace.laser.laser\\_ndyag](http://www.medicom.cz/p.php?p=prumyslove.aplikace.laser.laser_ndyag)
  58. LASERdiode LD50C – laserová popisovací stanice. *Www.medicom.cz* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <http://www.medicom.cz/p.php?p=prumyslove,produkty,popislaser,laserdiode>
  59. Precisionlap 900. *Www.libertymachinery.com* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://libertymachinery.com/product/precisionlap-900-lapmaster-lapping-machine/>
  60. *Precisionlap 900* [online]. In: . [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://d2kheye74qe786.cloudfront.net/data/1554450333/images/slides/slide-8142big.jpg>
  61. Zeiss Prismo. *Www.applications.zeiss.com* [online]. 2019 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: [https://applications.zeiss.com/C1257A26006EFF9E/0/A48C7690AB33FD87C1257A45002E8B32/\\$FILE/PRISMO\\_EN\\_60\\_022\\_0336XIII.pdf](https://applications.zeiss.com/C1257A26006EFF9E/0/A48C7690AB33FD87C1257A45002E8B32/$FILE/PRISMO_EN_60_022_0336XIII.pdf)
  62. Zeiss Prismo ultra. In: *Www.zeiss.com* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.zeiss.com/metrology/products/systems/coordinate-measuring-machines/bridge-type-cmms/prismo.html#successstories>
  63. Formline Roundscan 555. *Www.jenoptik.cz* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.jenoptik.cz/cz/produkty/mereni-uchylek-polohy-tvaru/formline-roundscan-r535-555-590/>
  64. Formline Roundscan 555. *Www.koda.ua* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <http://www.koda.ua/eng/products/desc.html?id=998>
  65. JECH, Jaroslav. *Tepelné zpracování oceli*. 4. vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1983, 392 s.
  66. Stahovací pouzdro 25C 8" EDC. *Www.shophardinge.com* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.shophardinge.com/product.aspx?partNo=14470010000000>
  67. Interní dokumenty o měření geometrických tolerancí dle nového technologického postupu firmy Meopta – Optika, s.r.o.
-

- 
68. Tyčový materiál 1.4057. *Www.inerez.cz* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.inerez.cz/hledani/?search=1.4057+>
69. OSIČKA, Karel. *Technologické a ekonomické aspekty provozu CNC obráběcích strojů* [přednáška]. Brno: VUT, 3.2.2020.
70. *Náklady na výrobu distančního kroužku: Meopta – Optika, s.r.o.* Přerov, 2019.
71. Uzávěr stahovacího pouzdra 25C 8" EDC. *Www.shophardinge.com* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.shophardinge.com/product.aspx?partNo=14490000000000>
72. NĚMEC, Vladimír. *Projektový management*. Grada, 2002, 182 s. ISBN 80-247-0392-0. Dostupné také z: [https://books.google.cz/books?id=WDZ1zvQuKw4C&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cz/books?id=WDZ1zvQuKw4C&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CNC	-	Computer Numerical Control – číslicové řízení strojů pomocí počítače
DIN	-	německé normy
ČSN	-	České státní normy
QT	-	Quenched, Tempered – Kaleno a popouštěno
C	-	Uhlík
Si	-	Křemík
Mn	-	Mangan
P	-	Fosfor
S	-	Síra
Cr	-	Chrom
Ni	-	Nikl
N	-	Dusík
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	Oxid hlinitý
SiC	-	Karbid křemíku
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	Oxid chromitý
ULTF	-	Ultra low temperature freezer = hluboko mrazící zařízení
Nd:YAG	-	Laser s aktivní látkou Yttrium Aluminium Granát obohacený o prvek neodým
OTK	-	Oddělení technické kontroly
VBD	-	Vyměnitelná břitová destička
R <sub>p0,2</sub>	MPa	Nevýrazná mez kluzu
R <sub>m</sub>	MPa	Mez pevnosti
A	%	Tažnost
KV	J	Nárazová práce
ρ	kg·m <sup>-3</sup>	Hustota
c <sub>p</sub>	J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	Měrná tepelná kapacita
α	K <sup>-1</sup>	Teplotní součinitel roztažnosti
λ <sub>t</sub>	W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	Tepelná vodivost
v <sub>c</sub>	m·min <sup>-1</sup>	Řezná rychlost
D	mm	Průměr obráběné plochy
π	-	Pí ≈ 3,14
n	min <sup>-1</sup>	Otáčky
v <sub>f</sub>	mm·min <sup>-1</sup>	Rychlost posuvu
f	mm	Posuv
v <sub>e</sub>	m·min <sup>-1</sup>	Velikost celkové rychlosti
a <sub>p</sub>	mm	Šířka záběru ostří
d	mm	Průměr obrobené plochy
L	mm	Délka obráběné plochy
l	mm	Délka obrobené plochy
b <sub>d</sub>	mm	Jmenovitá šířka třísky
h <sub>d</sub>	mm	Jmenovitá tloušťka třísky
A <sub>D</sub>	mm <sup>2</sup>	Průřez třísky
K <sub>r</sub>	°	Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří
F <sub>C</sub>	N	Řezná síla

$F_f$	N	Posuvová síla
$F_p$	N	Pasivní síla
$C_{F_c, F_f, F_p}$	-	Materiálové konstanty
$X_{F_c, F_f, F_p}$	-	Exponenty vlivu šířky záběru
$y_{F_c, F_f, F_p}$	-	Exponenty vlivu posuvu
$F$	N	Celková řezná síla
$k_c$	MPa	Měrný řezný odpor
$f_z$	mm	Posuv na zub
$f_n$	mm	Posuv na otáčku
$Z$	-	Počet zubů frézy
$h_i$	mm	Tloušťka třísky v závislosti na pootočení nástroje
$\varphi_i$	°	Úhel posuvového pohybu
$A_{Di}$	mm <sup>2</sup>	Průřez třísky v daném bodě
$\varphi_{max}$	°	Maximální úhel posuvového pohybu
$h_{max}$	mm	Maximální tloušťka třísky
$H$	mm	Výška obrobku
$x$	-	Exponent vlivu tloušťky třísky
$M_k$	N·mm	Krouticí moment k ose nástroje
$C_M$	-	Konstanta z empirického vztahu pro výpočet $M_k$
$x_M$	-	Exponent ze vztahu pro výpočet $M_k$
$R_a$	μm	Střední aritmetická odchylka profilu
$\rho$	mm	Přídavek na obrobení
$D_{max}$	mm	Maximální průměr obrobku
$V$	m <sup>3</sup>	Objem
$m$	kg	Hmotnost
$y$	ks	Počet kusů polotovaru z jedné tyče
$L_t$	mm	Délka tyče
$L_p$	mm	Délka polotovaru
$u$	mm	Šířka pilového pásu
$N_{hs}$	Kč·h <sup>-1</sup>	Náklady na hodinu provozu
$S$	Kč·h <sup>-1</sup>	Fixní hodinová sazba
$C$	Kč	Požizovací cena stroje
$N_i$	Kč	Náklady na instalaci stroje
$N_d$	Kč	Náklady na demontáž stroje
$L_i$	Kč	Likvidační hodnota stroje
$Z$	h	Doba životnosti
$E_{ef}$	h	Efektivní časový fond stroje za rok
$T_1$	min	Čas operace dle stávajícího technologického postupu
$T_2$	min	Čas operace dle nového technologického postupu
$N_1$	Kč	Náklady na výrobu jednoho kusu dle stávajícího technologického postupu
$N_2$	Kč	Náklady na výrobu jednoho kusu dle nového technologického postupu
$N_P$	Kč	Náklady na přepravu
$N_h$	Kč·h <sup>-1</sup>	Hodinová mzda
$t_{AC}$	min	Jednotkový čas s přírážkou času směnového
$t_{BC}$	min	Dávkový čas s přírážkou času směnového
$T_{sm}$	min	Délka směny

---

$t_c$	min	Přestávky na úklid a osobní potřebu
$k_c$	-	Koeficient přírážky směnového času
$t_A$	min	Jednotkový čas
$t_B$	min	Dávkový čas
$d_v$	-	Velikost výrobní dávky
$t_{op}$	min	Celkový čas operace
$N_{m1}$	Kč	Náklady na mzdy dle stávajícího technologického postupu
$N_{m2}$	Kč	Náklady na mzdy dle nového technologického postupu

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Výkres součásti distanční kroužek
- Příloha 2 Stávající technologický postup
- Příloha 3 Návrh nového technologického postupu