

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Návrh technologického postupu výroby zadané
součásti z materiálu INCONEL**

**Proposal of the Technological Manufacturing Process of
Given Part from the Material INCONEL**

Student : Kamil Dihel

Vedoucí bakalářské práce : Ing. et Ing. Mgr. Jana Petru, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Kamil Dihel**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh technologického postupu výroby zadané součásti z materiálu
INCONEL**
**Proposal of the Technological Manufacturing Process of Given Part from
the Material INCONEL**

Zásady pro vypracování.

1. Analýza současného stavu obrábění těžkoobrobitelných materiálů.
2. Návrh technologického postupu výroby zadané součásti.
3. Technicko-ekonomické zhodnocení.
4. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury

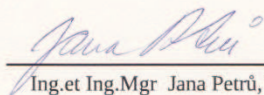
- [1] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] ČEP, R., BRYCHTA, J., SADÍLEK, M., NOVÁKOVÁ, J., PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava VŠB-TU Ostrava, 2007 s. 251. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] NESLUŠAN, M., TUREK, S., BRYCHTA, J., ČEP, R., TABAČEK, M. *Experimentálně metody v trieskovom obrábění*. Žilina EDIS Žilina, 2007 s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [5] WHITNEY, Daniel E. *Mechanical Assemblies Their Design, Manufacture, and Role in Product Development*. 2nd edition. New York Oxford University Press, 2004. 518. p. ISBN 0-19-515782-6.


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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing.et Ing.Mgr Jana Petrů, Ph.D.**

Datum zadání. 13.12.2013
Datum odevzdání. 19.05.2014




Ing.et Ing.Mgr Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry


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

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě : 14.5.2014



podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odstavec 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odstavec 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB- TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/198 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě14.5.2014.....



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Kamil Dihel

Adresa trvalého pobytu autora práce: Por. Hoši 513/64A, Kozmice, 74711

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

DIHEL, K. *Návrh technologického postupu výroby zadané součásti z materiálu INCONEL*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2014, 50 s. Bakalářská práce, vedoucí práce Jana Petřů.

Cílem bakalářské práce je navrhnout technologický postup výroby čepu kulového uzávěru z materiálu Inconel 718 ve firmě MSA, a.s. V první části je popsána problematika obrábění těžkoobrobitelných materiálů, respektive soustružení, frézování a rozbor vhodných řezných materiálů jako jsou slinuté karbidy, řezná keramika a polykrystalický kubický nitrid boru. Ve druhé části jsou uvedeny vlastnosti a složení použitého materiálu, navržené stroje, nástroje a technologický postup výroby. V poslední části jsou jednotlivé operace technologického postupu a vyrobeného dílce technicko-ekonomicky zhodnoceny dle norem ve firmě MSA, a.s.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

DIHEL, K. *Proposal of the Technological Manufacturing Process of Given Part from the Material INCONEL*. Ostrava: Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB / Technical University of Ostrava, 2014, 50 p. Bachelor thesis, head: Jana Petřů.

Goal of the bachelor thesis is to design technological process production pivot of ball valve made of Inconel 718 in the MSA, a.s. company. First part describes the issue of machining difficult to machine materials, respectively turning, milling and analysis of suitable cutting materials such as cemented carbide, cutting ceramics, and polycrystalline cubic boron nitride. The second part describes the properties and composition of the material, designed machinery, tools and technological manufacturing process. In the last part the individual operations of technological manufacturing and produced part technical - economic are evaluated according to the standards in the company MSA, a.s.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	8
ÚVOD.....	14
1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU OBRÁBĚNÍ TĚŽKO OBRÁBĚLÝCH MATERIÁLŮ.....	15
1.1 SOUSTRUŽENÍ	16
1.1.1 Vhodné nástroje pro soustružení.....	16
1.1.2 Geometrie nástroje.....	16
1.1.3 Řezné rychlosti a posuvy	18
1.2 FRÉZOVÁNÍ.....	20
1.2.1 Geometrie nástroje.....	21
1.2.2 Vhodné nástroje pro frézování	21
1.2.3 Řezné rychlosti a posuvy	22
1.3 ŘEZNÉ MATERIÁLY PRO OBRÁBĚNÍ TĚŽKO OBRÁBĚLÝCH KOVŮ	23
1.3.1 Slinuté karbidy.....	24
1.3.2 Řezná keramika	25
1.3.3 Polykrystalický kubický nitrid boru.....	26
2 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY ZADANÉ SOUČÁSTI	27
2.1 CHARAKTERISTIKA SPOLEČNOSTI MSA, A.S. RIMERA GROUP.....	27
2.2 CHARAKTERISTIKA OBROBKU	28
2.3 CHARAKTERISTIKA MATERIÁLU.....	28
2.4 VOLBA OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	29
2.4.1 Horizontální soustruh SPT 32 NC	30
2.4.2 Vodorovná vyvrtávačka W100	31
2.4.3 Horizontální obráběcí centrum MCFH 63	32
2.4.4 Univerzální hrotová bruska BUB 50/1000.....	33
2.5 NÁVRH VHODNÝCH NÁSTROJŮ.....	34
2.5.1 Nástroje pro soustružení	34
2.5.2 Nástroje pro frézování a vrtání	36
2.5.3 Nástroj pro broušení	40
2.6 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY	41
3 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	45
3.1 VÝPOČET PRO PRVNÍ OPERACI (VYVRTÁVÁNÍ).....	45

3.2	VÝPOČET PRO DRUHOU OPERACI (SOUSTRUŽENÍ).....	46
3.3	VÝPOČET PRO TŘETÍ OPERACI (VYVRTÁVÁNÍ).....	46
3.4	VÝPOČET PRO ČTVRTOU OPERACI (BROUŠENÍ).....	47
3.5	CENA MATERIÁLU	48
	ZÁVĚR	49
	POUŽITÁ LITERATURA:	50

Seznam použitých značek a symbolů

Značení	Význam	Jednotka
API	American Petroleum Institute	-
ANSI	American National Standards Institute	-
a_p	Hloubka řezu	mm
a_{p1}	Hloubka řezu čelní frézy	mm
a_{p2}	Hloubka řezu čelní rohové frézy	mm
a_{p3}	Hloubka řezu stopkové čelní frézy	mm
a_{p4}	Hloubka řezu stopkové čelní stopkové frézy pro dokončování	mm
b_1	Šířka držáku PCBNR 3225P 16	mm
b_2	Šířka držáku PCLNR 3225P 16	mm
b_3	Šířka držáku PDJNR 3225P 15	mm
b_4	Šířka držáku DDNNN 3225P 15	mm
b_{s4}	Šířka spodní hrany výměnné břitové destičky R390-11 T3 08M-PL 1030	
b_n	Zubová rozteč čelní stopkové frézy pro dokončování	mm
CVD	Chemical Vapor Deposition	-
C_1	Cena jednoho vyrobeného kusu	Kč
C_2	Cena všech vyrobených kusů dávky	Kč
ČSN	Česká státní norma	-
D	Průměr dílce	mm
d_{11}	Průměr řezné části vrtáku: 10 721 070	mm
d_{12}	Průměr navrtáváku	mm
d_{21}	Průměr upínací části vrtáku: 10 721 070	mm
d_{22}	Průměr špičky navrtáváku	mm
D_b	Průměr brusného kotouče	mm
D_c	Průměr frézy	mm
D_{c1}	Průměr čelní frézy	mm
D_{c11}	Programovací průměr čelní frézy	mm
D_{c2}	Průměr čelní rohové frézy	mm

Dc ₃	Průměr stopkové čelní frézy	mm
Dc ₄	Průměr čelní stopkové frézy pro dokončování	mm
Dc ₅	Průměr vrtáku: R846-0700-30-A1A	mm
DIN	Deutsche Industrie-Norm	-
dm _{m1}	Průměr upínací části čelní frézy	mm
dm _{m2}	Průměr upínací části čelní rohové frézy	mm
dm _{m3}	Průměr upínací části stopkové čelní frézy	mm
dm _{m4}	Průměr upínací části čelní stopkové frézy pro dokončování	mm
dm _{m5}	Průměr upínací části vrtáku: R846-0700-30-A1A	mm
f	Posuv	mm
f ₁₁	Šířka nástroje PCBNR 3225P 16	mm
f ₁₂	Šířka nástroje PCLNR 3225P 16	mm
f ₁₃	Šířka nástroje PDJNR 3225P 15	mm
f ₁₄	Šířka nástroje DDNNN 3225P 15	mm
f _{ot}	Posuv na otáčku	mm
f _z	Posuv na zub	mm
GOST	Národní norma	-
h ₁	Výška držáku PCBNR 3225P 16	mm
h ₁₁	Výška stopky pro PCBNR 3225P 16	mm
h ₁₂	Výška stopky pro PCLNR 3225P 16	mm
h ₁₃	Výška stopky pro PDJNR 3225P 15	mm
h ₁₄	Výška stopky pro DDNNN 3225P 15	mm
h ₂	Výška držáku PCLNR 3225P 16	mm
h ₃	Výška držáku PDJNR 3225P 15	mm
h ₄	Výška držáku DDNNN 3225P 15	mm
HB	Tvrдость podle Brinella	-
Hb	Průměr upínací části brusného kotouče	mm
HRB	Tvrдость podle Rockwella	-
HRC	Tvrдость podle Rockwella	-
HSC	Obrábění vysokými rychlostmi	-
iC ₁	Průměr vepsané kružnice výměnné břitové destičky CNMG 16 06 12-QM 1115	mm

iC ₂	Průměr vepsané kružnice výměnné břitové destičky DNMG 15 06 08-QM 1115	mm
iC ₃	Průměr vepsané kružnice výměnné břitové destičky R245-12 T3 M-PL 1030	mm
iW	Délka výměnné břitové destičky R390-11 T3 08M-PL 1030	
IT8-9	Toleranční stupeň přesnosti	μm
K	Délka zkosení vrtáku: 10 721 070	mm
k _c	Měrný odpor	$N \cdot mm^{-2}$
L	Délka součásti	mm
l ₁	Délka břitu výměnné břitové destičky CNMG 16 06 12-QM 1115	mm
l ₁₁	Délka nástroje PCBNR 3225P 16	mm
l ₁₂	Délka nástroje PCLNR 3225P 16	mm
l ₁₃	Délka nástroje PDJNR 3225P 15	mm
l ₁₄	Délka nástroje DDNNN 3225P 15	mm
l ₁₅	Programovací délka čelní frézy	mm
l ₁₆	Programovací délka čelní rohové frézy	mm
l ₁₇	Programovací délka stopkové čelní frézy	mm
l ₁₈	Délka vrtáku: 10 721 070	mm
l ₁₉	Délka navrtáváku	mm
l ₂	Délka břitu výměnné břitové destičky DNMG 15 06 08-QM 1115	mm
l ₂₁	Délka stopkové čelní frézy	mm
l ₂₂	Délka čelní stopkové frézy pro dokončování	mm
l ₂₃	Délka vrtáku: R846-0700-30-A1A	mm
l ₃	Délka břitu výměnné břitové destičky R245-12 T3 M-PL 1030	mm
l ₃₁	Šířka stopky pro PCBNR 3225P 16	mm
l ₃₂	Šířka stopky pro PCLNR 3225P 16	mm
l ₃₃	Šířka stopky pro PDJNR 3225P 15	mm
l ₃₄	Šířka stopky pro DDNNN 3225P 15	mm
l ₃₅	Délka stopky stopkové čelní frézy	mm
l ₄	Výška břitu výměnné břitové destičky R390-11	mm

	T3 08M-PL 1030	
l_6	Délka řezné části vrtáku: R846-0700-30-A1A	mm
m	Hmotnost materiálu	kg
n	Otáčky	min^{-1}
NC	Numeric control	-
P,M,K,N,S,H	Označení druhu řezného materiálu dle ISO 513:2002	-
PD	Polykrystalický diamant	-
PKNB	Polykrystalický kubický nitrid bóru	-
PVD	Physical Vapour Deposition	-
Ra	Průměrná aritmetická úchylka profilu	μm
$Re_{0,2}$	Mez kluzu	MPa
R_m	Mez pevnosti	MPa
RO	Rychlořezné oceli	-
r_s	Zaoblení řezné hrany	$^\circ$
$r_{\epsilon 1}$	Poloměr špičky výměnné břitové destičky CNMG 16 06 12-QM 1115	mm
$r_{\epsilon 2}$	Poloměr špičky výměnné břitové destičky DNMG 15 06 08-QM 1115	mm
$r_{\epsilon 3}$	Poloměr špičky výměnné břitové destičky R245-12 T3 M-PL 1030	mm
$r_{\epsilon 4}$	Poloměr špičky výměnné břitové destičky R390-11 T3 08M-PL 1030	mm
S	Plocha podstavy válce	dm^2
s_1	Tloušťka výměnné břitové destičky CNMG 16 06 12-QM 1115	mm
s_2	Tloušťka výměnné břitové destičky DNMG 15 06 08-QM 1115	mm
s_3	Tloušťka výměnné břitové destičky R245-12 T3 M-PL 1030	mm
s_4	Tloušťka výměnné břitové destičky R390-11 T3 08M-PL 1030	mm
SK	Slinutý karbid	-
t	Čas nepravidelné obsluhy	min

T	Šířka brusného kotouče	mm
Tb ₁	Přídavný čas první operace	min
Tb ₂	Přídavný čas druhé operace	min
Tb ₃	Přídavný čas třetí operace	min
Tb ₄	Přídavný čas čtvrté operace	min
Tc ₁	Suma vedlejších časů a strojních časů za první operaci	min
Tc ₂	Suma vedlejších časů a strojních časů za druhou operaci	min
Tc ₃	Suma vedlejších časů a strojních časů za třetí operaci	min
Tc ₄	Suma vedlejších časů a strojních časů za čtvrté operaci	min
Td ₁	Dávka přídavného času první operace	min
Td ₂	Dávka přídavného času druhé operace	min
Td ₃	Dávka přídavného času třetí operace	min
Td ₄	Dávka přídavného času čtvrté operace	min
Te ₁	Vyjádření převodu na normo-hodiny pro první operaci	h
Te ₂	Vyjádření převodu na normo-hodiny pro druhou operaci	h
Te ₃	Vyjádření převodu na normo-hodiny pro třetí operaci	h
Te ₄	Vyjádření převodu na normo-hodiny pro čtvrtou operaci	h
Tf ₁	Cena jednoho kusu za první operaci	Kč
Tf ₂	Cena jednoho kusu za druhou operaci	Kč
Tf ₃	Cena jednoho kusu za třetí operaci	Kč
Tf ₄	Cena jednoho kusu za čtvrtou operaci	Kč
Tg ₁	Cena všech kusů vyrobených za první operaci	Kč
Tg ₁	Cena všech kusů vyrobených za čtvrtou operaci	Kč
Tg ₂	Cena všech kusů vyrobených za druhou operaci	Kč
Tg ₃	Cena všech kusů vyrobených za třetí operaci	Kč
Ts ₁	Suma strojních časů první operace	min

T_{s2}	Suma strojních časů druhé operace	min
T_{s3}	Suma strojních časů třetí operace	min
T_{s4}	Suma strojních časů čtvrté operace	min
v_c	Řezná rychlost	$m \cdot min^{-1}$
z	Počet zubů frézy	-
α_f	Úhel hřbetu v rovině boční	°
α_p	Úhel hřbetu v rovině zadní	°
γ_f	Úhel čela v rovině boční	°
γ_p	Úhel čela v rovině zadní	°
κ	Vedlejší úhel nastavení	°
κ_r	Úhel nastavení	°
κ_{r1}	Úhel nastavení pro PCBNR 3225P 16	°
κ_{r2}	Úhel nastavení pro PCLNR 3225P 16	°
κ_{r3}	Úhel nastavení pro PDJNR 3225P 15	°
κ_{r4}	Úhel nastavení pro DDNNN 3225P 15	°
ρ	Hustota Inconelu 718	$kg \cdot m^{-3}$
π	Matematická konstanta	-

Úvod

V současné době se zvyšují požadavky na použité konstrukční materiály, jedním z nich je i superslitina Inconel 718. Materiál Inconel 718 je vytvrditelná slitina niklu s vynikajícími mechanickými vlastnostmi při zvýšených teplotách, stejně jako kryogenních teplotách. Tento materiál se původně používal pro kosmonautiku, ale dnes nachází i jiná uplatnění a to jak v leteckém průmyslu, tak i u turbodmychadel a ventilů.

Obrobitelnost tohoto materiálu je obtížná, díky své pevnosti a tendenci se při obrábění zpevňovat. I když je obrábění tohoto materiálu velice složité, tak materiálů, se kterými lze tuto slitinu obrábět, je dnes hojně zastoupení. Je třeba zvolit správnou firmu dodavatele obráběcích nástrojů, což dnes v době internetu není problém. Zároveň musí být daný obráběcí materiál cenově dostupný; z ekonomických důvodů není dobré volit příliš drahé materiály.

Obsahová náplň této práce je zaměřena na volbu vhodné technologie obrábění pro čep kulového uzávěru z materiálu Inconel 718. Úvodem je popsána analýza obrábění těžkoobrobitelných kovů, respektive obrábění soustružením, frézováním a rozbor materiálů pro obráběcí nástroje. Poté jsou vypsány vlastnosti obráběného materiálu, volba vhodných obráběcích strojů, nástrojů, technologického postupu a řezných podmínek. V závěru je uvedeno technicko-ekonomické zhodnocení, ve kterém je vypočtena přibližná cena výrobků.

1 Analýza současného stavu obrábění těžkoobrobitelných materiálů

Obrábění niklové slitiny Inconel 718 patří do skupiny tzv. superslitin je velice obtížné a řadí se do skupiny těžkoobrobitelných materiálů. Obrábění těchto slitin je velmi specifické jak z hlediska řezného nástroje, požadavků na obráběcí stroj, tak i podle použitých řezných podmínek. Důvody špatné obrobitelnosti byly popsány následovně:

- v průběhu obrábění dochází k samovolnému deformačnímu zpevnění, tzv. samovytvrzování,
- během obrábění si udržují svou vlastnost žárupevnosti, což vede ke koncentraci tepla v místě jeho vzniku a přetížení řezné části nástroje,
- vytváření nárůstku na břitu, což vede k vytváření žlábků na čele nástroje,
- při vysoké teplotě, která vzniká, se vytvářejí i chemické reakce způsobující difuzní opotřebení nástroje,
- z důvodu výskytu velmi tvrdých karbidů je nástroj vystaven intenzivnímu abrazivnímu účinku [1,4].

Zásady pro eliminování samovytvrzovací vlastnosti materiálu a lepších obráběcích vlastností:

- použití nástrojů s pozitivní geometrií, které mají kladné úhly čela, které budou materiál řezat, místo aby ho tlačily,
- vyhnout se příliš malým hodnotám posuvu a hloubkám řezu,
- neobrábět až do příliš velkého opotřebení řezného klínu nástroje, řezný klín by se tak dřel o obrobek,
- využívání procesních kapalin,
- zajistit dobrou tuhost soustavy stroj, nástroj, obrobek, přípravek musí být co největší [1,4].

Namáhání řezného nástroje je při obrábění niklových slitin velmi vysoké. Proto klademe na materiál řezných nástrojů tyto požadavky:

- odolnost vůči popouštění a tvrdost za tepla,
- odolnost vůči abrazivnímu opotřebení,
- vysokou pevnost a houževnatost,
- odolnost proti teplotním rázům [1].

1.1 Soustružení

Při této operaci se využívají zejména soustružnické nože ze slinutých karbidů a řezné keramiky. Nože z rychlořezné oceli se používají jen v případě, že daná operace nedovoluje použít soustružnické nože ze slinutých karbidů pro materiály, které vyžadují velmi velké úhly čela (tvarové upichování, vnitřní zapichování, nedostatečný výkon, nebo tuhost obráběcího stroje, omezená řezná rychlost) [1].

Superslitiny niklu se obrábí takřka bez problému, pokud je použit nástroj obsahující utvařecí třísky. U nástrojů z rychlořezné oceli se obvykle vytváří utvařecí úpravou řezného klínu. Řezný klín utvařeče pro stlačení a lámání třísky musí být dostatečně široký a hluboký, závisí na velikosti posuvu f . [1]

1.1.1 Vhodné nástroje pro soustružení

Nástroje z rychlořezné oceli se používají při přerušovaných řezech, či hrubování nerovných povrchů. Nástroje lze použít i pro vytvoření hladkého povrchu, eliminují zbytkové napětí vnesené do materiálu. Jsou rovněž vhodné při konečné tříse, kdy chceme dodržet toleranci rozměrů. Slinuté karbidy jsou doporučeny pro většinu operací, kde není přerušovaný řez. Dovolují nám použít stejné řezné rychlosti jakožto u většiny těžkoobrobitelných materiálů. Lze také použít keramické destičky vyztužené whiskery. Kubický nitrid boru je rovněž dobrým materiálem pro obrábění, avšak pro jeho vysokou cenu se v praxi většinou nepoužívá. [2]

Z důvodu již výše uváděných vyplývá, že řezné síly při soustružení niklových slitin budou vyšší. Vlivem nízké tepelné vodivosti se teplo vytvořené v místě řezu špatně odvádí třískou a koncentruje se v místě tohoto řezu. Vzniklé vysoké teploty se tedy šíří do nástroje, kde vznikají vysoká napětí, která se sčítají s napětími vzniklými mechanickým zatížením, což způsobuje velké opotřebení nástroje. Velice často dochází k náhlému lomu, či postupnému vylamování řezného klínu. [1],[2]

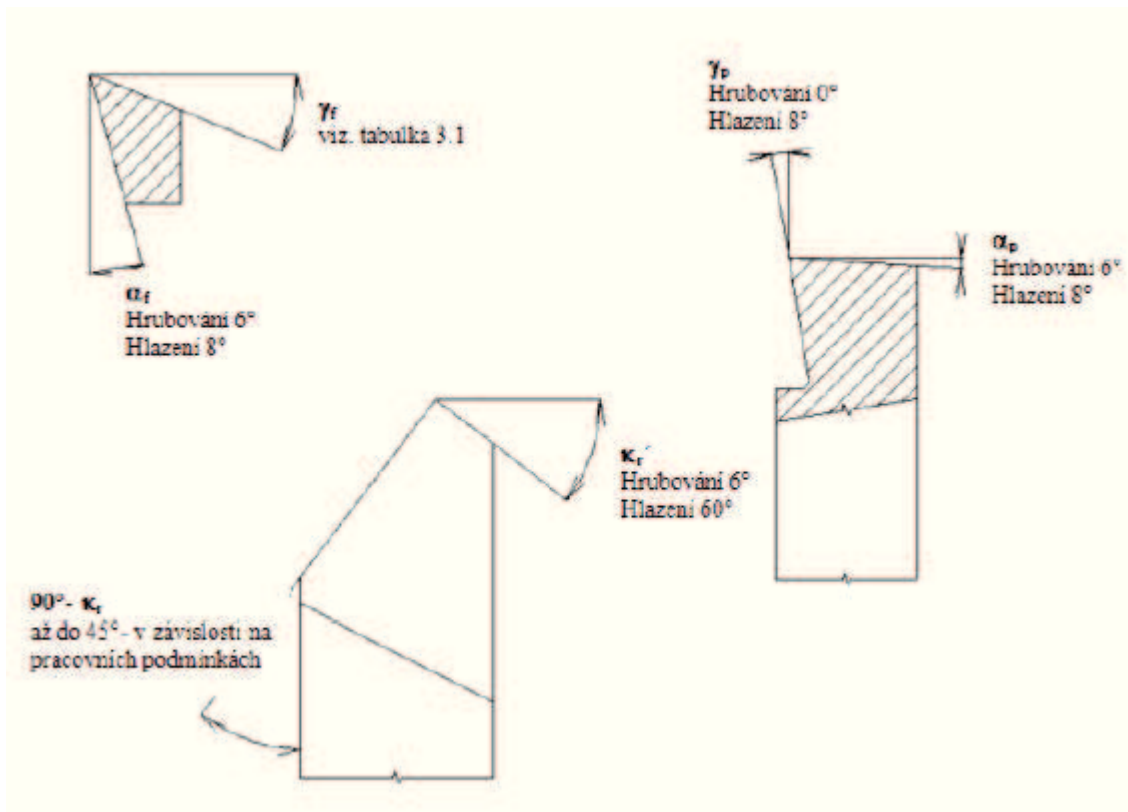
1.1.2 Geometrie nástroje

Geometrie nástroje je velmi důležitá při obrábění. Musí vyhovovat požadavkům na dostatečnou pevnost řezného klínu, minimální opotřebení nástroje při maximální trvanlivosti, a to je-li možné bez chvění. Nesmíme zapomenout na technologičnost výroby a na kvalitu povrchu obrobené součásti. [2],[6]

Zásady pro destičky ze slinutých karbidů:

- pozitivní geometrii řezného klínu, která vytváří krátkou kontaktní plochu mezi řeznou destičkou a třískou, zároveň způsobuje menší řezné síly a tak i nižší teplotu na řezné hraně,
- ostrá řezná hrana snižuje samovytvřování.

Pozitivní geometrie čela také zajišťuje odřezání přebytečného materiálu. V opačném případě by mohlo dojít i k nežádoucímu přechování. Vedlejší funkcí čela nástroje je odvádět třísku z povrchu obrobku. Velikost úhlu hřbetu musí být v rozmezí mezi dvěma hodnotami (obr.1.1). Malý rozdíl úhlu mezi obrobkem a břitem nástroje způsobí při nepatrném opotřebení situaci, kdy se nástroj začne dotýkat hřbetem obrobku. Naopak příliš velký úhel hřbetu by mohl břit oslabit. [2]



Obrázek 1.1 Doporučená geometrie soustružnických nožů [2]

Poloměr zaoblení špičky nástroje se volí v závislosti na posuvu f a hloubce řezu a_p ; zároveň má vliv na drsnost povrchu, pevnost břítové destičky. Velký poloměr špičky značí odolnější nástroj a tak vhodnější pro hrubovací operace; lze použít i větší hloubky řezu a větších posuvových rychlostí. Menší poloměr špičky je tedy vhodnější pro dokončovací operace, nejen pro lepší povrch obrobenej plochy, ale i pro snížení vibrací a tím zajištění správných rozměrů. [6]

Tabulka 1.1 Doporučená geometrie pro jednobřité nástroje [2]

Tvrdost		Typické niklové slitiny	γ_f	
			RO	SK
HRB	45		45°	20°
	50		40°	
	55			
	60			
	65		30°	
	70			
	75			
	80		25°	
	85			
	90			
HRC	95			
	100	20°	10°	
	25		15°	
	30			
	35			
	40	12°		
	45	10°	5°	

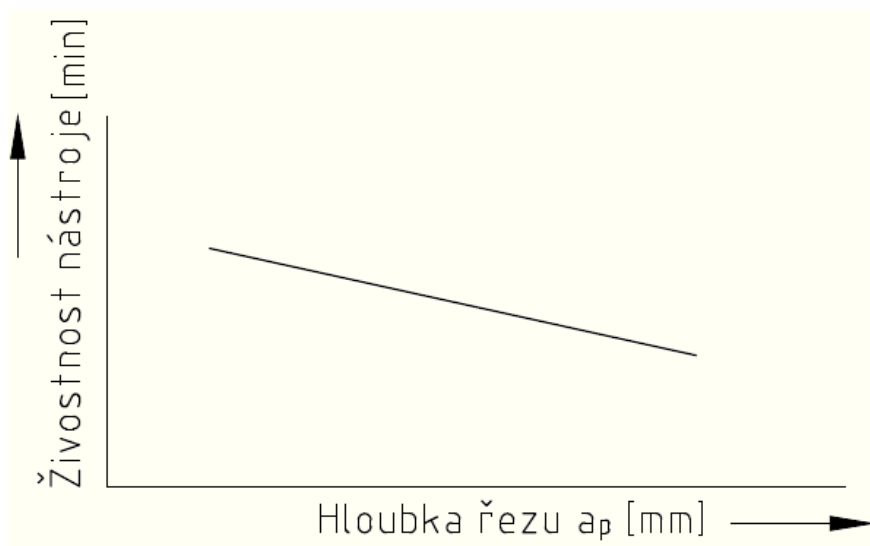
1.1.3 Řezné rychlosti a posuvy

Vzhledem k fyzikálním a mechanickým vlastnostem niklových slitin není možné obrábět tyto slitiny stejnými řeznými podmínkami, které se používají pro obrábění běžných ocelí. Hlavní omezení se klade na řeznou rychlost a posuv. [6]

Největší vliv na životnost nástroje mají tyto tři parametry: řezná rychlost, posuv a hloubka řezu. Z toho největší vliv na životnost má řezná rychlost, proto je snaha o co její největší snížení. Hloubka řezu se zvýší na co největší, aby se snížil počet řezů. Posuv je také možno zvýšit. [7],[8]

Vliv hloubky řezu

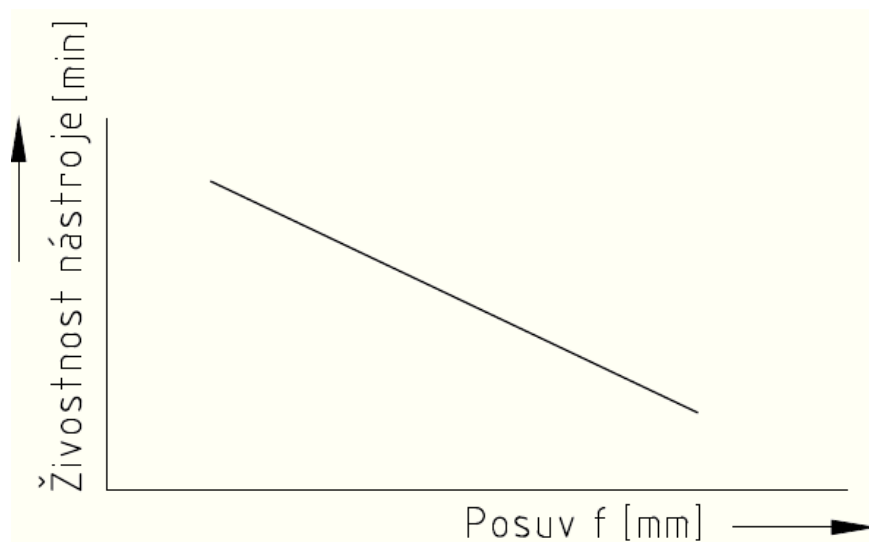
Hloubka řezu nesmí být moc velká, aby nedošlo k vylomení břitu, navíc při velké hloubce třísky dochází k velké spotřebě energie (vyšší řezné síly). Zároveň nesmí být menší, ani rovna velikosti zaoblení břítové destičky, aby se zajistilo správné formování třísky. Pokud je zvolena příliš malá hloubka řezu, dochází ke vzniku vibrací, tříska je nerovnoměrná a v místě řezu se vytváří příliš tepla. Z Obr. 1.2 je patrná závislost životnosti nástroje na hloubce řezu. [7],[8]



Obrázek 1.2 Vliv hloubky řezu [8]

Vliv rychlosti posuvu

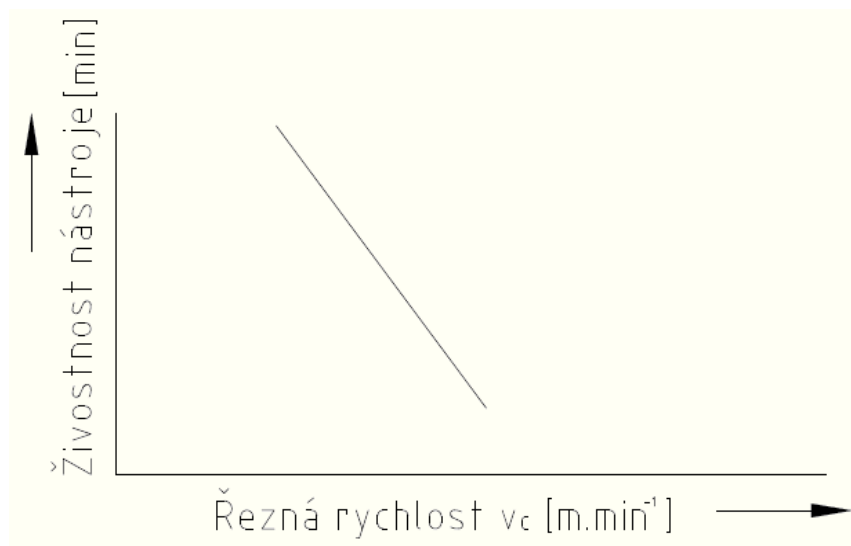
Použití příliš velké rychlosti posuvu přináší řadu nevýhod: ztratí se kontrola tvorby třísky, dochází k opotřebení ve tvaru žlábků, špatné kvalitě povrchu, zasekávání třísek, navařování a přílišné spotřebě energie. Naopak příliš nízká rychlost posuvu nese riziko vzniku nárůstku na břitu, rychlého opotřebení hřbetu nástroje a vláknitou třísku. Rychlost posuvu musí být natolik dostatečná, aby zajistila efektivní řez. Z Obr. 1.3 je patrná závislost životnosti nástroje na rychlosti posuvu. [7],[8]



Obrázek 1.3 Vliv rychlosti posuvu [8]

Vliv řezné rychlosti

Při použití vysoké řezné rychlosti se docílí nedostatečné kvality povrchu, opotřebení ve tvaru žlábků a rychlého opotřebení hřbetu řezného klínu, ale i opotřebení vlivem chemických jevů. Při použití nízké řezné rychlosti dochází ke vzniku špatné kvality povrchu, nárůstu na břitu a rychlejší otupení řezného klínu. Na Obr. 1.4 je patrná závislost životnosti nástroje na řezné rychlosti. [7],[8]



Obrázek 1.4 Vliv řezné rychlosti [8]

1.2 Frézování

Při frézování by měly být použity ostré nástroje, tuhý stroj i přípravky. Pro dosažení stability řezného procesu musí být v záběru alespoň dva zuby najednou. Aby bylo zabráněno problémům při obrábění niklových slitin, musí se zvolit nejvíce vyhovující nástroj (fréza).

1.2.1 Geometrie nástroje

Doporučené frézy pro těžké hrubovací operace by měly mít boční úhel čela 12° a zadní úhel čela 45° . Frézy pro lehčí hrubování a to i z rychlořezné oceli mají boční úhel čela 12° a zadní úhel čela 18° . Tyto frézy vyžadují nízké rychlosti a to $3 - 6 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Záleží také na průměru frézy. Frézy s větším průměrem pracují při vyšších rychlostech. [1],[6]

Dokončovací frézy pro frézování niklových slitin mají doporučený pozitivní boční úhel čela 15° a zadní úhel čela $52^\circ - 64^\circ$. [1]

Čelní frézy s vloženými zuby z rychlořezné oceli by měly být konstruovány takovým způsobem, aby vložené zuby měly pozitivní úhly šroubovice i čela. Primární pomocné úhly by měly mít $7^\circ - 8^\circ$, sekundární úhly podbroušení by měly mít $12^\circ - 14^\circ$ na všech obsažených hranách. [1],[6]

1.2.2 Vhodné nástroje pro frézování

Nejvýhodnější nástroje pro frézování jsou ze slinutých karbidů. Tam kde povaha práce, či konstrukce frézy nedovoluje použití těchto materiálů, použije se rychlořezná ocel. Jednoznačnou výhodou pro životnost nástroje je použití povlaků. Vhodnou metodou povlakování u obrábění niklových slitin je metoda PVD, a to použití vícevrstevných povlaků jako jsou například TiN a (TiAlSi)N. Tyto povlaky zaručí vyšší houževnatost a otěruvzdornost. [1,2,6]

Pro frézování Inconelu 718 je také vhodná řezná keramika, její použití se však doporučuje pod podmínkou splnění určitých kritérií:

- řezná rychlost musí být navýšena oproti tabulkovým hodnotám; toto zvýšení musí být provedeno v závislosti na šířce řezu,
- posuv musí být snížen o 50% oproti tabulkovým hodnotám (nebere se v potaz posuv na otáčku frézovacího nástroje, nýbrž posuv na zub),
- je vhodné používat především speciální frézovací hlavy pro obrábění keramickými destičkami. [9]

Opotřebení hřbetu, které vzniká při obrábění Inconelu 718 má tři fáze:

- první fázi lze označit jako otěr hřbetní plochy s částečným kráterovým opotřebením. Dochází k viditelnému opotřebení vrubového charakteru a špičky nástroje,
- druhá fáze trvá o mnoho déle a projevuje se zvětšováním opotřebení vrubového charakteru a špičky,
- třetí fáze vzniká otěrem hřbetní plochy, což má za následek vyrovnávání velikosti opotřebení vrubového charakteru a špičky nástroje. [6]

1.2.3 Řezné rychlosti a posuvy

Jako u soustružení, tak i zde platí, že není možné použít stejné řezné podmínky pro obrábění niklových slitin jako pro obyčejné oceli. To z důvodu kvality obrobeneé plochy, ekonomičnosti a hlavně trvanlivosti nástrojů.

Nejvýhodnější metodou je čelní frézování, protože nezpůsobuje zpevnění povrchu a snižuje chvění. Při malém posuvu frézy dochází ke zpevnění vrstvy na obrobku, tomuto stavu se říká "drhnoucí" stav. Proto se dává přednost souslednému frézování. U tohoto postupu nedochází na začátku řezu ke tření. Jeho nevýhodou je ovšem vymezení bočních vůlí v převodech stolu. Doporučené řezné podmínky můžeme vidět v tabulce 1.2. [1,2]

Tabulka 1.2 Doporučené řezné parametry pro superslitiny niklu [1]

Materiál	Měrný odpor k_c [N.mm ⁻²]	Tvrdość HB	Nástroj			
			RO		SK - H10F	
			v_c [m.min ⁻¹]	f_z [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	f_z [mm]
žíhaný	2650	250	3 - 6	0,05-0,1	29 - 41	0,1 - 0,2
vystárnutý	2900	350	1,5 - 4,5	0,05-0,1	19 - 27	0,1 0,2

Při obrábění řeznou keramikou je nutné, jak už bylo řečeno, zvýšit řezné parametry. Hlavní vliv na teplotu vznikající před destičkou má šířka řezu. Na této šířce závisí zahřátí destičky, pokud při vlastním obrábění prochází delší dobu vzduchem než materiálem. Použijeme-li vysokou řeznou rychlost, zvýší se teplota při obrábění a tím dojde ke změknutí obráběného materiálu a tudíž i ke snazšímu obrábění. Toto obrábění lze definovat jako vysokorychlostní obrábění (obrábění HSC). [9]

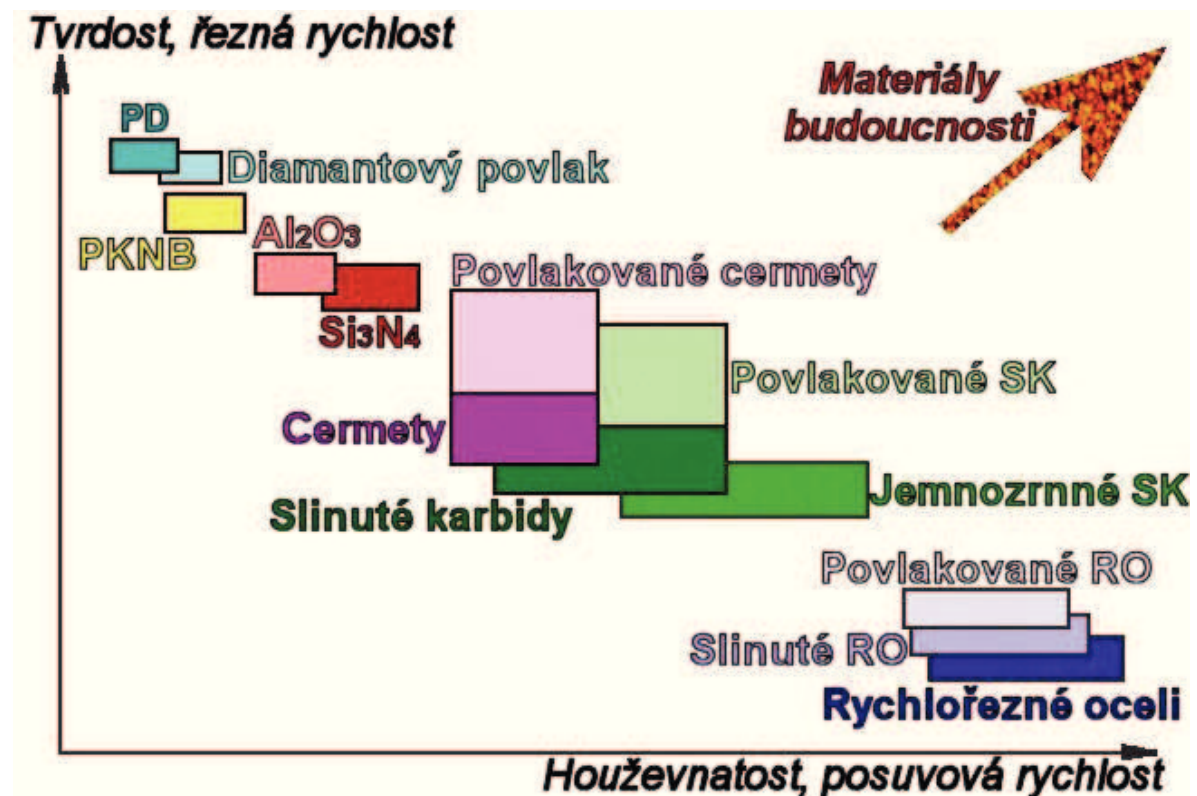
1.3 Řezné materiály pro obrábění těžkoobrobitelných kovů

Volba správného řezného materiálu je základem ekonomiky obrábění. Strojní čas a čas pro výměnu nástroje tvoří nedílnou a důležitou část produktivity. Ačkoliv se neustále vyvíjejí nové kombinace materiálů, není žádný schopen zabezpečit komplexní požadavky obrábění. [11]

Ideální řezný materiál by měl mít tyto vlastnosti:

- dostatečnou tvrdost pro zamezení plastické deformace a zvýšení odolnosti proti opotřebení bříty,
- vysokou houževnatost (u materiálu nesmí dojít k vyštípnutí bříty, či vylomení),
- řezný materiál musí být chemicky neutrální vůči obráběnému materiálu,
- odolnost proti oxidačnímu a difuznímu opotřebení,
- vysokou odolnost proti teplotním rázům,
- odolnost proti vysokým teplotám. [11]

Na obrázku č.1.5 jsou uvedeny všechny současné řezné materiály a jejich aplikace, vyjádřené vztahem mezi základními řeznými podmínkami (řezná rychlost - posuvová rychlost), který je roven vztahu mezi jejich základními vlastnostmi (tvrdost - houževnatost). [12]



Obrázek 1.5 Oblasti použití řezných materiálů [12]

Podle odolnosti proti otupení můžeme řezné materiály seřadit v tomto pořadí:

- nástrojová ocel,
- rychlořezná ocel,
- slinuté karbidy,
- řezná keramika,
- kubický nitrid boru a diamant. [11]

Pro obrábění Inconelu lze použít takřka všechny zde zmiňované řezné materiály. [1]

1.3.1 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy jsou dvoufázový nebo vícefázový materiál tvořený tvrdými karbidovými částicemi v kovové vazbě, připravený technologií práškové metalurgie. [11]

Základními karbidy, ze kterých se skládají všechny běžné druhy slinutých karbidů, jsou karbid titanu (TiC), karbid wolframu (WC), pojícím kovem je kobalt (Co). Další běžně používané přísady jsou karbidy tantalu (TaC), chromu (Cr₃C₂), niobu (NbC). [11]

Nepovlakované SK

Standardní SK jsou rozděleny dle normy ČSN ISO 513 do těchto šesti skupin - P, M, K, N, S, H. Ty se dále dělí do podskupin, např. P20, M10, K10, N05, S15, H10. Čím je číslo podskupiny vyšší, tím více je v materiálu obsaženo pojícího kovu, materiál má také vyšší houževnatost a pevnost v ohybu, nižší otěruvzdornost a tvrdost materiálu. Zároveň určuje jeho aplikaci pro vyšší posuvové a nižší řezné rychlosti. [12, 21]

Skupina K (barva červená) je pro obrábění materiálů tvořících krátkou, drobnou třísku. Řezná síla bývá nízká, proto převládá adhezní a abrazivní opotřebení nástroje. Jedinou tvrdou složku tvoří karbid wolframu, který má za pokojové teploty přibližně stejnou tvrdost jako karbid titanu. S rostoucí teplotou však ztrácí tvrdost rychleji než TiC. Používá se pro obrábění oceli vyjma korozivzdorných ocelí s austenitickou strukturou. [11,12, 21]

Skupina P (barva modrá) je pro obrábění materiálů tvořících dlouhou, plynulou třísku. Řezné síly bývají velké a doprovázené opotřebením na čele nástroje. Příklad TiC zaručuje odolnost za vysokých teplot proti difuzi, ale je jednou z hlavních příčin vzniku výmolu na

čele nástroje. Nevýhodou TiC je vyšší křehkost a nižší odolnost proti abrazi. Většinou se používá pro obrábění korozivzdorných ocelí a ocelolitiny. [11,12, 21]

Skupina M (barva žlutá) má univerzální použití, je určena pro materiály tvořící dlouho a střední třísku. Tato skupina se pro své vlastnosti většinou používá pro těžké hrubovací a přerušované řezy. Obráběným materiálem je většinou litina. [11, 12, 21]

Skupina N (barva zelená) se používá pro obrábění hliníku a ostatních neželezných kovů. [21]

Skupina S (barva hnědá) se používá pro obrábění speciálních žáruvzdorných slitin na základě železa, niklu a kobaltu, dále na obrábění titanu a slitiny titanu. [21]

Skupina H (barva šedá) - tato skupina se používá pro obrábění kalené oceli, kalených litinových materiálů a tvrzené litiny. [21]

Povlakované SK

Povlakované SK jsou vyráběny z původních typů slinutých karbidů a to nanášením tenké vrstvy, která má vynikající odolnost proti opotřebení. Povlakový materiál neobsahuje žádné pojivo, má menší zrnitost a méně strukturních defektů. Povlakování se dělí do dvou základních skupin podle způsobu povlakování na CVD a PVD. [12]

Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition - chemické napařování z plynné fáze) probíhá za vysokých teplot (900 – 1200 °C). Výhodou této metody je povlakování předmětů složitých tvarů, možnost větší tloušťky, výborná adheze mezi podkladem a povlakem. Nevýhodou je, že touto metodou nelze povlakovat ostré hrany a také dochází k ovlivnění podkladového materiálu. [12]

Metoda PVD (Physical Vapour Deposition - fyzikální napařování) probíhá za nízkých teplot (pod 600 °C, 350 °C, nebo dokonce 180 °C). Touto metodou je možno povlakovat i ostré hrany; navíc nemá nepříznivý vliv na podkladový materiál. Za nevýhodu lze považovat nutnost otáčení při povlakování, menší tloušťka povlaku (okolo 5µm) a nutnost důkladnější přípravy povrchu před zahájením práce. [12]

1.3.2 Řezná keramika

Řezná keramika je převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Konečnou surovinou pro její výrobu jsou

čisté a jemnozrnné prášky základních surovin, které se dokonale mísí, tvarují, slinují (nad 1600 °C) a v konečné fázi upravují do požadovaného tvaru. Protože keramické destičky neobsahují prakticky žádnou pojící fázi, je nutné přesně dodržet technologický postup. [11, 12]

Řezná keramika se využívá zejména pro svou vysokou tvrdost, odolnost proti mechanickému namáhání (především tlakem), odolnost proti opotřebení, korozi a chemickým vlivům, odolnost proti působení vysokých teplot a v neposlední řadě i pro poměrně nízkou cenu. Tvrdost řezné keramiky při 1000 °C je srovnatelná s tvrdostí oceli při pokojové teplotě. Pro obrábění niklových slitin se doporučuje používat řeznou keramiku vyztuženou whiskery. [11, 6]

Whiskery jsou monokrystalická vlákna o průměru 0,1 až 1 μm. Mají vysokou mechanickou pevnost (7 až 20 GPa), která je způsobena vyztužením matrice Al₂O₃. Největší výhodou při jejich použití je snížení náchylnosti k šíření trhlin a tím k vyštípování a vylamování materiálu břitu. Díky jejich dobré tepelné vodivosti odvádějí teplo z pásma teplotně silně zatíženého břitu. Nevýhodou tohoto materiálu je afinita SiC na železo při vysokých teplotách. [11]

1.3.3 Polykrystalický kubický nitrid boru

Kubický nitrid boru je synteticky vyrobený materiál, který se formálně v přírodě nevyskytuje. V přírodě se vyskytuje jeho výchozí surovina, a to hexagonální nitrid boru, jehož forma je obdobou grafitu. Spolu s diamantem mají podobnou krystalickou mřížku, ale chemicky se liší. Velká deformace krystalické mřížky při jeho výrobě má za následek velké vnitřní napětí a to se projeví velkou tvrdostí vyrobeného kubického nitridu boru. Jeho tvrdost se blíží přírodnímu diamantu a odolává větší teplotě než přírodní diamant (až do teploty 1500 °C). [11, 12]

Kubický nitrid boru zaručuje vysoký úběr materiálu i kvalitu obrobeného povrchu (Ra=0,3 až 0,4 μm). Proto je stále častěji používán pro dokončovací operace.

Nedoporučuje se používat pro obrábění oceli tvrdosti pod 45 HRC.

2 Návrh technologického postupu výroby zadané součásti

2.1 Charakteristika společnosti MSA, a.s. Rimera group

Společnost MSA, a.s. patří k předním světovým výrobcům průmyslových armatur. Firma má dlouholetou tradici výroby datovanou rokem 1890. Její výrobky jsou určeny pro různá odvětví průmyslu – např. přepravy a zpracování ropy, distribuce a zpracování plynu, jaderné i klasické energetiky, teplárenství a tepelných sítí, vodárenství. [10]

MSA, a.s. je vybaveno velkou řadou moderních provozů pro výrobu těch největších a nejpřesnějších dílů s možností zkoušení ve vlastní vysokotlaké zkušebně. V nedávné době byla otevřena nově rekonstruovaná výrobní hala na malé a střední armatury. Nedílnou součástí know-how firmy MSA, a.s. je i portfolio atestů a certifikátů podle mezinárodních standardů, díky nimž má společnost přístup do celého světa. Po celou dobu životnosti armatur je samozřejmostí - v rámci pozáručního i záručního servisu - poskytování servisních služeb. [10]

Hlavní výrobní program společnosti tvoří kulové kohouty, šoupátka, klapky a ventily vyráběné dle norem ČSN, API, ANSI, DIN a GOST a dále speciální armatury určené především pro aplikace v oblasti jaderné energetiky. [10]

MSA, a.s. se sídlem v Dolním Benešově je součástí skupiny RIMERA, kterou tvoří jednotlivé podniky různorodé historie s působením převážně v Rusku. [10]



Obrázek 2.1 Kulový kohout - K89 [10]

2.2 Charakteristika obrobku

Jedná se o rotační součást názvem Ovládací čep, která se nachází v kulovém kohoutu. Jedna strana součásti se upevní do motoru a druhá do součásti s názvem koule. S koulí uvnitř kulového kohoutu otáčí o devadesát stupňů, čímž zastaví médium, nebo ho naopak pustí. Polotovarem pro výrobu obrobku je kulatina o vnějším průměru 85mm, délce 298mm, materiálem Inconel alloy 718. Výrobek se vyrábí v dávce čítající 15 kusů.

2.3 Charakteristika materiálu

Niklová slitina Inconel alloy 718

Inconel 718 je superslitina s vynikající pevností v teplotním rozpětí od -253 °C do 700 °C. Díky vysokému obsahu chromu a dalších legujících prvků je velmi odolná vůči korozi a to i v horkém agresivním prostředí. Při zahřátí vytvoří stabilní vrstvu oxidu, která chrání povrch před další oxidací. Tento materiál má využití například v letectví, kosmonautice, pro proudová letadla i v ropném průmyslu. [5],[4],[3]

Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou čerpány z atestu, který je součástí příloh.

Tabulka 2.1 Chemické složení slitiny Inconel 718

C	S	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	Fe	Nb	Mg
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0,022	0,001	18,5	53,5	0,05	0,08	3,05	18,01	5,07	<0,005
Ti	P	Al	Pb	Cu	Ca	Co	B	Ta	
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
1,03	0,006	0,44	0,0002	0,04	0,0011	0,13	<0,004	<0,01	

Tabulka 2.2 Mechanické vlastnosti

Re _{0,2} [MPa]	Rm [MPa]	Tažnost [%]
900	1203	32

Dodavatelem materiálu je firma WTE Power Steel s.r.o..

2.4 Volba obráběcích strojů

Ze strojového parku firmy MSA, a.s. byly vybrány níže uvedené stroje:

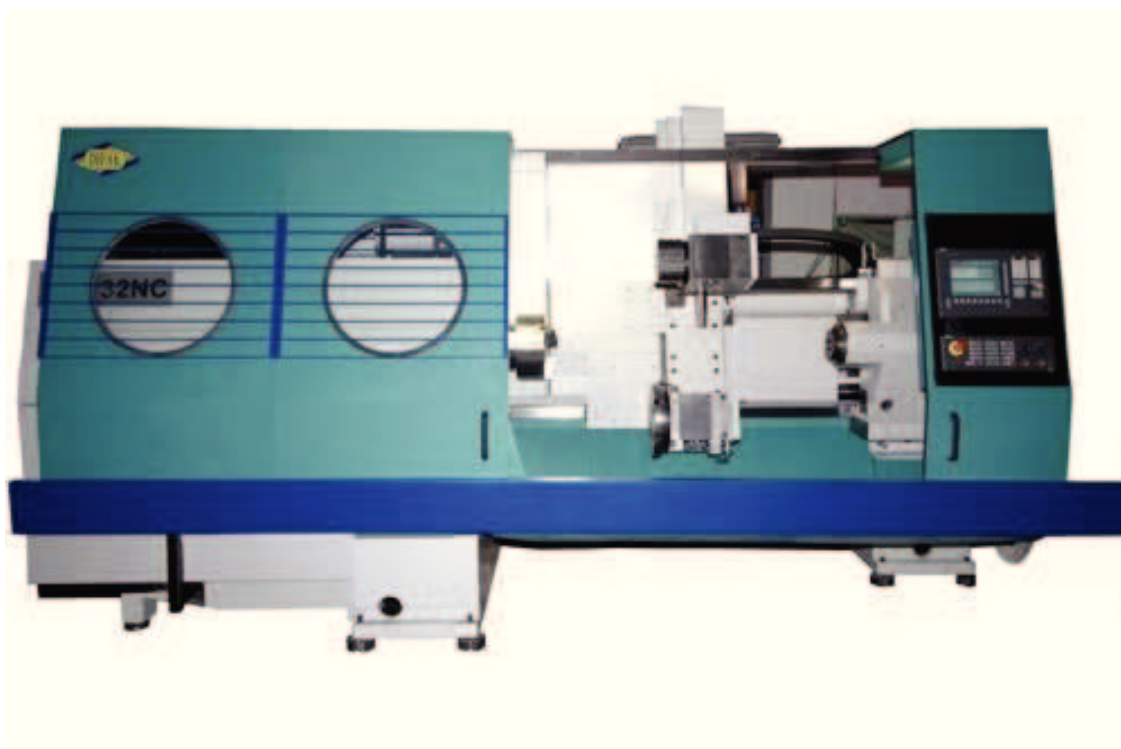
- horizontální soustruh SPT 32 NC,
- vodorovná vyvrtávačka W100,
- horizontální obráběcí centrum MCFH 63,
- univerzální hrotová bruska BUB 50/1000.

Tyto stroje jsou specifické svými vlastnostmi a mělo by na nich probíhat plynulé obrábění.

2.4.1 Horizontální soustruh SPT 32 NC

SPT 32 NC je stroj určený pro obrábění hřídelí, přírub a za použití přídatného zařízení může pracovat i z tyče.

Tento stroj je rovněž vybaven možností programování pomocí cyklů, volné kontury, širokého využití korekcí s možností tvorby vlastních podprogramů s grafickou podporou a simulací. [13]



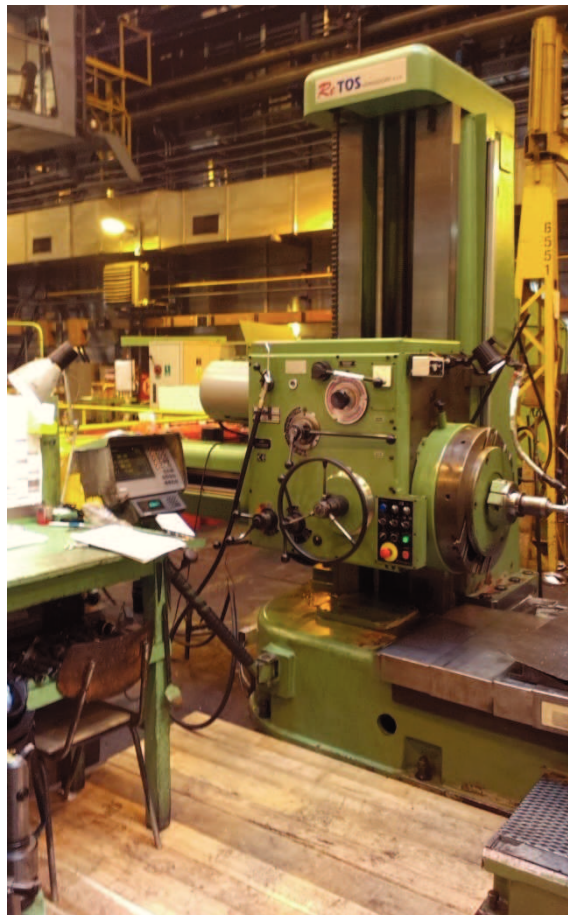
Obrázek 2.2 Horizontální soustruh SPT 32 NC [13]

Tabulka 2.3 Technické údaje stroje [13]

Řídicí systém	Sinumeric 810 T
Max. oběžný průměr nad ložem	490 mm
Max. délka obrábění hříd. součástí	1500 mm
Max. délka obrábění přírub. součástí	250 mm
Rozsah otáček vřetene	36 - 1200 min^{-1}
Posuvy - rozsah	5 - 5000 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Rychloposuv v ose x a y	8000 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Výkon motoru	36 kW
Hmotnost stroje	8000 kg

2.4.2 Vodorovná vyvrtávačka W100

Vodorovná vyvrtávačka W100 je obráběcí stroj určený pro vrtání slepých a průchozích otvorů do plného materiálu, závitování, vyvrtávání, frézování. Zařízení může používat vrtáky, výstružníky, závitníky, frézy a jiné nástroje.



Obrázek 2.3 Vyvrtávačka W100

Tabulka 2.4 Technické údaje stroje [14]:

Průměr prac. vřetena	100 mm
Průměr lící desky	600 mm
Vzdálenost osy vřetena od plochy stolu (osa Y)	0 - 1120 mm
Upínací plocha stolu	1250 x 1250 mm
Podélný pohyb stolu (osa Z)	1250 mm
Příčný pohyb stolu (osa X)	1600 mm
Otáčky vřetena	7,1 - 1120 min ⁻¹
Hmotnost stroje	17500 kg
Výkon hlavního motoru	10 kW

2.4.3 Horizontální obráběcí centrum MCFH 63

OC MCFH 63 - TAJMAC je horizontální obráběcí centrum určené pro obrábění tvarově i technologicky složitých součástí s možností obrábění ve třech osách.



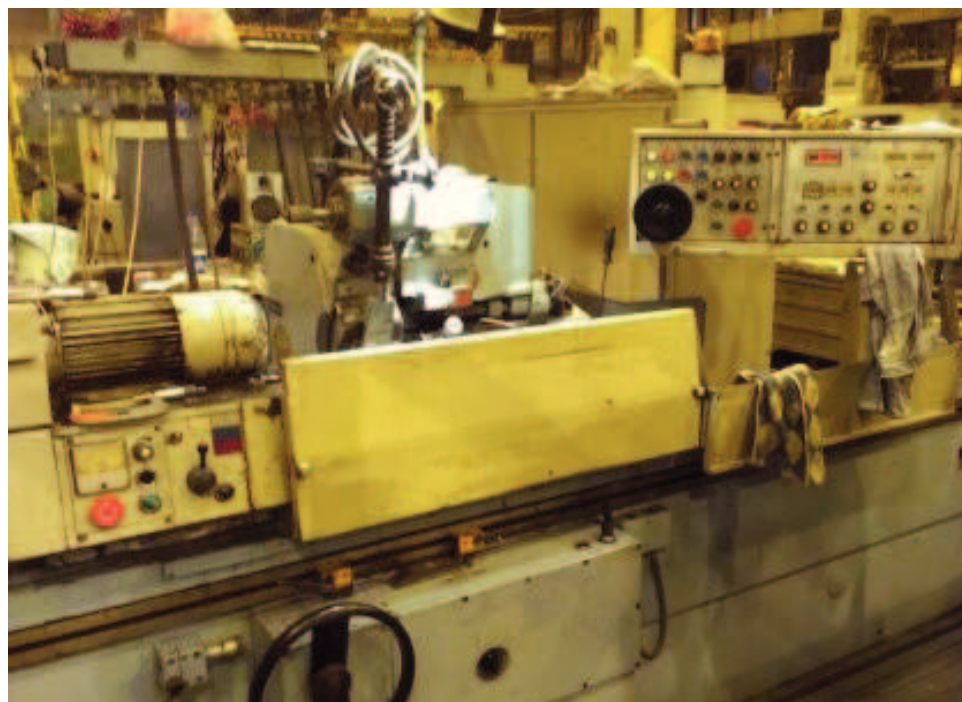
Obrázek 2.4 Obráběcí centrum MCFH 63

Tabulka 2.5 Technické údaje stroje [15]:

Operační systém	Sinumeric 840 D
Pojezd osy X	1000 mm
Pojezd osy Y	800 mm
Pojezd osy Z	850 mm
Otáčky vřetene	4500 min ⁻¹
Upínací kužel vřetena	ISO 50
Počet palet v systému	2
Upínací plocha stolu	800 x 630 mm
Max. hmotnost obrobku	350 kg

2.4.4 Univerzální hrotová bruska BUB 50/1000

BUB 50/1000 je univerzální hrotová bruska s elektronicky řízeným přísuvem. Určena pro broušení válcových a kuželových ploch vnějších, umožňuje i broušení čel obrobku.



Obrázek 2.5 Univerzální hrotová bruska BUB 50/1000

Tabulka 2.6 Technické údaje stroje [16]

Max. průměr broušení	500 mm
Max. délka broušení	1000 mm
Oběžný průměr	500 mm
Vzdálenost mezi hroty	1000 mm
Max. hmotnost obrobku	350 kg
Hmotnost stroje	5400 kg

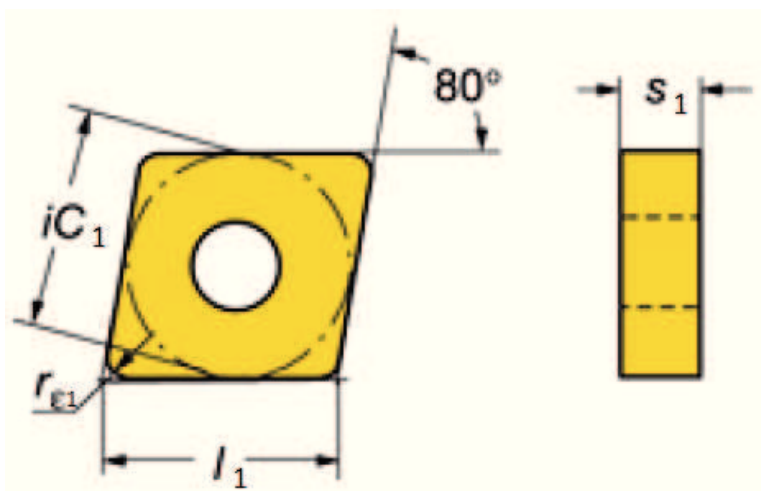
2.5 Návrh vhodných nástrojů

2.5.1 Nástroje pro soustružení

Všechny nástroje pro soustružení byly navrženy z katalogu firmy Sandvik Coromant.

Vyměnitelná břitová destička: CNMG 16 06 12-QM 1115

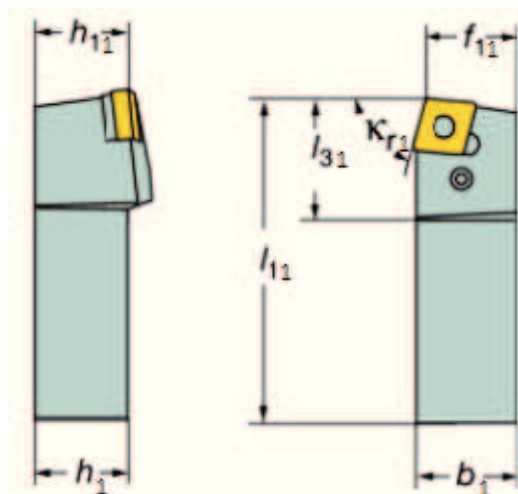
Jedná se o vyměnitelnou břitovou destičku kosočtvercového tvaru s negativním uložením a pozitivním utvařečem. Destička má dvě ostří s úhlem nastavení špičky 80° , nulovým úhlem hřbetu a poloměrem zaoblení špičky 1,2 mm. Lze s ní obrábět jak vnitřní, tak vnější povrchy. [17]



Obrázek 2.6 Tvar VBD [17]

Držák VBD: PCBNR 3225P 16

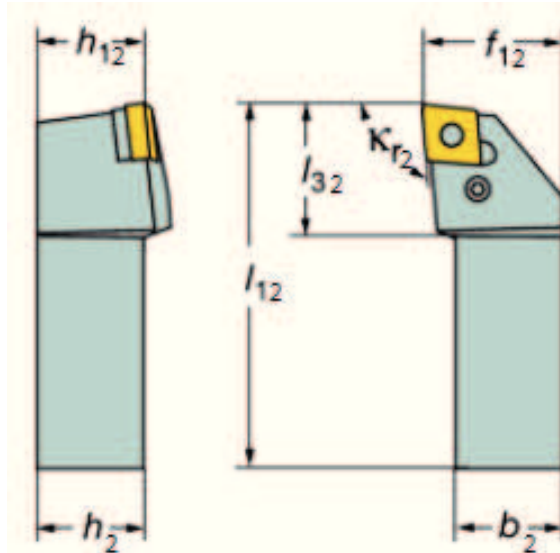
Jedná se o držák pro vnější obrábění s VBD, která má negativní uložení. Úhel nastavení $\kappa_r=75^\circ$, úhel hlavního břitu = 15° . Díky tomuto uložení je nástroj stabilnější, což je výhodné pro hrubování.



Obrázek 2.7 Stopkový nástroj, upínání pákou [17]

Držák VBD: PCLNR 3225P 16

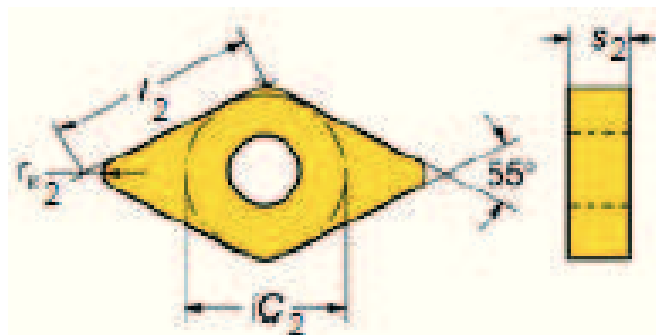
Jedná se o držák pro vnější obrábění s VBD, která má negativní uložení. Úhel nastavení $\kappa_r=95^\circ$, úhel hlavního břitu = -5° . Pro jeho uložení VBD je vhodný pro hrubování kolmých stěn obrobku.



Obrázek 2.8 Stopkový nástroj, upínání pákou [17]

Vyměnitelná břitová destička: DNMG 15 06 08-QM 1115

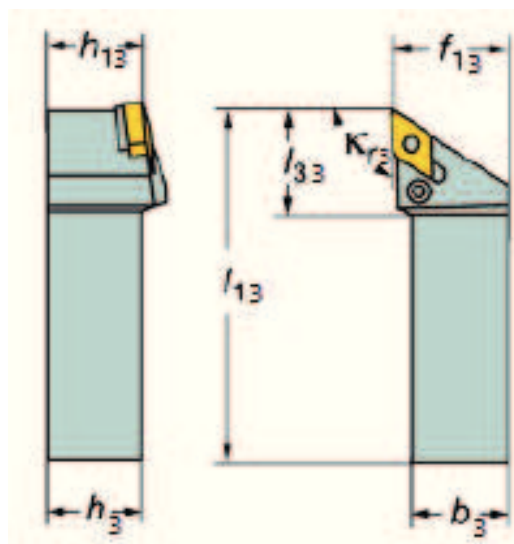
Jedná se o výměnnou břitovou destičku kosočtvercového tvaru s negativním uložením a pozitivním utvařečem. Destička má dvě ostří s úhlem nastavení špičky 55° , nulovým úhlem hřbetu a poloměrem zaoblení špičky 0,8 mm. Lze s ní obrábět jak vnitřní, tak vnější povrchy. Vhodná pro dokončovací operace.



Obrázek 2.9 Tvar VBD [17]

Držák VBD: PDJNR 3225P 15

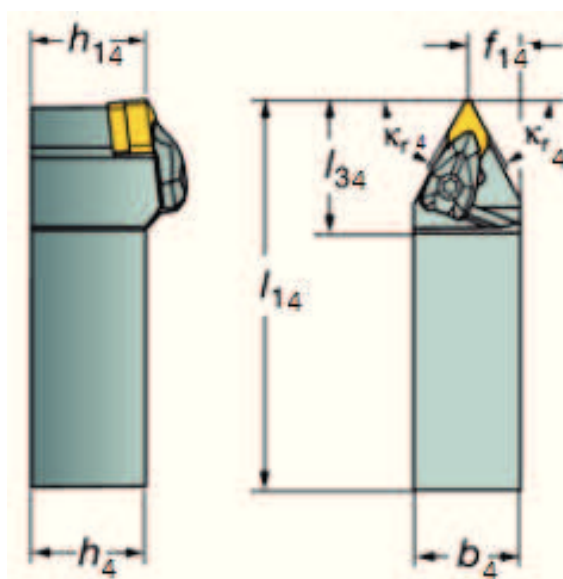
Jedná se o držák pro vnější obrábění s VBD, která má negativní uložení. Díky jeho uložení VBD ho lze použít pro dokončovací třísku a pro zápich. Úhel nastavení $\kappa_r=93^\circ$, úhel hlavního břitu = -3° .



Obrázek 2.10 Stopkový nástroj, upínání pákou [17]

Držák VBD: DDNNN 3225P 15

Jedná se o držák pro VBD s negativním uložením. Úhel nastavení $\kappa_r=62,5^\circ$, úhel hlavního břitu = $27,5^\circ$. Lze ho použít pro dokončovací operace, sražení hran.



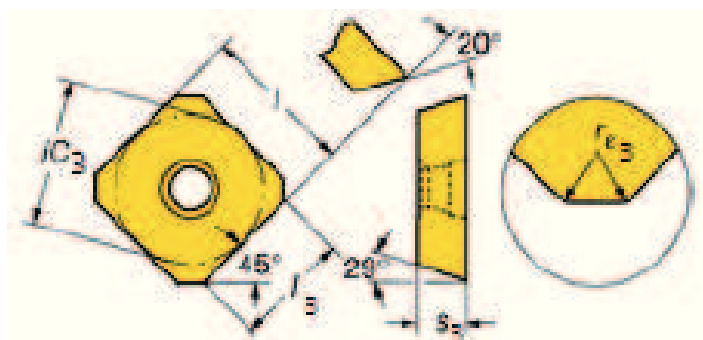
Obrázek 2.11 Stopkový nástroj s pevnou upínkou [17]

2.5.2 Nástroje pro frézování a vrtání

Všechny nástroje pro frézování a vrták R846-0700-30-A1A byly navrženy z katalogu firmy Sandvik Coromant.

Vyměnitelná břitová destička: R245-12 T3 M-PL 1030

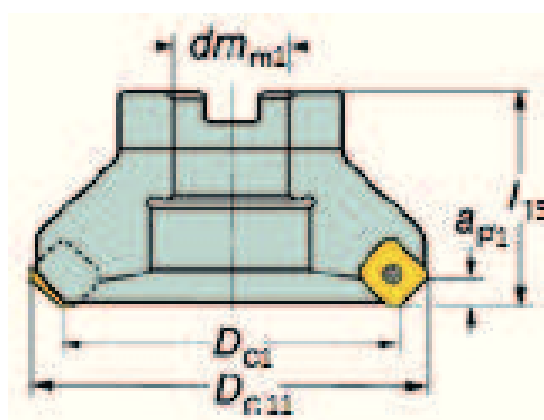
Tato VBD je navržena pro frézování čelních ploch, zaoblení řezné hrany $r_\epsilon=1,4\text{mm}$. Pro své vlastnosti je dobrá pro hrubování.



Obrázek 2.12 Tvar VBD [18]

Čelní fréza: R245-125Q40-12M

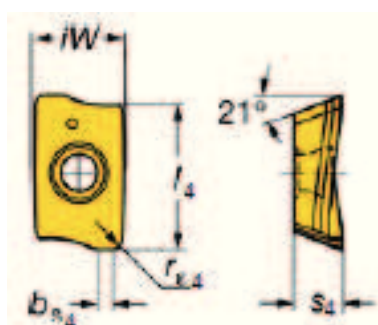
Tuto frézu o průměru $D_C=125\text{mm}$ a počtem zubů $z=8$ lze použít k frézování čela obrobku. Maximální úběr třísky $a_p=6\text{mm}$.



Obrázek 2.13 Tvar frézy [18]

Vyměnitelná břitová destička: R390-11 T3 08M-PL 1030

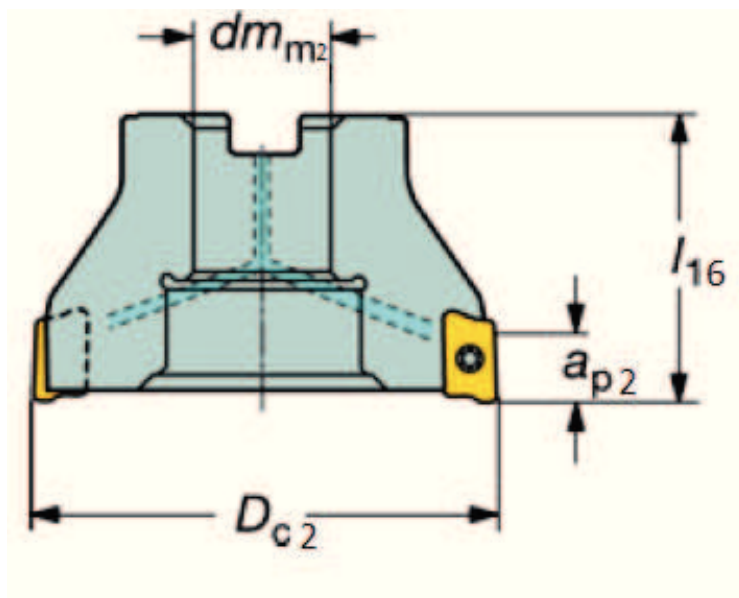
Tato břitová destička je navržena pro frézování čelních rohových ploch, zaoblení špičky je $r_e=0,8\text{mm}$.



Obrázek 2.14 Tvar VBD [18]

Čelní rohová fréza: R390-063Q22-11M

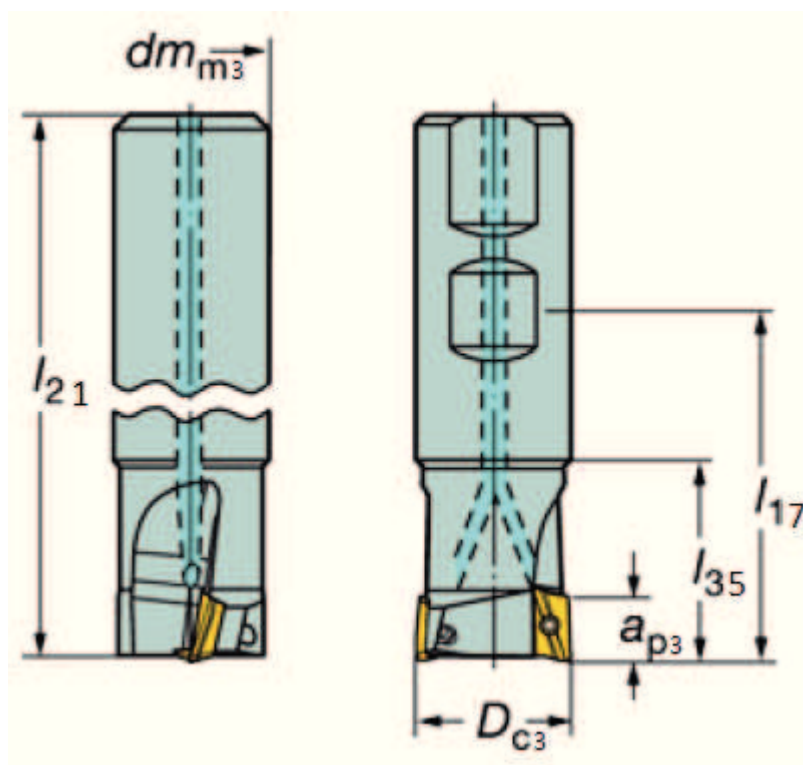
Tuto frézu o průměru $D_C=63\text{mm}$ a počtem zubů $z=6$ lze použít pro frézování rohové plochy. Maximální úběr třísky $a_p=10\text{mm}$.



Obrázek 2.15 Tvar frézy [18]

Stopková čelní fréza: R390-016A16-11L

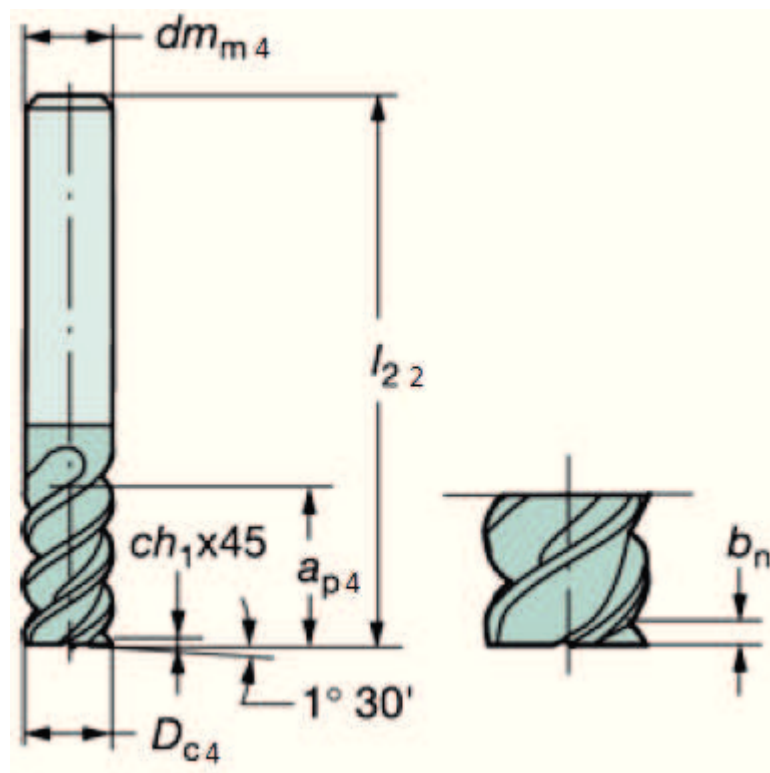
Tato fréza o průměru $D_C=16\text{mm}$ a počtem zubů $z=2$ je vhodná pro hrubování drážek.



Obrázek 2.16 Tvar frézy [18]

Stopková čelní fréza: R215.36-16060-AC32L 1620

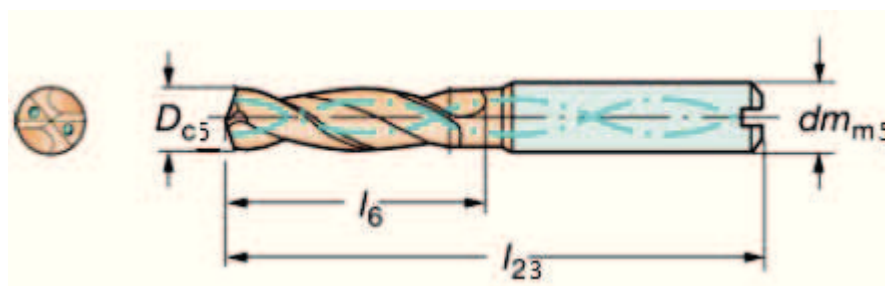
Jedná se o frézu průměru $D_C=16\text{mm}$, počtem zubů $z=6$, úhel stoupání šroubovice = -60° . Tato fréze je monolitní a je konstruována pro dokončování.



Obrázek 2.17 Tvar frézy [18]

Vrták: R846-0700-30-A1A

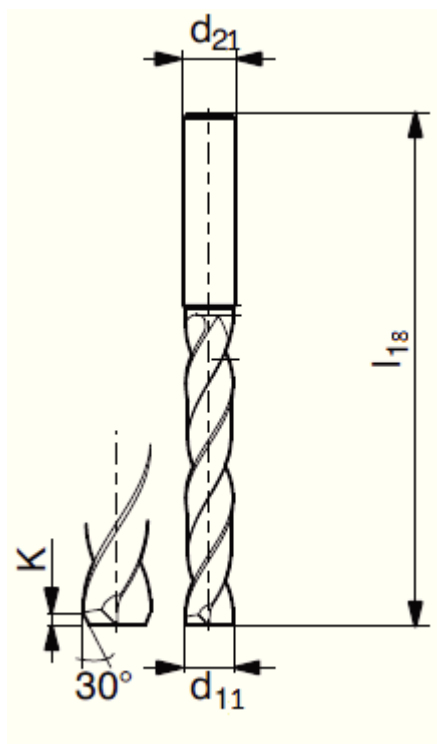
Jedná se o vrták o průměru 7 mm s vnitřním přívodem řezné kapaliny. Po vyvrtání vznikne díra s tolerancí IT8-9.



Obrázek 2.18 Tvar vrtáku [18]

Vrták: 10 721 070

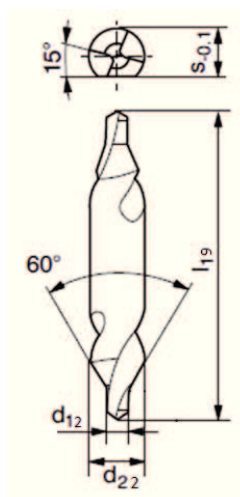
Tento vrták má průměr $d_1=7$ mm, vnitřní chladicí kanálky a úhel $\kappa_r=180^\circ$, doporučená maximální délka pro vrtání je $5 \cdot d_1$. Výrobce je firma WNT.



Obrázek 2.19 Tvar vrtáku [19]

Navrtávák: 10 425 400

Jedná se o středící vrták o průměru $d_1=10\text{mm}$, dle normy DIN 333, typu A. Výrobce je firma WNT.



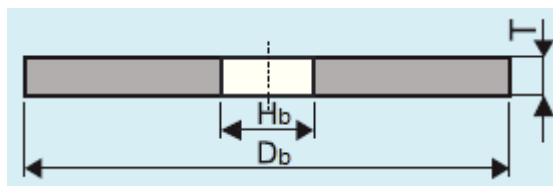
Obrázek 2.20 Tvar vrtáku [19]

2.5.3 Nástroj pro broušení

Brusný kotouč: 99A 100 K 12 V 80 1

Materiál tohoto kotouče je umělého hnědého korundu s keramickým pojivem. Vyniká měkkou tvrdostí, velmi jemnou zrnitostí, má otevřenou strukturu. Je ideální pro broušení niklových slitin.

Parametry: průměr $D_b=200\text{mm}$ a šířce $H_b=20\text{mm}$.



Obrázek 2.21 Tvar brusného kotouče [20]

2.6 Technologický postup výroby

V této části jsou uvedeny výrobní operace a pracovní úkony vykonávané při výrobě obrobku na jednotlivých strojích včetně výrobních podmínek a časové náročnosti úkonů.

Operace / Pracoviště	Popis práce	Stroj, nástroj, pomůcky, měřidla	Výrobní podmínky					
			f_{ot}/f_z [mm]	a_p [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	t [min]	
							Stroj.	Vedl.
1 4821	Vyvrátání	W 100						
	upnout na prisma na otočný stůl	prisma						5,2
	frézovat čelo	R245-125Q40-12M, R245-12 T3 M-PL 1030, posuvné měřítko	0,1	1,5	35	90	1,9	0,6
	navrtat pro hrot	10 425 400	0,03		20		11,2	0,6
	otočit o 180°							1,6
	frézovat čelo na L=295 -0,3	R245-125Q40-12M, R245-12 T3 M-PL 1030	0,1	1,5	35	90	1,9	0,6
	zavrtat pro hrot	10 425 400	0,03		20		11,2	0,6
	na rozteči L=20mm od střední osy navrtat otvor Ø 7mm do L=15mm ke špičce - maximálně	R846-0700-30-A1A	0,09		20	640	0,36	1,95

Operace / Pracoviště	Popis práce	Stroj, nástroj, pomůcky, měřidla	Výrobní podmínky					
			f_{ot}/f_z [mm]	a_p [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	t [min]	
							Stroj.	Vedl.
1 4821	vrtat rovným vrtákem Ø 7mm do L=14mm	10 721 070	0,09		15	640	0,46	1,95
	vyrazit číslo materiálu	razidla do kovu						4,2
2 7433	Soustružení	SPT 32 NC						
	Upnout mezi hroty							1,2
	hrubovat na Ø 81 do L=226	PCBNR 3225P 16, CNMG 16 06 12- QM 1115, posuvné měřítka	0,13	2	45	180	12	0,5
	hrubovat na Ø 66 do L=222	PCLNR 3225P 16, CNMG 16 06 12- QM 1115	0,13	2	45	210	49	0,5
	Ø65 +0,2 až 0,3 do L= 228,5 +0,5	PCLNR 3225P 16, DNMG 15 06 08- QM 1115, třmenový mikrometr	0,15	1	50	240	16,2	0,7
	Ø84 +0,2 až 0,3	PCBNR 3225P 16, CNMG 16 06 12- QM 1115	0,15	1	50	190	5	0,5
	zápich dle detailu "Y" na čisto	PDJNR 3225P 15, DNMG 15 06 08- QM 1115	0,15	0,5	50	240	0,2	0,3
	srazit hrany 3 x 20°	DDNNN 3225P 15, DNMG 15 06 08- QM 1115	0,15	0,4	50	240	1,6	0,5

Operace / Pracoviště	Popis práce	Stroj, nástroj, pomůcky, měřidla	Výrobní podmínky					
			f _{ot} /f _z [mm]	a _p [mm]	v _c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	t [min]	
							Stroj.	Vedl.
3 7851	Vyvrátání	MCFH 63						
	upnout do přípravku							6,6
	hrubovat na š=25,05 od střední osy do L=42	R390-063Q22-11M, R390-11 T3 08M-PL 1030, posuvné měřítko	0,1	2	35	180	7,3	6,4
	na čisto š=25 - 0,05 až -0,1 od střední osy do L=42	R390-063Q22-11M, R390-11 T3 08M-PL 1030, třmenový mikrometr	0,1	0,5	40	200	1,2	0,8
	hrub. drážku 18 P9 do L=108	R390-016A16-11L, R390-11 T3 08M-PL 1030	0,1	1,6	35	700	9,6	9,6
	na čisto 18 P9 do L=108 +0,5	R215.36-16060- AC32L 1620	0,05	2	50	950	0,6	3
	navrtat otvor Ø 7 do L=22,5 ke špičce	R846-0700-30-A1A	0,09		20	640	0,5	2
	vrtat rovným vrtákem Ø 7 do L=21,5 ± 0,1	10 721 070	0,09		15	640	0,5	2
	otočit o 180°							1,6
	hrub. na š=25,05 od střední osy do L=42	R390-063Q22-11M, R390-11 T3 08M-PL 1030	0,1	2	35	180	7,3	6,4
	na čisto š=25 - 0,05 až -0,1 od střední osy do L=42	R390-063Q22-11M, R390-11 T3 08M-PL 1030	0,1	0,5	40	200	1,2	0,8

Operace / Pracoviště	Popis práce	Stroj, nástroj, pomůcky, měřidla	Výrobní podmínky					
			f _{ot} /f _z [mm]	a _p [mm]	v _c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	t [min]	
							Stroj.	Vedl.
3 7851	hrub. drážku 18 P9 do L=107,5	R390-016A16-11L, R390-11 T3 08M-PL 1030	0,1	1,6	35	700	9,6	9,6
	na čisto 18 P9 do L=108 +0,5	R215.36-16060- AC32L 1620	0,05	2	50	950	0,6	3
	odjehlit ostré hrany unášeče, drážky a po vrtání							
4 5532	Broušení	BUB 50/1000						
	Kontrolovat házivost hrotu indikátorem, upnout mezi hroty s unášečem, kontrolovat házivost	indikátor						1,3
	brousit Ø 65 e8 do L= 228,5, měřit mikrometrem	99A 100 K 12 V 80 1, třmenový mikrometr	0,09		3000		27,5	2,5
	Ø 84 ± 0,1 do L= 66,5 do konce, měřit mikrometrem	99A 100 K 12 V 80 1	0,09		3000		7,2	2,5
	přesmírkovat hrany, odjehlit hrany na drážkách pro pero a provézt vizuální kontrolu čepu							2

3 Technicko-ekonomické zhodnocení

Bylo zpracováno technicko-ekonomické zhodnocení obrábění čepu kulového kohoutu, tzn. jednotlivých operací a úkonů na základě zjištěných hodnot v průběhu praktické části práce. Spotřeba času byla finančně ohodnocena dle norem firmy MSA, a.s. K cenám za jednotlivé operace byla ve finále přičtena i cena materiálu.

Technologický postup byl zpracován na základě dostupnosti strojů ve firmě MSA, a.s. Vybrané stroje, spolu s nástroji, které byly vybrány převážně od firmy Sandvik Coromant, zcela vyhovují doporučeným podmínkám pro obrábění těžkoobrobitelné slitiny Inconel 718. Hodnoty řezných podmínek byly určeny dle katalogu.

Spotřeba času jednotlivých operací byla vyhodnocena pomocí programu Sysklass a jeho aplikace Sysnorm, které automaticky vypočítávají spotřebovaný čas. Protože je tento program úspěšně používán již řadu let, lze vypočítané časy považovat za reálné, je však nutné vzít v úvahu zkušenost a zručnost obsluhy.

Podnikové výrobní hodinové sazby (režie):

Tabulka 3.1 Cena režie v MSA a.s.

Stroj	Cena [Kč/Nh]
W 100	750
SPT 32 NC	400
MCFH 63	1050
BUB 50/1000	400

3.1 Výpočet pro první operaci (vyvrtávání)

Nejprve se sečtou strojní časy pro první operaci, poté se přičte 5% (z důvodu variabilních nákladů), k tomuto času se přičte čas vedlejší, k výslednému času se přičte dalších 5% (čas směnový). K výslednému času se připočte dávka přípravného času (na jeden kus). Minuty se převedou na normo-hodiny, které se vynásobí reží daného stroje.

Strojní časy pro první operaci

$$T_{s_1} = (5,2 + 1,9 + 11,2 + 1,9 + 11,2 + 0,36 + 0,46) \cdot 1,05 = 28,4 \text{ min}$$

Přičtení vedlejšího času k sumě strojních časů

$$T_{c_1} = (T_{s_1} + T_{v_1}) = \\ = (28,4 + (5,2 + 0,6 + 0,6 + 1,6 + 0,6 + 0,6 + 1,95 + 1,95 + 4,2)) \cdot 1,05 = 48 \text{ min}$$

Přídavný čas určený podle složitosti součásti, počtu nástrojů, operací

$$Tb_1 = 30 \text{ min}$$

Dávka přídavného času

$$Td_1 = \frac{Tb_1}{15} = 2 \text{ min}$$

Převod na normo-hodiny

$$Te_1 = Tc_1 + Td_1 = 50 \text{ min} = 0,84 \text{ h}$$

Cena jednoho kusu

$$Tf_1 = Te_1 \cdot \text{režie} = 0,84 \cdot 750 = 630 \text{ Kč}$$

Cena všech kusů dávky

$$Tg_1 \cdot 15 = 630 \cdot 15 = 9450 \text{ Kč}$$

3.2 Výpočet pro druhou operaci (soustružení)

Výpočet se provede stejně jako pro první operaci.

Strojní časy pro druhou operaci

$$Ts_2 = (12 + 49 + 16,2 + 5 + 0,2 + 1,6) \cdot 1,05 = 88,2 \text{ min}$$

Přičtení vedlejšího času k sumě strojních časů

$$\begin{aligned} Tc_2 &= (Ts_2 + Tv_2) = (88,2 + (1,2 + 0,5 + 0,5 + 0,7 + 0,5 + 0,3 + 0,5)) \cdot 1,05 = \\ &= 97,02 \text{ min} \end{aligned}$$

Přídavný čas určený podle složitosti součásti, počtu nástrojů, operací,...

$$Tb_2 = 29 \text{ min}$$

Dávka přídavného času

$$Td_2 = \frac{Tb_2}{15} = 1,94 \text{ min}$$

Převod na normo-hodiny

$$Te_2 = Tc_2 + Td_2 = 98,96 \text{ min} = 1,65 \text{ h}$$

Cena jednoho kusu

$$Tf_2 = Te_2 \cdot \text{režie} = 1,65 \cdot 400 = 660 \text{ Kč}$$

Cena všech kusů dávky

$$Tg_2 \cdot 15 = 660 \cdot 15 = 9900 \text{ Kč}$$

3.3 Výpočet pro třetí operaci (vyvrtávání)

Výpočet se provede stejně jako u první a druhé operace.

Strojní časy pro třetí operaci

$$\begin{aligned} Ts_3 &= (7,3 + 1,2 + 9,6 + 0,6 + 0,5 + 0,5 + 7,3 + 1,2 + 9,6 + 0,6) \cdot 1,05 = \\ &= 40,32 \text{ min} \end{aligned}$$

Přičtení vedlejšího času k sumě strojních časů

$$\begin{aligned} Tc_3 &= (Ts_3 + Tv_3) = \\ &= (40,32 + (6,6 + 6,4 + 0,8 + 9,6 + 3 + 2 + 2 + 1,6 + 6,4 + 0,8 + 9,6 + 3)) \cdot 1,05 = \\ &= 96,73 \text{ min} \end{aligned}$$

Přídavný čas určený podle složitosti součásti, počtu nástrojů, operací,...

$$Tb_3 = 60 \text{ min}$$

Dávka přídavného času

$$Td_3 = \frac{Tb_3}{15} = 4 \text{ min}$$

Převod na normo-hodiny

$$Te_3 = Tc_3 + Td_3 = 100,73 \text{ min} = 1,68 \text{ h}$$

Cena jednoho kusu

$$Tf_3 = Te_3 \cdot \text{režie} = 1,68 \cdot 1050 = 1764 \text{ Kč}$$

Cena všech kusů dávky

$$Tg_3 \cdot 15 = 26460 \text{ Kč}$$

3.4 Výpočet pro čtvrtou operaci (broušení)

Výpočet se provede stejně jako pro předchozí operace, s tím rozdílem, že pro součet strojních časů se přičte 8%.

Strojní časy pro druhou operaci

$$Ts_4 = (27,5 + 7,2) \cdot 1,08 = 37,5 \text{ min}$$

Přičtení vedlejšího času k sumě strojních časů

$$Tc_4 = (Ts_4 + Tv_4) = (37,5 + (1,3 + 2,5 + 2,5 + 2)) \cdot 1,05 = 48,1 \text{ min}$$

Přídavný čas určený podle složitosti součásti, počtu nástrojů, operací,...

$$Tb_4 = 20 \text{ min}$$

Dávka přídavného času

$$Td_4 = \frac{Tb_4}{15} = 1,34 \text{ min}$$

Převod na normo-hodiny

$$Te_4 = Tc_4 + Td_4 = 49,44 \text{ min} = 0,83 \text{ h}$$

Cena jednoho kusu

$$Tf_4 = Te_4 \cdot \text{režie} = 0,83 \cdot 400 = 332 \text{ Kč}$$

Cena všech kusů dávky

$$Tg_4 \cdot 15 = 332 \cdot 15 = 4980 \text{ Kč}$$

3.5 Cena materiálu

Cena za 1 kg = 32,16 EUR = 883,114 Kč

Tato cena byla zjištěna dle dodacího listu a převod na koruny byl proveden dle aktuálního kurzu měny ze dne 20.4.2014, který se byl 27,46 Kč = 1 EUR.

Cena materiálu jednoho kusu

$$C_1 = m \cdot K\check{c} = S \cdot L \cdot \rho \cdot K\check{c} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \cdot \rho \cdot 883,114 = \frac{\pi \cdot 0,85^2}{4} \cdot 2,98 \cdot 8,47 \cdot 883,114$$

$$C_1 = 12648,65 \text{ Kč}$$

Cena materiálu všech kusů dávky

$$C_2 = C_1 \cdot 15 = 12648,65 \cdot 15 = 189730 \text{ Kč}$$

Tento materiál se nakoupí v tyčích, které jsou předem nařezané na požadovanou délku.

Celková cena jednoho vyrobeného kusu

$$C_1 + \sum_{i=1}^4 T f_i = 12648,65 + 3386 = 16034,65 \text{ Kč}$$

Celková cena všech vyrobených kusů

$$C_2 + \sum_{i=1}^4 (T f_i \cdot 15) = 189730 + 50790 = \mathbf{240520 \text{ Kč}}$$

Celková cena všech kusů se dělí na

Cena materiálu	Cena práce
189730 Kč	50790 Kč

Celková cena jednoho kusu se dělí na

Cena materiálu	Cena práce
12648,65 Kč	3386 Kč

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout technologický postup obrábění čepu kulového kohoutu. Veškeré praktické činnosti byly prováděny ve firmě MSA, a.s.

Nejprve byla teoreticky popsána problematika obrábění těžkoobrobitelných materiálů. U soustružení a frézování byla posuzována volba správného nástroje pro tyto operace, vhodná geometrie nástrojů i vyhovující řezné parametry. Dále byly teoreticky popsány materiály pro obráběcí nástroje.

V praktické části práce byly nejprve vybrány vhodné stroje ze strojového parku MSA, a.s. Volba byla provedena tak, aby stroje technologicky umožňovaly vyrobit danou součást. Pro výrobu čepu kulového kohoutu byly vybrány: soustruh SPT 32 NC, vodorovná vyvrtávačka W100, obráběcí centrum OC MCFH 63 - TAJMAC a universální hrotová bruska BUB 50/1000. Poté byly vybrány vhodné nástroje pro soustružení, frézování, vrtání a broušení. Obráběcím materiálem nástrojů byly vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu typu S od firmy Sandvik Coromant s.r.o.

V dalším kroku bakalářské práce bylo sestavení technologického postupu. Technologický postup obsahuje doporučené řezné parametry pro jednotlivé úkony i vypočtené časy úkonů a operací. Veškeré časy úkonů a operací byly získány pomocí programu Sysklass a jeho aplikace Sysnorm. Tento postup je dostačující a vhodný pro použití v praxi.

Poslední částí bakalářské práce bylo technicko-ekonomické zhodnocení obrábění čepu kulového kohoutu z materiálu Inconel 718. V technickém zhodnocení byla zhodnocena efektivita použitého technologického postupu a jeho vhodnost pro použitý materiál Inconel. Součástí ekonomického zhodnocení byl výpočet jak ceny jednoho vyrobeného dílce, tak celé vyrobené dávky dle použitého postupu.

Použitá literatura:

- [1] DARECKÝ, Ing. Janusz. *Superzliatiny niklu a ich obrábanie*. Žilina: ŽU, J. M. Hurbana15, 2001. ISBN 80-7100-785-4.
- [2] Special metals. Machining Special Metals Corporation Products [online]. 2002 [cit. 2014-02-21]. Dostupné z: <http://www.specialmetals.com/documents/machining.pdf>
- [3] Products. *HPA alloys* [online]. 2007 [cit. 2014-02-25]. Dostupné z: <http://www.hpalloy.com/alloys/descriptions/INCONEL718.html>
- [4] Podkladový materiál: Základní materiálové charakteristiky Inconel 718. ARREGUY, Clara. *Seco* [online]. 1a. ed. São Paulo, SP: Geracao Editorial, 2009 [cit. 2014-02-25]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/en/Global/Segment-Solutions/Aerospace-Solutions/AS-Material-main/Heat-resistant-super-alloys/Inconel-71874/>
- [5] Niklové slitiny. *Bibus* [online]. [cit. 2014-02-25]. Dostupné z: http://new.bibus.cz/pdf/Special_Metals/Nikl/Niklove_slitiny.pdf
- [6] NESLUŠAN, Miroslav; CZÁN, Andrej. *Obrábanie titánových a niklových zliatin*. Žilina: Žilinská univerzita, 2001, 193 s. ISBN 80-7100-933-4.
- [7] DE VOS, Patrick. Příručka pro technology: Proces obrábění kovů - životnost nástrojů. *MM Průmyslové spektrum*, 2012 / 7, str. 58. Kód článku: 120705.
- [8] Sandvik Coromant s.r.o. *Životnost nástroje*. [online], [cit. 2014-03-09]. Dostupné z : http://www.sandvik.coromant.com/cs_cz/knowledge/general_turning/getting_started/tool_life/pages/default.aspx
- [9] *Greenleaf Exclerating Solutions metal cutting tools and systems*. Saegertown : 2010. 400s.
- [10]O firmě. RIMERA-GROUP. *MSA, a.s.* [online]. 2014 [cit. 2014-01-21]. Dostupné z: <http://www.msa.cz/cs/o-firme/o-firme>
- [11]MRKVICA, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 1999. 148 s. ISBN 80-707-8624-8.
- [12]HUMÁR, A. *Technologie I (Technologie obrábění - I. část)*. Brno: VUT Brno, 2003. 138 s.
- [13]Difak. [online]. [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.difak.cz/index.php?pid=49>
- [14]Martina Matalová OK stroje. [online]. 2013 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: http://prodej-stroju.cz/?dt_portfolio=vodorovna-vyvrtavacka-w-100-po-go-1983

- [15] Horizontální. *Fermat* [online]. 2010 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.fermatmachinery.com/pouzite-stroje/obrabeci-centrum/horizontalni/mcfh-63-acs-112762/>
- [16] Bruska. *Fermat* [online]. 2010 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.fermatmachinery.com/pouzite-stroje/bruska/bub-501000-nc-cs-121777/>
- [17] *Obráběcí nástroje Sandvik Coromant: Soustružnické nástroje*. 2012. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/downloads/pages/search.aspx?q=Catalogues&rootsite=^cscz%24>
- [18] *Obráběcí nástroje Sandvik Coromant: Rotační nástroje*. 2012. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/downloads/pages/search.aspx?q=Catalogues&rootsite=^cscz%24>
- [19] Multimedia-stahovani. *WNT* [online]. 2013 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: <http://www.wnt.de/cs-cs/WNT-Multimedia-stahovani.htm#0>
- [20] Brusivo s keramickým, pryžovým a pryskyřičným pojivem. *Hardman* [online]. 2002 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: <http://www.hardman.cz/sortiment/brusivo.pdf>
- [21] ČSN ISO 513. *Klasifikace a použití tvrdých rezných materiálů k obrábění kovů určeným ostrím - Označování skupin a podskupin použití*. 3. vyd. Český normalizační institut, 2006.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat technologům ve firmě MSA a.s., zejména panu Ing. Maxovi Večerkovi, za technické rady a pomoc při vypracování praktické části bakalářské práce.

Zároveň bych chtěl poděkovat i vedoucí mé bakalářské práce Ing. et Ing. Mgr. Janě Petřů, Ph.D., z katedry obrábění a montáže VŠB - TU Ostrava za odborné vedení při práci a poskytnutí podkladových materiálů.