

# **ZÁPADOČESKÁ UNIVERSITA V PLZNI**

## **FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní zaměření: Programování NC strojů

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

Autor: **Miroslav Aubrecht**

Vedoucí práce: **Ing. Jan Hnátík, Ph.D**

### **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady či pomoc pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji panu Ing. Janu Hnátíkovi, Ph.D za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za rady a podporu během mého studia.

### **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

### **Autorská práva**

Podle Zákona o právu autorském č. 35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení:</b> Aubrecht	<b>Jméno:</b> Miroslav	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2341R001 „Programování NC strojů“		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	<b>Příjmení:</b> Ing. Hnátík, Ph.D.	<b>Jméno:</b> Jan	
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Racionalizace technologie výroby vzorové součásti		

<b>FAKULTA</b>	Strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZDÁNÍ</b>	2013
----------------	---------	----------------	-----	----------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>		<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>		<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	
---------------	--	---------------------	--	----------------------	--

<p><b>STRUČNÝ POPIS</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL, POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Bakalářská práce obsahuje stručný popis problematiky obrábění materiálu a výběru nástrojů pro vzorovou součást.</p>
<p><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p>	<p>Racionalizace, frézování, vrtání, obrábění, porovnávání, fréza, vrták, modul, HFC, VBD.</p>

### SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname:</b> Aubrecht	<b>Name:</b> Miroslav	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2341R001 „Programming of NC Machines“		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname:</b> Ing. Hnátík, Ph.D.	<b>Name:</b> Jan	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete hen not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Rationalisation of the technology of the sample part production		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Mechine Technology	<b>SUBMITTED IN</b>	2013
----------------	------------------------	-------------------	--------------------	---------------------	------

#### NUMBER OF PAGES (A4 and aq. A4)

<b>TOTALY</b>		<b>TEXT PART</b>		<b>GRAPHICAL PART</b>	
---------------	--	------------------	--	-----------------------	--

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	Bachelor thesis contains a brief description of the issue of cutting material and tool selection for the sample part.
<b>KEY WORDS</b>	Rationalisation, milling, drilling, cutting, collating, cutter, drill, module, HFC, VBD.

# Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

1	Úvod.....	9
2	Definice cílů práce .....	9
3	Rozbor současného stavu .....	9
3.1	Popis polotovaru.....	9
3.2	Popis součásti .....	10
3.3	Popis obrábění .....	10
3.4	Popis problematiky.....	11
3.5	Rozdělení obráběných materiálů .....	11
3.6	Materiály, které jsou obráběny ve firmě. ....	12
3.6.1	Korozivzdorné oceli.....	12
3.6.1.1	Rozdělení korozivzdorných ocelí.....	12
3.6.2	Austenitické oceli .....	12
3.6.2.1	Austenitická ocel 1.4541 .....	12
3.6.3	Feritické a martenzitické oceli.....	13
3.6.4	Duplexní korozivzdorné oceli.....	13
3.6.5	Konstrukční oceli.....	13
3.6.5.1	Oceli třídy 10 .....	13
3.6.5.2	Oceli třídy 11 .....	13
3.7	Materiály nástrojů pro obrábění .....	13
3.7.1	Rychlořezné oceli HSS .....	14
3.7.2	Cermety.....	14
3.7.3	Řezná keramika .....	14
3.7.4	Slinutý karbid.....	14
3.8	Konstrukce nástrojů pro obrábění .....	15
3.8.1	Monolity .....	16
3.8.1.1	Slinuté karbidy .....	16
3.8.1.2	Rychlořezná ocel.....	17
3.8.1.3	Frézy z HSS .....	17
3.8.2	Nástroje s VBD.....	18
3.8.2.1	Frézy s VBD.....	18
3.8.2.2	Vrtáky s VBD.....	18
3.9	Povlakování .....	19
3.9.1	Druhy povlaků .....	19
3.9.1.1	CVD povlaky .....	19
3.9.1.2	PVD povlaky.....	19
3.10	Metody obrábění.....	20
3.10.1	Vysokoposuvové obrábění.....	20
3.10.2	Vysokorychlostní obrábění.....	20
3.10.3	Vysoce výkonné obrábění.....	20
3.11	Frézování .....	21
3.11.1	Sousledné frézování.....	21
3.11.2	Nesousledné frézování.....	21
4	Popis celkové operace výroby .....	22
4.1	Technologie výroby vzorové součásti .....	23
4.1.1	První operace .....	23
4.1.2	Druhá operace .....	24
4.1.3	Třetí operace .....	25
4.1.4	Čtvrtá operace .....	25
4.1.5	Výroba děr 30H7 .....	26
4.1.5.1	Varianta 1 .....	26

## Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

4.1.5.2	Varianta 2 .....	28
4.1.6	Výroba kapsy .....	30
4.1.6.1	Varianta 1 .....	30
4.1.6.2	Varianta 2 .....	30
4.1.7	Sedmá operace .....	31
4.1.8	Osmá operace .....	32
4.2	Kontrola rozměrů .....	32
5	Ekonomické řešení dvou variant .....	34
5.1	Tabulka nákladů .....	35
5.2	Grafické srovnání variant .....	35
6	Závěrečné technologické a ekonomické hodnocení .....	36
obr.: 3-1	výkres vzorové součásti .....	10
obr.: 3-2	rozdělení materiálu [1] .....	11
obr.: 3-3	skupiny obráběných materiálů [3] .....	12
obr.: 3-4	relativní odolnost proti opotřebení a relativní houževnatosti .....	15
obr.: 3-5	tvrdost materiálů za tepla [9] .....	15
obr.: 3-6	vysoce výkonné povlakované monolitní vrtáky ze slinutých karbidů [11] .....	16
obr.: 3-7	monolitní frézy ze slinutých karbidů [12] .....	16
obr.: 3-8	vrtáky z HHS [13] .....	17
obr.: 3-9	frézy z VBD [15] .....	18
obr.: 3-10	vrtáky s VBD [16] .....	19
obr.: 3-11	způsoby frézování válcovou frézou[22] .....	21
obr.: 4-1	pětizubá plátková 90 stupňová fréza s průměrem 50 mm[23] .....	24
obr.: 4-2	plátková dvoubřitá 45 stupňová fréza s VBD [24] .....	25
obr.: 4-3	monolitní vrtáky ze slinutého karbidu [25] .....	26
obr.: 4-4	vrták na kov s kuželovou stopkou DIN 345 HSS 1140 - 29,0mm [26] .....	27
obr.: 4-5	výhrubník [27] .....	27
obr.: 4-6	výstružník strojní 30H7 [28] .....	28
obr.: 4-7	vrták plátkový 3xD D29,5x90 [29] .....	29
obr.: 4-8	vyvrtávací hlava dokončující [30] .....	29
obr.: 4-9	zahlubování pomocí šroubovicové interpolace [31] .....	30
obr.: 4-10	nástroje HFC jsou vybaveny vnitřním přívodem vzduchu [32] .....	31
obr.: 4-11	obrábění na čisto [33] .....	32
obr.: 4-12	základní měrky - Johansonovy kostky [34] .....	33
obr.: 4-13	posuvné digitální měřítko - dolní čelisti [35] .....	33
graf 5-1	závislost ceny výrobku na počtu kusů .....	35
tab.: 4-1	překlad anglických výrazů .....	32
tab.: 5-1	technické parametry pro obrábění, označení šedivých buněk jsou hodnoty pro obě společné varianty .....	34
tab.: 5-2	tabulka nákladů .....	35

# Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

## 1 Úvod

Úvodem je nutno říci, že v současné moderní a technicky vyspělé době je hlavním cílem zdokonalovat výrobní prostředky, technologie, organizaci práce a vyráběné produkty, které vedou k úsporám společné práce a ke zvýšení užitečného efektu výroby a výrobků.

Zpracované téma v této bakalářské práci je aplikováno pro firmu Seele Pilsen s.r.o. V rámci bakalářské práce je popisováno technické řešení, jako jsou např.: progresivní frézování, vrtání a ekonomické řešení, které by mělo vést ke zlepšení výrobního procesu firmy.

Firma Seele Pilsen s.r.o. vyrábí a dodává již od roku 1996 kompletní program individuálních konstrukcí v kombinaci ocel – sklo, zejména bodové fasády, závěsné fasády (ocelové profily, lana), membránová zastřešení, nosné konstrukce, zastřešení příhradové nebo předepruté, svařované profily různých typů a tvarů, vytápěné fasády a protisluneční ochranné clony. V této firmě se pracuje s různými materiály. Jde o konstrukční ocel, z ušlechtilé nerezavějící oceli a o lehké kovy a jejich slitiny.

Jedna ze základních činností podniku je technologické projektování, které zajišťuje výrobní činnost. Globální problematika činnosti výroby se musí brát ve všech fázích, jak systémově, tak i komplexně. Dílčím základem jsou optimální technologické metody, optimální výrobní zařízení, vybavení systému, automatizace a dosažení ekonomicky výhodného výrobního procesu jako celku.

## 2 Definice cílů práce

Tato bakalářská práce je zaměřena na návrh a vypracování varianty pro zlepšení technologických postupů, které mohou zdokonalit kvalitu a efektivitu jednotlivých operací, mohou vést k úsporám materiálu, energie a omezení environmentálních dopadů na životní prostředí apod.

Návrhy se budou zabývat tím, jak použít různé druhy nástrojů vhodné pro daný materiál a také se pokusí navrhnout potřebné výrobní procesy této technologie, jako jsou – posuv, otáčky, řezná rychlost, posuv na zub.

## 3 Rozbor současného stavu

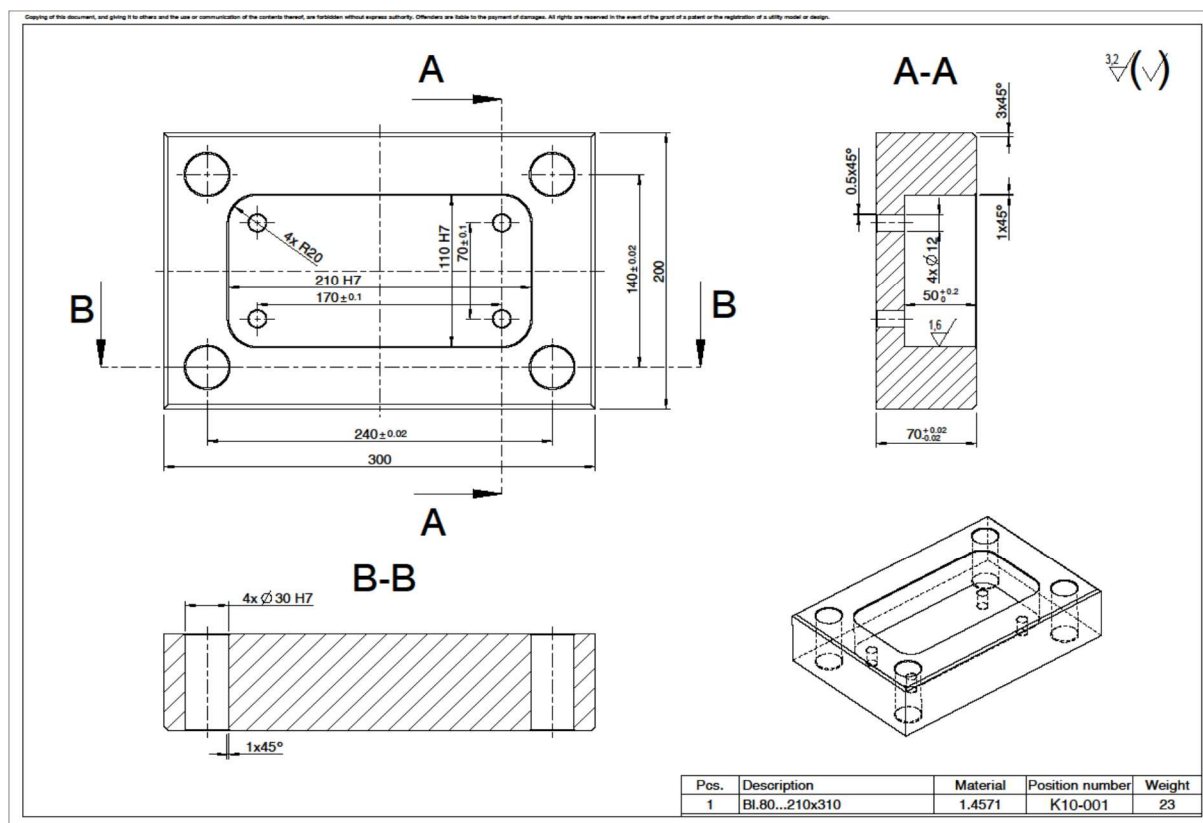
### 3.1 Popis polotovaru

Popis použitého polotovaru: materiál 1.4541 austenitická ocel s přísadou titanu, ocel je odolná teplotě do 800 °C a je legovaná (chrom 17-18%, nikl 9-12%, titan 0,4-0,7%, uhlík < 0,8), rozměry polotovaru jsou 310x210x80 mm, hmotnost polotovaru je 42 kg.

# Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

## 3.2 Popis součásti

Součást modulu je tvar kvádru o základních rozměrech 300x200x70 mm. Na čelní straně jsou umístěny čtyři díry o průměru 30 mm s geometrickou přesností H7, které jsou osově souměrné s roztečí 240 a 140 mm. Obě rozteče mají rozměrovou toleranci přesnosti 0,02 mm. Na středu čelní strany se nachází uzavřená kapsa, která je umístěna ve středu modulu. Kapsa má obdélníkový průřez o rozměrech 210x110 mm s geometrickou tolerancí přesnosti H7 a kolmé hrany jsou zaobleny rádiusem 20 mm. Kapsa má hloubku 50 mm, s rozměrovou tolerancí +0,2 mm. Na spodní straně kapsy jsou umístěny čtyři díry o průměru 12 mm. Tyto díry jsou osově souměrné s roztečí 170 a 70 mm. Na obě rozteče je předepsaná rozměrová tolerance přesnosti 0,1 mm. Vnější kontura modulu na vnější straně je zkosena na 3x45°. A vnější kontura kapsy je zkosena na 1x45°. Vnitřní strany kapsy mají předepsanou drsnost Ra 1,6 a zbytek modulu má Ra 3,2. Díry modulu průměru 30 mm mají úkos 1x45° z obou stran. Díry o průměru 12 mm mají úkos 0,5x45° také z obou stran.



obr.: 3-1 výkres vzorové součásti

## 3.3 Popis obrábění

Strany a čelo modulu se opracovává čelní vřetovou frézou s VBD. Následně jsou vyvrtány čtyři díry o průměru 30 mm a posléze jsou obroubeny na přesný rozměr H7. Frézou s VBD vyhrubuje kapsu, kterou posléze monolitní frézou vyfrézuje na požadovaný rozměr a drsnost. Na dně kapsy se vyvrtají čtyři díry o průměru 12 mm. Zkosené hrany modulu jsou zkoseny úkosovou frézou dle výkresu. Podrobný popis obrábění je popsán v kapitole “Technologie výroby vzorové součásti”.



# Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

## 3.4 Popis problematiky

V rámci navrhované varianty a problematiky výroby držáku modulu pro matrice na odlévání odlitků je popisován stručný současný stav této firmy. Firma se v rámci této nové výroby rozhodla v kooperaci pro výrobu těchto modulů. Dle analýzy, jež popsána v této bakalářské práci, je varianta nepříliš produktivní. Dále je navrhována a popisována možná odlišná varianta či způsob jiného obrábění těchto modulů. Postupnou analýzou dané současné situace firmy a výběrem nového způsobu bylo zjištěno, že výběr technologického zpracování těchto modulů není příliš vhodný. Toto je dále zpracováno níže. Závěrem lze zhodnotit v první řadě rozdíl a přínosnost obou variant.

## 3.5 Rozdělení obráběných materiálů

Ve strojírenství při obrábění máme řadu různých materiálů, které mají specifické vlastnosti, tepelné zpracování, přísady, tvrdost atd.

 Ocel	 Korozivzdorná ocel	 Litina
 Hliník	 Žárovzdorné slitiny	 Tvrdená ocel

obr.: 3-2 rozdělení materiálu [1]

Obráběné materiály proto byly rozděleny do šesti hlavních skupin v souladu se standardy ISO, přičemž každá z těchto skupin má specifické vlastnosti z hlediska obrobitelnosti:

**ISO P** – Oceli představují největší skupinu materiálů pro oblast obrábění kovů a dále se dělí do skupin od nelegovaných až po vysokolegované materiály včetně ocelí na odlitky a feritických a martenzitických korozivzdorných ocelí. Obrobitelnost je obvykle dobrá, ale značně se liší v závislosti na tvrdosti materiálu, obsahu uhlíku atd.

**ISO M** – Korozivzdorné oceli jsou materiály s přísadou minimálně 12% chromu; mezi ostatní přísady patří nikl a molybden. Různé druhy, jako například feritické, martenzitické, austenitické a austeniticko-feritické (duplexní), dohromady tvoří velkou skupinu. Společnou vlastností všech těchto typů je, že břity jsou vystaveny účinkům velkého množství tepla, opotřebení ve tvaru vrubu a tvoření nárůstku.

**ISO K** – Litina, na rozdíl od oceli, je typem materiálu, který tvoří krátké třísky. Obrábění šedé litiny (GCI) a temperované litiny (MCI) je skutečně jednoduché, zatímco obrábění modulární litiny (NCI), kompaktní litiny s červíkovým grafitem (CGI) a izotermicky kalené litiny (ADI) je mnohem obtížnější.

**ISO N** – Neželezné kovy jsou měkké kovy, jako například hliník, měď nebo mosaz atd. Hliník s obsahem Si 13% je velice abrazivní. Obecně je u břitových destiček s ostrými břity možné předpokládat použití vysokých řezných rychlostí a dlouhou životnost nástroje.

## Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

**ISO S** – Žáruvzdorné superslitiny zahrnují celou řadu vysokolegovaných ocelí a materiály na bázi niklu, kobaltu a titanu. Tyto materiály snadno ubývají na břitu a tvoří nárůstek, během obrábění dochází k jejich zpevňování (mechanické zpevňování) a během jejich obrábění vzniká velké množství tepla. Jejich vlastnosti jsou velmi podobné jako u oblasti ISO M, ale jejich obrábění je ještě mnohem obtížnější a životnost břitu je kratší.

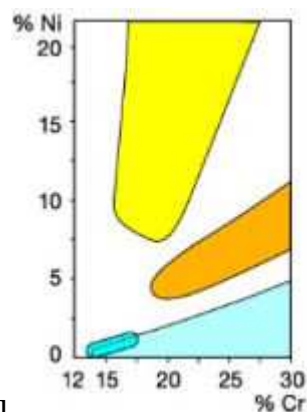
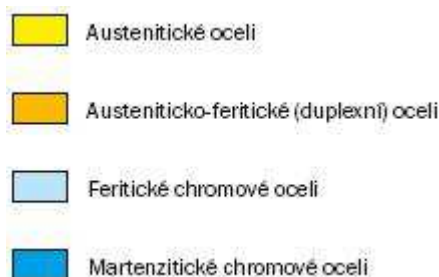
**ISO H** – Tato skupina zahrnuje oceli o tvrdosti mezi 45-65 HRC a také tvrzené litiny v rozmezí 400-600 HB. Jejich tvrdost činí všechny tyto materiály obtížně obrobitelnými.[2]

### 3.6 Materiály, které jsou obráběny ve firmě

#### 3.6.1 Korozivzdorné oceli

Má hlavní základní složku Fe (železo), další složkou je chrom, který představuje větší podíl než 12%, další různé přísady jsou Ni (nikl), Mo (molybden), Nb (niob), Ti (titan), které ovlivňují technologické vlastnosti, odolnost proti korozi, vysokým teplotám a vysokou pevnost. Obrobitelnost korozivzdorné oceli je závislá na legujících prvcích a na tepelném zpracování.

##### 3.6.1.1 Rozdělení korozivzdorných ocelí



obr.: 3-3 skupiny obráběných materiálů [3]

#### 3.6.2 Austenitické oceli

Složení oceli je chrom 17-18%, nikl 9-12%, titan 0,4-0,7%, uhlík < 0,8, představují hlavní skupinu korozivzdorných ocelí.

##### 3.6.2.1 Austenitická ocel 1.4541

Austenitická ocel s přísadou titanu odolává vysokým teplotám až 850°C, ale její použití se aplikuje většinou od teplot 300°C. Obrobitelnost závisí hlavně na legujících prvcích (uhlík, chrom, mangan, nikl, síra a fosfor). Karbidy titanu mají vliv na horší řeznou obrobitelnost, zvyšují abrazivní účinky. Austenitická ocel 1.4541 má zvýšenou odolnost proti korozi. Při velmi vysokých teplotách se austenit přemění na deformační martenzit, kde vzniká velmi tvrdá struktura (tvorba tvrdých karbidů), která má za následek obtížné obrábění. Při tvrdé struktuře vznikají tvrdé třísky, které následně otupují břity nástroje. Při obrábění, kde

## Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

působí značné řezné síly a dochází ke zvýšení tepla, je následkem nárůst břitu (zvětšení objemu nástroje) a mechanické zpevnění materiálu.[4]

### 3.6.3 Feritické a martenzitické oceli

Tyto oceli mají obsah 12-18% chromu s minimálním procentem legujících prvků. Feritické a martenzitické oceli mají vysoký obsah uhlíku, kde uhlík umožňuje kalení oceli.

### 3.6.4 Duplexní korozivzdorné oceli

Duplexní korozivzdorné oceli, které se skládají ze stejných dílů, ferritu a austenitu. Ve feritických korozivzdorných ocelích s přísadou Ni (nikl) dochází ke smíšení struktury ferritu a austenitu. Tyto oceli se pak nazývají duplexní oceli. Duplexní materiály mají vysokou pevnost v tahu a dosahují velmi vysoké odolnosti proti korozi. Obrobitelnost duplexových materiálů je velice špatná, důsledkem velkých hodnot meze pevnosti tahu a meze kluzu, dále vyššímu podílu ferritu, což má za následek vznik tvrdých třísek, které se zasekávají do materiálu, a tímto se zvýší nárůst řezných sil.[5]

### 3.6.5 Konstrukční oceli

Pro své mechanické a technologické vlastnosti je ocel nejdůležitějším technickým materiálem. Je slitinou železa s uhlíkem a dalšími prvky, obsah uhlíku je menší než 2,11 %.

#### 3.6.5.1 Oceli třídy 10

Konstrukční oceli jsou nejlevnější uhlíkové (nelegované), mají většinou malý obsah uhlíku, nemají zaručenou čistotu a chemické složení, dosahují pevnosti tahu 400-790 MPa. Jsou dobře obrobitelné. Vyrábějí se z různé konstrukce, strojní součásti, šroubů, hřebíků, nýtů a výztuže betonu.

#### 3.6.5.2 Oceli třídy 11

Konstrukční oceli jsou uhlíkové (nelegované) se zaručenou čistotou materiálu a se zaručeným obsahem fosforu a síry. Oceli třídy 11 zaručují pevnost tahu 280 MPa až 900 MPa i mez v kluzu. Oceli obsahují až 0.6% uhlíku. Jsou dobře obrobitelné. Vyrábí se různé profily, dráty, plechy, trubky, výkovky a jsou vhodné pro svařované konstrukce.[6]

## 3.7 Materiály nástrojů pro obrábění

Obrobitelnost závisí na přísadách, na tepelném zpracování nebo na tváření. V současné době jsou řezné nástroje pro obrábění vyráběny z různých materiálů, od nástrojových ocelí (zejména rychlořezných), slinutých karbidů, cermetů, řezné keramiky po super tvrdý materiál (syntetický diamant a kubický nitrid boru). Nástroje vyrobené z těchto materiálů musí vytvářet požadovaný povrch obrobku, musí dodržet předepsané geometrické tvary a rozměry. K obrábění by měl být vybrán určený řezný nástroj na vybraný materiál. Břit nástroje má být

## Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

houževnatý a současně má mít vysokou tvrdost v oblasti ostří, jež má být odolné proti opotřebením i při vysokých pracovních teplotách.

### 3.7.1 Rychlořezné oceli HSS

Nástrojové oceli třídy 19 vysokolegované uhlíkem, které obsahují vyšší podíl uhlíku od 0.7 až 1.5 %, se tepelně zpracovávají (kalením), a jsou určeny pro rychlořezné nástroje. RO (rychlořezná ocel) je určena pro výrobu vysoce namáhaných řezných nástrojů. Při obrábění dochází v místě řezu k velkým teplotám až 600 °C, kde dochází k popouštění a tímto i k otupení břitu nástroje. Pro zvýšení řezné rychlosti nástroje a produktivity výroby musí zůstat zachovány vlastnosti nástrojových ocelí i při zvýšeném tepelném namáhání, je nutno zvýšit odolnost.

Odolnost se zvýší legujícími prvky (wolfram, kobalt, chrom, vanad, molybden). Inovace nástrojů z rychlořezné oceli může být vyráběna z práškové metalurgie. Za cíl má zvýšení jakosti rychlořezných ocelí.

### 3.7.2 Cermety

Cermety se skládají z keramických částic a kovového pojiva. Cermety se vyrábí lisováním a spékáním keramického prášku a kovového pojiva. Vlastností materiálu je tvrdost a odolnost proti deformaci, kde cermety obsahují tvrdé složky jako je TiC karbidem titanu, TiCN karbonitridem titanu a TiN nitridem titanu. Cermety díky svému složení mají dlouhou životnost, dosahují velkých přesností a použití na dokončovací operaci. Nevýhodou cermetů je křehkost řezných plátků.[7]

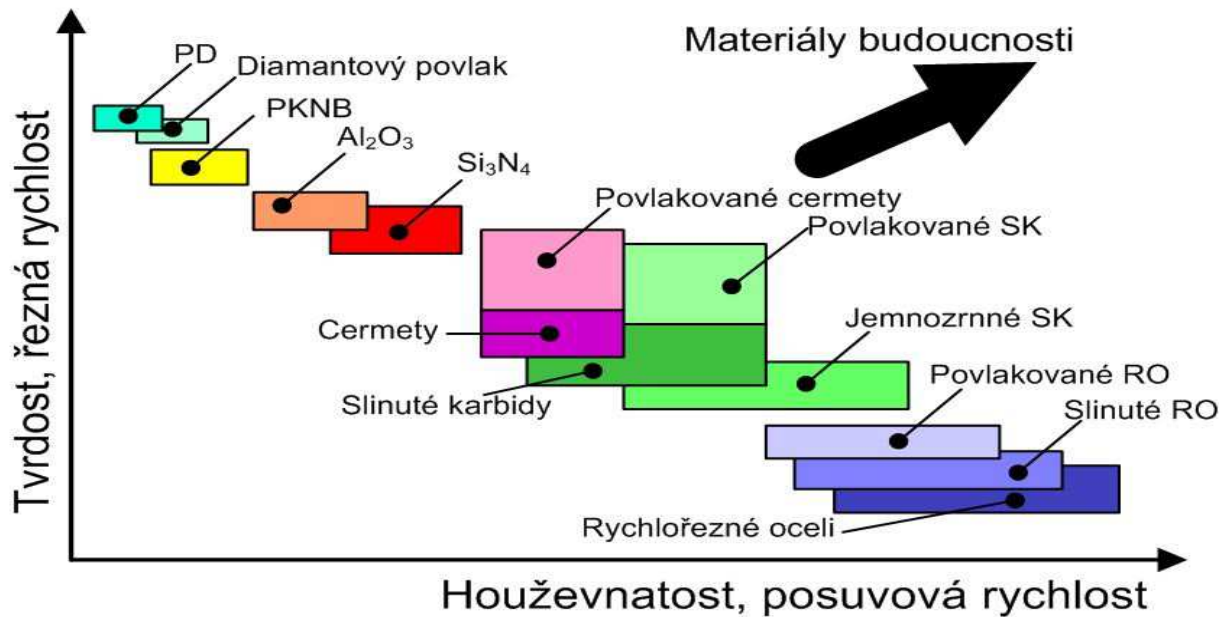
### 3.7.3 Řezná keramika

Řezná keramika patří do anorganických materiálů. Používá se na obrábění tvrdých materiálů, protože její konzistence materiálu je tvrdá, odolává velkým teplotám a minimálnímu opotřebením řezného břitu. Na řeznou keramiku jsou kladeny velké teplotní nároky na obrábění materiálu, kde už není možno obrábět se slinutými karbidy. Nevýhoda řezné keramiky je křehkost materiálu a špatná vodivost tepla.

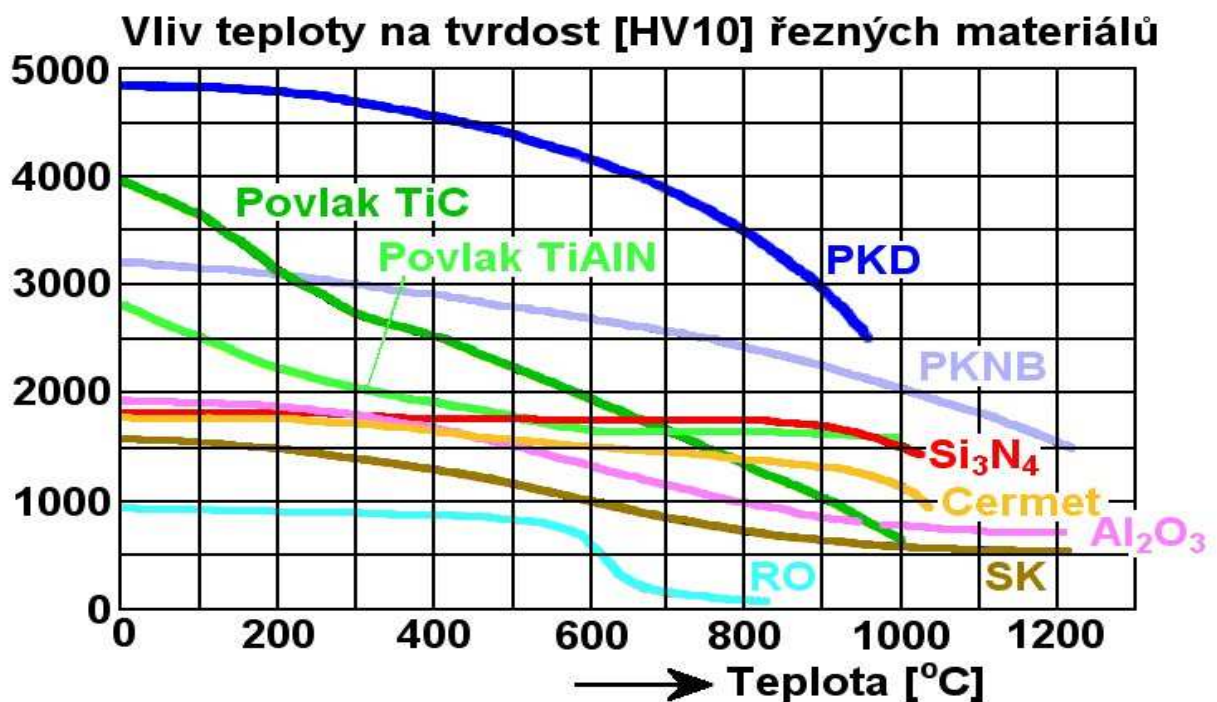
### 3.7.4 Slinutý karbid

Slinutý karbid je produkt, který je vyráběn práškovou metalurgií pro výrobu obráběcích nástrojů (vrtáky, soustružnické nože, výstružníky, SK plátky), které jsou směsí karbidu wolframu (WC) a pojiva kobaltu (Co). Ve slinutých karbidech pro obrábění se vyskytuje více než 80% karbidu wolframu. Další důležitou přísadou jsou příměsi kubického karbonitridu titanu. Dalšími složkami pro výrobu jsou: karbidy titanu (TiC), karbid niobu (NbC), karbid tantalů (TaC). Výroba nástrojů se provádí buď lisováním prášku, nebo vstříkáváním směsi prášku do formy, další proces je slinování, které je používáno u obou metod, kde polotovary dosáhnou plné tvrdosti.

## Racionalizace technologie výroby vzorové součásti



obr.: 3-4 relativní odolnost proti opotřežení a relativní houževnatosti pro různé druhy řezných materiálů [8]



obr.: 3-5 tvrdost materiálů za tepla [9]

### 3.8 Konstrukce nástrojů pro obrábění

Pro kvalitní obrábění je velice dobré vybrat vhodný typ nástroje pro obrábění, řezné podmínky i pro zlepšení kvality povrchu a použití správné technologie. Správná volba nástroje se volí podle houževnatosti a tvrdosti obráběného materiálu, v našem případě nerezový materiál. V této situaci jsou používány vyměnitelné břitové destičky, které mají velký a zásadní vliv na obrábění.

# Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

## 3.8.1 Monolity

### 3.8.1.1 Slinuté karbidy

Zde jsou popisovány monolitní vrtáky a frézy ze slinutých karbidů (tvrdokovů). Monolit je velmi odolný materiál proti opotřebení, jeho vlastnosti se vyznačují vysokou tvrdostí, vysokou pevností v tlaku s vysokým modulem pružnosti, s dostatečnou houževnatostí, dobrou obrobiteľnosťou a nepatrnou tepelnou rozťažnosťou. Jeho hlavnými mechanickými výhodami je tvrdosť, houževnatosť a pevnosť. Pro obrábění se musí zvolit vhodný nástroj pro danou operaci. Monolitní vrtáky s vnitřním chlazením umožňují vrtání velmi hlubokých děr.[10]



obr.: 3-6 vysoce výkonné povlakované monolitní vrtáky ze slinutých karbidů [11]



obr.: 3-7 monolitní frézy ze slinutých karbidů [12]

# Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

## 3.8.1.2 Rychlořezná ocel

Rychlořezná ocel je využívána pro výrobu rychlořezných nástrojů (soustružnických nožů, vrtáků, fréz). Pro vysoké řezné rychlosti je tento nástrojový materiál označen jako High Speed Steel (HSS), který je používán pro kusové nebo malosériové výroby. Nevýhodou HSS je malá řezná rychlost, nízká životnost, malé posuvy a je bez vnitřního chlazení. Další nevýhodou je rychlé opotřebení a při velké teplotě v řezu se změní struktura řezné oceli a začne se drolit a je nepoužitelná.



obr.: 3-8 vrtáky z HHS [13]

## 3.8.1.3 Frézy z HSS



Dokončovací fréza u měkkých, houževnatých materiálů nebo materiálů tvořících dlouhou třísku. Výsledkem je dobrá kvalita povrchu.



Hrubovací fréza u měkkých a houževnatých materiálů nebo materiálů tvořících dlouhou třísku. Na povrchu jsou patrné výrazné stopy.



Hrubovací dokončovací fréza u normálních až pevných materiálů. Díky kvalitním povrchům i při vysokých posuvech často odpadá dokončovací frézování.



Dokončovací fréza u vysoce pevných a křehkých materiálů. Ovšem velmi vhodné i pro frézování tenkostěnných obrobků a plechů. Výsledkem je dobrá kvalita povrchu.[14]

# Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

## 3.8.2 Nástroje s VBD

### 3.8.2.1 Frézy s VBD

Pro čelní frézování se používají frézy s VBD nastavením a s úhlem 45 stupňů. Pro velké rychlosti a posuvy (na zub až 3 mm) je možné použít frézu s nastavenými břitovými destičky s malým úhlem (10 stupňů) nebo lze použít frézy s VBD kruhovými břitovými destičky s ohledem na tloušťku třísky. Přestože hloubka třísky je menší než 2 mm, extrémní rychlost posuvu je progresivní při malých axiálních hloubkách řezu, tato metoda je upřednostňována jako vysoce výkonná.

Je vždy nutné přizpůsobení rychlosti posuvu a hodnoty frézovacího stroje v závislosti na obráběcích podmínkách a tuhosti. Aby nedocházelo k vibracím, které by mohly poškodit břitové destičky a mohlo by dojít i k vibracím obrobku. Výhodou břitových destiček je velká trvanlivost ostří břitu, dobrá kvalita povrchu a velká produktivita při velkých rychlostech.



obr.: 3-9 frézy z VBD [15]

### 3.8.2.2 Vrtáky s VBD

Vrtání s vrtáky s VBD je produktivní obrábění děr. Vrtací nástroj je vybaven vyměnitelnými břitovými destičkami. Tyto vrtáky nepotřebují předvrtávání, protože technologické provedení a pevnostní materiály dovolují přímé vrtání do vrtaného materiálu a tak i do šikmých a do hlubokých děr. Tyto vrtáky mají vnitřní chlazení nebo přímé vnější chlazení na vrtací nástroj. Tímto způsobem chladicí emulze nejen ochlazuje vrták, ale i odvádí z díry třísky. Vrtáky s VBD mají široký rozsah průměrů až do 60 mm. Vyměnitelné břitové destičky mají různou geometrii tvaru podle způsobu obrábění a druhu materiálu (ocel, nerez, litina). Kvalitní díra je provedena při správných řezných parametrech, výběru vyměnitelné břitové destičky podle volby materiálu, tuhosti obrobku a s minimální házivostí nástroje.





obr.: 3-10 vrtáky s VBD [16]

## 3.9 Povlakování

Technologie povlakování materiálu nástroje vytváří progresivní mechanické vlastnosti, jako tvrdost nebo houževnatost. Nanesené povlaky jsou vždy tvrdší než řezný materiál, z něhož je nástroj vyroben. Tímto je v podstatě vytvořen nástroj s houževnatým jádrem a tvrdým povrchem. Tímto lze získat velice kvalitní nástroje pro vysoké řezné rychlosti, vysoké posuvy a velký odběr třísky z obrobku.

### 3.9.1 Druhy povlaků

#### 3.9.1.1 CVD povlaky

- (Chemical Vapor Deposition) je chemická metoda nanášení povlaku. CVD povlak vzniká při chemické reakci při teplotě 700-1050°C. Mají vysokou odolnost proti otěru a skvělou adhezi (přilnavost) ke slinutým karbidům a chrání povrch slinutého karbidu a udrží jej neporušený.

**CVD-TiCN** - Karbonitrid titanu a jeho tvrdost zajišťuje odolnost proti opotřebení otěrem, což má za následek menší opotřebení hřbetu.

**CVD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** - Korund (oxid hlinitý)

**CVD-TiN** - Nitrid titanu zlepšuje odolnost proti opotřebení [17]

#### 3.9.1.2 PVD povlaky

- (Physical Vapor Deposition) jsou nanášeny při teplotě 400-600°C. Pro technologii povlaků jsou využity tři základní způsoby (napařování, naprašování a iontová implantace). PVD povlaky díky své tvrdosti ještě zvyšují odolnost proti otěru a odolnost proti tepelným hřebenovým trhlinám. PVD se aplikuje pro houževnaté břity, jak pro monolitní karbidové frézy, tak i pro monolitní vrtáky.

**PVD-TiN** - Nitrid titanu byl prvním povlakem nanášeným metodou PVD.

**PVD-TiCN** - Karbonitrid titanu je tvrdší než TiN a zvyšuje odolnost proti opotřebení hřbetu.

**PVD-TiAlN** - Titan aluminium nitrid má vysokou tvrdost s vysokou odolností proti oxidaci, což celkově přispívá ke zvýšení odolnosti proti opotřebení.[18]

# Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

## 3.10 Metody obrábění

### 3.10.1 Vysokoposuvové obrábění

**HFC** (High Feed Cutting – rychlé posuvné řezání) je systém vysoko posuvového frézování. Patří mezi produktivnější obrábění v oblasti strojírenství, vedoucí k podstatnému zvýšení výrobního procesu při obrábění. Nové nástřené frézy, šroubovací frézy a stopkové frézy s destičkami mají při obrábění příznivý směr výsledné řezné síly směrem do vřetena. Tím jsou kladeny minimální nároky na tuhost obráběcího stroje a lze zabezpečit klidný chod v řezu bez vibrací. Význačnou výhodou fréz HFC je eventuálně použití těchto nástrojů pro obrábění s posuvem až 3 mm na zub, to značně zvýší množství odebraného materiálu na obrobku. Tělesa fréz pro HFC pro frézování jsou ošetřeny tvrdou vrstvou Ni (Nikl) proti abrazivnímu otěru, čímž se zvýší životnost nástroje.

Hlavní výhody:

- velmi klidné obrábění přesné geometrie lehkého řezu s velmi pozitivními úhly čela
- větší životnost, lepší kvalitu povrchu a potlačování vibrací
- rovinné frézování s maximálním posuvem
- snadnější frézování hlubokých kapes a minimální namáhavost vřetena
- snížení rizika vibrací při obrábění s velkým vyložením řezného nástroje [19]

### 3.10.2 Vysokorychlostní obrábění

**HSC** (High Speed Cutting) je vysoko rychlostní obrábění, stejná technologie platí pro suché či tvrdé obrábění. Princip frézování je založen na zvyšování řezné rychlosti a teploty třísky. Pod podmínkou, že řezání kovu nastane tehdy, kdy tvrdost řezného materiálu je větší než obráběný materiál. Technologie spočívá v tom, že teplota třísky se přiblíží tavné teplotě obráběného materiálu a při dané řezné rychlosti dojde náhle ke změně struktury vznikající třísky. Tímto vzniká snížení přítláčné řezné síly na čelo řezného břitu. Při vysokých rychlostech tříška nestihne předat teplo a převážně všechno teplo odchází s třískou. Řezné nástroje jsou charakterizovány vysokou kvalitou ostří, aby vzdorovaly velkým změnám teploty a mechanickým rázům. Aby efekt obrábění splňoval podmínky HSC, je nezbytné se vyhnout případnému chlazení chladicí emulzí.

Hlavní výhody:

- vysoká kvalita obráběného povrchu
- větší objem třísky při hrubování
- velké rychlosti při obrábění, kde jsou vysoké teploty odváděny třískou
- menší vznik chvění, protože velká budicí frekvence otáčení vřetena je mimo oblast samobuzeného kmitání
- obrábění bez chladicí kapaliny [20]

### 3.10.3 Vysoce výkonné obrábění

**HPM** (High Performance Machining), které jsou určeny pro vysoce výkonné obrábění, dosahují velkých řezných hloubek (ap) materiálu, šířky řezu a délky zanořeného nástroje, za

# Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

běžných posuvů a řezných rychlostí. Výsledkem je velká produktivita, kdy dochází k velkému odběru množství hmoty nebo při řezání obtížně obrobitelných materiálů. HPM systém je zaměřen na nástroj, který má vyvinutou speciální geometrii (konstrukce zubových drážek), kde karbidové řezné ostří je povlakováno proti opotřebení, čímž je možné dosáhnout nadprůměrných výsledků za vynaložení minimální investice do obráběcích strojů. Dále systém musí mít zaručený vysoký výkon stroje a vysoké kroutící momenty vřetena. Nástroje, které se často používají pro obrábění, jsou výkonné frézovací hlavy, čelní stopkové frézy, vrtáky a vyvrtávací hlavy.

*Hlavní výhody:*

- vysoká produktivita díky vysokým posuvům
- nízké radiální síly, umožňující velké vyložení
- ponorné frézování a cenově příznivý nástroj [21]

## 3.11 Frézování

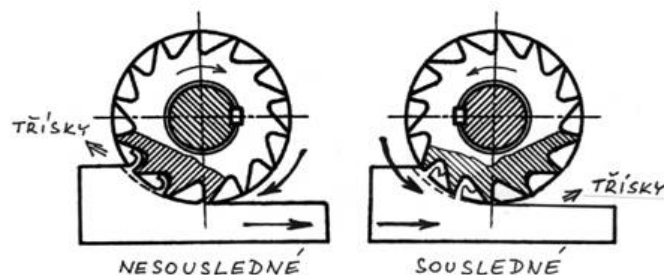
**Frézování** je třískové obrábění, při kterém je odebíraná vrstva materiálu, kdy fréza se otáčí kolem své osy, koná hlavní rotační pohyb a vykonává vedlejší pohyb (posuv, přísuv). Fréza odebírá více materiálu zubním rotačním nástrojem. Jednotlivé zuby frézy odřezávají obráběný materiál a vytváří se nepravidelné krátké třísky a tento proces je přerušovaný. Tato metodou umožňuje použití různých nástrojů, kdy je možné obrábět šikmé plochy, rovinné plochy, drážky, kapsy, závity, rotační tvary, ozubená kola a hřebeny. Frézování rozdělujeme na sousledné a nesousledné.

### 3.11.1 Sousledné frézování

Při sousledném frézování se fréza otáčí ve stejném směru, jako se pohybuje obrobek, řezná síla působí dolů k materiálu. Tříska jde od maximální do minimální tloušťky. V nevýhodě jsou rázy, které umíme konstrukčně vymezit (nepravidelnou roztečí zubů).

### 3.11.2 Nesousledné frézování

Při nesousledném frézování se fréza otáčí v opačném směru, než se posouvá obrobek. Tříska jde od minimální do maximální tloušťky. Řezná síla působí nahoru od materiálu. Nevýhodou je, že zuby frézy se třou o již obrobenou plochu, čímž se zahřívá obrobek a drsnost povrchu má horší kvality. Vhodné pro odstraňování hrubých licích struktur.



obr.: 3-11 způsoby frézování válcovou frézou [22]

## Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

Při frézování austenických a duplexních ocelí nastávají problémy s obráběcím následkem těchto příčin. Vylamování břitů v důsledku tepelných trhlin, opotřebením tvaru a ubývání materiálu na břitu nástrojů. Ke zvýšení životnosti řezných destiček při obrábění stačí zvolit odpovídající geometrii, úhel břitu, toleranční třídu a specifikaci řezného materiálu

Při hrubování je potřeba použít menší řezné rychlosti než u klasických konstrukčních ocelí z důvodu nárůstu na břitu a vyvarování se tepelných trhlin na řezné destičce, proto je nutné obrábění polotovaru za sucha bez chladicí kapaliny. Nevýhodou hrubování je velké tepelné zatížení nástroje.

Při dokončovacích operacích, pro dosažení kvality povrchu, se využívá v některých operacích chladicí emulze nebo olejové mlhy. Při dokončovacích operacích je malé odebrání třísek, čímž vznikají menší teploty, a tohoto způsobu nehrozí vznik tepelné trhliny na řezné destičce. Pro zlepšení kvality povrchu bez chladicí emulze je možno použít cermetové řezné destičky.

### 4 Popis celkové operace výroby

Vybraná součást je z nerezové oceli. Nejdříve je nutné navrhnutí polotovaru, ze kterého bude finální výrobek vyroben. Polotovar bude mít minimální přídavky na obrábění.

Za prvé se vybere NC stroj, na kterém se bude provádět výrobní proces. NC stroj (numerical control) je obráběcí centrum s řídicím systémem. Na těchto obráběcích centrech se součást obrábí a dosahuje se vysoké přesnosti. Pomocí řídicích systémů je možno vytvářet stále dokonalejší programy, které s použitím makro podprogramů a podprogramů lze využívat pro tvarově složité součásti.

Na obráběném polotovaru se vybere základna polotovaru, který bude upnut do upínacích čelistí NC stroje. Součást se bude obrábět na NC stroji AXA. Zpracované součásti při obrábění vyžadují vysokou dynamickou pevnost a tuhost upnutí řezných nástrojů.

V tomto případě nelze neopomenout tři základní bezpodmínečná pravidla, která jinak nezajistí spolehlivé provedení pracovního procesu. Tyto základní podmínky jsou v první řadě pevnost obráběcího vřetena daného stroje, ale i pevnost samotného nástroje a bezpodmínečně pevnost použitého materiálu, také i přesnost relativní polohy a funkčního posuvu nástroje vzhledem k obrobku. K dosažení jedné podmínky upnutí, musí být materiál upnut na té nejdelší straně obráběného polotovaru.

Při dalším kroku operace je vybrán daný nástroj předem určený pro čelní frézování našeho polotovaru. Nástroje jsou zvoleny dle požadované situace pro konkrétní operaci, kde se použije upnutí pro krátké vyložení frézy. První krok bude hrubování, kde se frézou s VBD odfrézuje přebytečný materiál ze zůstávající kontury výrobku.

# Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

## 4.1 Technologie výroby vzorové součásti

Výrobním procesem se aplikují dvě různé varianty na předložené součásti. Zde pracovní proces bude stejný v první a druhé variantě, pro první, druhou, třetí, čtvrtou, sedmou a osmou operaci. Pro zbylé operace zde budou popisovány rozdílné varianty činností obrábění. Takto budou předloženy dvě různé varianty, které se budou lišit jak časovým, tak i technologickým provedením.

Řezné parametry:

$v_c$ .....řezná rychlost

$n$ .....otáčky vřetene

$v_f$ .....rychlost posuvu

$f_z$ ..... posuv na zub

### 4.1.1 První operace

Polotovár, který se bude obrábět, se vloží do svěráku a bude upnut do čelistí svěráku. Materiál je upnutý v délce 300 mm a hloubce upnutí 5 mm. Upnutý polotovár musí být dostatečně tuhý kvůli otřesům materiálu. Nástroj je upevněn na krátkém vyložení dřívku do upínače, také nástroj musí být dostatečně tuhý kvůli odolnosti proti vibracím. Byla použita pětizubá devadesáti stupňová fréza s VBD s průměrem 50 mm, tato fréza je velice produktivní, s použitím řezných destiček schopných dosahovat vysokých řezných rychlostí. VBD fréza, vložena do NC stroje, která začne sousledně obrábět polotovár.

V první fázi obrábění je ofrézována 1/5 čela polotováru s přísvem 1 mm. V délce 300 mm je obrobena první linie obrobku. Potom se vyfrézuje druhá linie ve stejné hloubce jako první linie a i zde je použito sousledné frézování. Třetí linie je frézována s přísvem 1 mm v délce 300 mm, stejně také čtvrtá a pátá linie s přísvem 1 mm v délce 300 mm. Při obrábění lze dosáhnout kvalitního povrchu.

$v_c = 120 \text{ m/min}$

$n = 760 \text{ 1/min}$

$v_f = 760 \text{ mm/min}$

$f_z = 0,2 \text{ mm}$



obr.: 4-1 pětizubá plátková 90 stupňová fréza s průměrem 50 mm[23]

Pětizubá 90 stupňová fréza s VBD s průměrem 50 mm. Použití frézování čela, boků, drážek a ostrých rohů. Dosahuje velmi kvalitního povrchu a použití řezných destiček.

### 4.1.2 Druhá operace

Pro frézování obvodu se využívá plátkové frézy s VBD. Hloubka řezu se volí maximálně vůči nástroji, stroji a možnosti obrobku. Druhou operací je obrábění boční kontury polotovaru za využití pětizubé 90 stupňové frézy s VBD. Z ekonomického hlediska lze použít stejnou frézu jako při první operaci, poněvadž se nemusí měnit nástroj ve výměníku nástrojů. Obrábění boční kontury se bude frézovat sousledně, protože sousledné frézování zvyšuje životnost nástroje. Nástroj se bude opakovaně snižovat o čtyři milimetry v ose Z. Pohyby nástroje se spojí do ekvidistanty, čímž je dosaženo spojitosti dráhy. Tato strategie využívá maximální dovolené zanořování plátkové frézy. Až je dosaženo požadované hloubky obráběného obrobku.

Obrábění ekvidistantou je provedeno tak, aby účinek řezných sil směřoval proti opěrným plochám přípravku. Plátková fréza pracuje s maximální technologickou možnou hloubkou řezu. Všechny tyto hodnoty posuvu mají vliv na velikost odebraného materiálu.

$$v_c = 130 \text{ m/min}$$

$$n = 830 \text{ 1/min}$$

$$v_f = 830 \text{ mm/min}$$

$$f_z = 0,2 \text{ mm}$$

# Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

## 4.1.3 Třetí operace

**Třetí operací** je obrábění úkosu vyměněním za plátkovou dvoubřitou 45 stupňovou frézu s VBD.

Obrobek je ponechán upnut v čelistech a začne frézování kontury 45° x 3 mm. Úkos bude obráběn sousledným frézováním a kontura obrobku ofrézována do finální podoby bez žádného přídatku materiálu. Plocha polotovaru je obráběná s maximální možnou třískou, až odstraní přebytečný materiál. Je zachováno krátké vyložení nástroje, pro zachování tuhého upnutí a minimální vibrace. Při frézování obrobku je dosahováno k požadované drsnosti povrchu obrobku a rozměrová přesnost.

Po dokončení šesté operace bude tímto nástrojem obrobena zkosení 4 děr o průměru 30 mm na 1x45°.

$$v_c = 120 \text{ m/min}$$

$$n = 2390 \text{ 1/min}$$

$$v_f = 956 \text{ mm/min}$$

$$f_z = 0,2 \text{ mm}$$



obr.: 4-2 plátková dvoubřitá 45 stupňová fréza s VBD [24]

## 4.1.4 Čtvrtá operace

Čtvrtá operace, kdy je polotovar otočen o 180 stupňů a je uchycen za obrobenou část polotovaru do upínacích čelistí. K obrábění je 9 mm přebytku materiálu, který je obroben plátkovou frézou jako v první a v druhé operaci. Jako v předchozí operaci se využije pětizubá 90 stupňovou frézou s VBD. S frézou budeme obrábět materiál s přísuvem 1 mm v délce 300 mm. V první fázi obrábění se ofrézuje 1/5 čela polotovaru s přísuvem 1mm. V délce 300 mm je obráběna první linie obrobku. Potom se bude frézovat druhá linie ve stejné hloubce jako první linie a i zde je použito sousledné frézování. Třetí linii, vyfrézovanou s přísuvem 1 mm v délce 300 mm, také čtvrtou a pátou linii s přísuvem 1 mm v délce 300 mm. Tato operace bude opakována, dokud se nedosáhne požadované hodnoty 70 mm s tolerancí rozměru  $\pm 0,05$  mm. Při obrábění se dosáhne kvalitního povrchu.

## Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

$v_c = 120 \text{ m/min}$   
 $n = 760 \text{ 1/min}$   
 $v_f = 760 \text{ mm/min}$   
 $f_z = 0,2 \text{ mm}$

### ► Rozdílné varianty výroby 1 a 2 ◀

#### 4.1.5 Výroba děr 30H7

##### 4.1.5.1 Varianta 1

V páté operaci je obrobek otočen o  $180^\circ$  a upnut za již obrobené plochy ve svěráku. Opět musíme zachovat tuhé upnutí kvůli vibracím. Pátá operace je zaměřena na tvorbu čtyř otvorů v průměru 30 mm s tolerancí H7 skrz obrobek. Nejdříve předvrtáváme díry vrtákem ze slinutých karbidů o průměru 12 mm, u toho vrtáku se díry nenavrtávají. Při celé vrtací činnosti vrták chladíme chladicí kapalinou, čímž dosáhneme, že vrták má větší životnost a tímto vrtákem získáme více vyvrtaných otvorů. Výhodou slinutých karbidů oproti vrtákům z HSS je, že nepotřebují lámat třísku a mají větší posuvy a vyšší řeznou rychlost.

$v_c = 40 \text{ m/min}$   
 $n = 1061 \text{ 1/min}$   
 $v_f = 372 \text{ mm/min}$   
 $f_z = 0,2 \text{ mm}$



obr.: 4-3 monolitní vrtáky ze slinutého karbidu [25]

Další činnost je provedena vrtákem HSS (High Speed Steel) o průměru 29 mm a to zvětší stávající díry. Tento vrták je zakončen Morse kuželem, takže vrták musí být upnut do redukčního pouzdra pro nástroje s kuželem Morse.

Tento proces vrtání nemůže být kontinuální, jelikož potřebujeme lámat třísku, tzn., že tento cyklus se skládá z vrtání otvoru po malých úsecích v ose Z, po dokončení každého malého úseku dráhy musí vrták vyjet z osy Z plus a tím dochází k lámání třísky. Celý vrtací proces je chlazený chladicí kapalinou (emulzí). Předkládáme, že životnost vrtáku bude asi 50



## Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

otvorů, poté se musí dát nabrousit, tímto vznikají náklady na výrobu součástí, plus dopravu do kooperace.

$$v_c = 25 \text{ m/min}$$

$$n = 275 \text{ 1/min}$$

$$v_f = 55 \text{ mm/min}$$

$$f_z = 0,2 \text{ mm}$$



obr.: 4-4 vrták na kov s kuželovou stopkou DIN 345 HSS 1140 - 29,0mm [26]

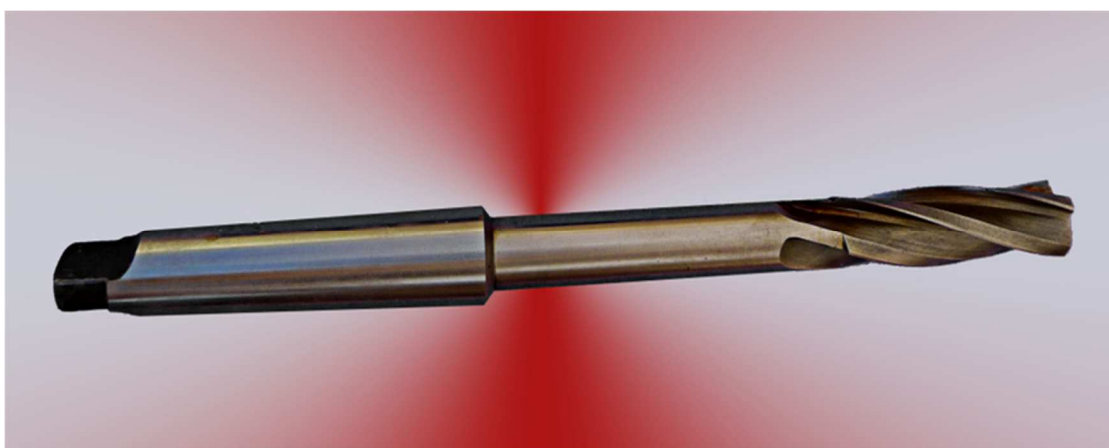
Dále následuje hrubování, kde se tímto hrubovacím nástrojem zvětší a připraví na čisté obrábění pro průměr otvorů 30H7. Hrubovací nástroj je vyroben z materiálu HSS (High Speed Steel), hrubovací nástroj má stejné upínání jako vrták 29 mm HSS do kuželového upínače Morse. I výhrubník o průměru 29,75 mm se bude chladit chladicí kapalinou. Životnost ostří výhrubníku bude taky asi 50 otvorů i poté bude odvezen na broušení.

$$v_c = 25 \text{ m/min}$$

$$n = 275 \text{ 1/min}$$

$$v_f = 55 \text{ mm/min}$$

$$f_z = 0,2 \text{ mm}$$



obr.: 4-5 výhrubník [27]

Poslední a závěrečná činnost při dokončovacích obrábění otvorů bude vystružování. Je to nejpřesnější obrábění z posledních tří úkonů pro vytvoření přesných otvorů 30H7. Výstružník je vyroben z materiálu HSS (High Speed Steel), který je při obrábění chlazen chladicí kapalinou. Výstružník je upnut do redukčního pouzdra pro nástroje s kuzelem Morse. Životnost výstružníků je stejná, jako u dvou předchozích nástrojů pro obrábění.

## Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

$$v_c = 5 \text{ m/min}$$

$$n = 53 \text{ 1/min}$$

$$v_f = 127 \text{ mm/min}$$

$$f_z = 0,3 \text{ mm}$$



obr.: 4-6 výstružník strojní 30H7 [28]

### 4.1.5.2 Varianta 2

V druhé variantě je stejné upnutí materiálu, tuhost a stabilitu obrobku, jako v první variantě, kde budeme obrábět čtyři díry o průměru 30H7.

Jako první nástroj se použije vrták s VBD. Vrták s VBD nepotřebuje navrtávat navrtávacím vrtákem, ani předvrtávat díry spirálovým vrtákem před obráběním. Tyto vrtáky mají velmi vysokou produktivitu vrtání, také lze používat plátkové vrtáky pro všechny typy materiálu, jelikož podle materiálu lze volit VBD. Produktivitou se rozumí vysoká řezivost materiálem, dobrá tolerance díry a jakost povrchu, tvar vrtáku zajišťuje dobrý odvod třísky. Díky vnitřnímu chlazení lze obrábět i hluboké díry, chladicí emulze je přiváděna lokálně do místa řezu. Pro tento případ bude použita výměnná destička určená pro obrábění chromových a chromniklových ocelí (ISO M), které jsou označeny žlutou barvou.

Plátkovým vrtákem VBD se připraví čtyři díry o průměru 29,5 mm pro finální díry průměru 30H7. Tyto díry vyrobíme s požadovanou roztečí (viz.: výkres). Celý vrtací proces bude chlazen chladicí emulzí. Výhodou plátkových vrtáků VBD oproti HSS je to, že u plátkového vrtáku se vymění řezná břitová destička po opotřebení, zatímco u HSS by se musel vrták poslat na přestrojení ostří nebo zakoupit nový vrták.

$$v_c = 165 \text{ m/min}$$

$$n = 1763 \text{ 1/min}$$

$$v_f = 432 \text{ mm/min}$$

$$f_z = 0,12 \text{ mm}$$

## Racionalizace technologie výroby vzorové součásti



obr.: 4-7 vrták plátkový 3xD D29,5x90 [29]

Další a poslední dokončovací operace pro díry 30H7 je vyvrtávání vyvrtávací hlavou s VBD (špindle). Vyvrtávací hlavou s VBD se dokončují díry na požadovaný rozměr 30 mm s přesností H7. Vyvrtávací hlavu lze použít pouze na předvrtané díry, v tomto konkrétním případě 29,5 mm. Výhodou vyvrtávací hlavy je, že se nemusí použít výhrubník ani výstružník a celá operace je provedena jedním nástrojem. Výhodou vyvrtávací hlavy je, že je flexibilní a určena na malé série výroby, tudíž je možné použít na další výrobu. Vyvrtávací hlava s VBD je chlazena chladicí kapalinou po celou dobu obrábění, kde tímto prodlužuje životnost břitové destičky a odvádí třísky z obrobku. Touto metodou lze docílit vysokou přesnost otvoru i požadovanou drsnost. Pro dosažení optimálních výsledků musí být zvolena řezná destička pro obrábění chromových a chromniklových ocelí.

$$v_c = 160 \text{ m/min}$$

$$n = 1700 \text{ 1/min}$$

$$v_f = 271 \text{ mm/min}$$

$$f_z = 0,16 \text{ mm}$$



obr.: 4-8 vyvrtávací hlava dokončující [30]

# Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

## 4.1.6 Výroba kapsy

### 4.1.6.1 Varianta 1

V šesté operaci bude obrobena kapsa ve středu obrobku o rozměrech 210x110 mm s rozměrovou tolerancí H7, která je předepsána na oba rozměry.

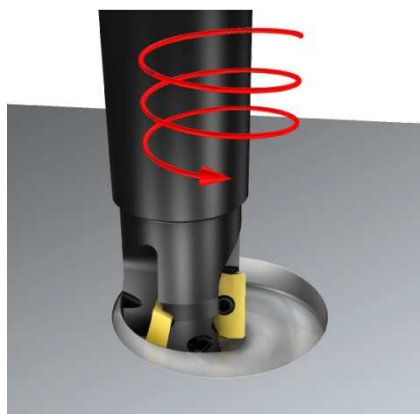
Obrobek bude ponechán upnut v upínacích čelistích, jako v předchozí operaci. Pro hrubování šesté operace je použita fréza s VBD, nevýhodou této metody je oproti HFC, menší rychlost posuvů. Byla vybrána fréza o průměru 32 mm, která je osazena čtyřmi vyměnitelnými břitovými destičkami. Při hrubování bude použita metoda šroubovitě interpolace. Což je metoda současného pohybu po kruhové dráze souřadnicového systému X a Y. Tento pohyb je doprovázen posuvem ve směru osy Z. Hodnota posuvu ve směru Z je stanovena na 1 mm. Tato metoda se vyznačuje klidným průběhem při dosažení optimálních podmínek a při obrábění je použito sousledné frézování. Sousledné frézování bylo také zvoleno pro lepší odvádění třísek z obráběné kapsy. Při hrubování bude ponechán přídavek kolem kontury 0,2 mm materiálu. Celá operace se bude opakovat 50 krát, jelikož je potřeba obrobit kapsu do hloubky 50 mm. Celá operace hrubování bude trvat 70 minut. Nyní bude následovat sedmá operace a to obrábění na čisto.

$$v_c = 180 \text{ m/min}$$

$$n = 1791 \text{ 1/min}$$

$$v_f = 1300 \text{ mm/min}$$

$$f_z = 0,18 \text{ mm}$$



obr.: 4-9 zahlubování pomocí šroubovicové interpolace [31]

### 4.1.6.2 Varianta 2

Jak již bylo zmíněno, v šesté operaci bude obrobena kapsa ve středu obrobku o rozměrech 210x110 mm s rozměrovou tolerancí H7, která je předepsána na oba rozměry. Obrobek se ponechá upnut v upínacích čelistích, jako v předchozí operaci. Pro hrubování šesté operace je použita fréza s VBD s metodou HFC (vysoko posuvové frézování), tato metoda byla popsána na stránce 18. Byla vybrána fréza o průměru 32 mm, která je osazena čtyřmi vyměnitelnými břitovými destičkami HFC. Při hrubování bude použita metoda šroubovitě interpolace, jako byla použita ve variantě 1. Tento pohyb je doprovázen posuvem

## Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

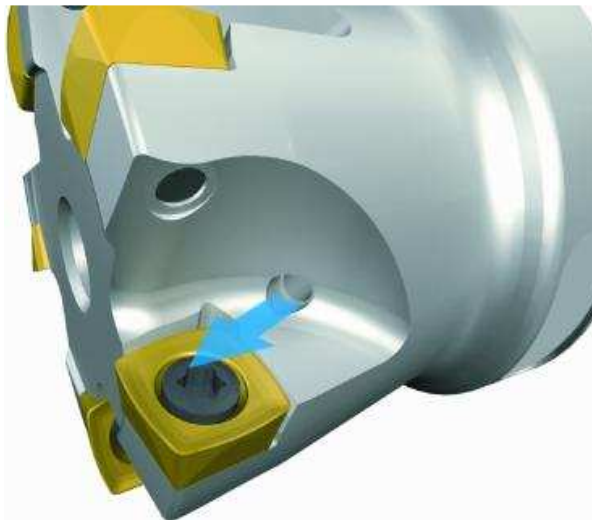
ve směru osy Z. Hodnota posuvu ve směru Z je stanovena na 1 mm. Tato metoda se vyznačuje klidným průběhem a lze ho použít pouze pro sousledné frézování. Sousledné frézování bylo zvoleno pro lepší odvádění třísek. Při hrubování bude ponechán přídavek kolem kontury 0,2 mm materiálu. Celá operace se bude opakovat 50 krát, jelikož je potřeba obrobit kapsu do hloubky 50 mm. Celá operace hrubování bude trvat 35 minut a fréza bude chlazená vzduchem. Nyní bude následovat sedmá operace a to obrábění na čisto.

$$v_c = 180 \text{ m/min}$$

$$n = 1791 \text{ 1/min}$$

$$v_f = 2865 \text{ mm/min}$$

$$f_z = 0,4 \text{ mm}$$



obr.: 4-10 nástroje HFC jsou vybaveny vnitřním přívodem vzduchu [32]

### ➤ Společné operace pro obě varianty ◀

#### 4.1.7 Sedmá operace

Při sedmé operaci, obrábění na čisto dojde k výměně nástroje. Bude použita fréza ze slinutých karbidů (monolit). Jedná se o šestizubou frézu o průměru 16 mm, která je vhodná pro dokončovací operace, jelikož se jedná o tuhý nástroj, který při obrábění drží požadovaný rozměr kontury obrobku. Nyní bude obrobena kontura na požadované rozměry s požadovanou přesností H7. U dokončovacího obrábění je zvolena 1/2 hloubky řezu v ose Z. Tato operace bude rozložena do dvou linií, kde vznikne pouze jeden přechod při obrábění. Celý proces bude chlazen chladicí emulzí, která chladí nástroj a odvádí třísky z obrobku.

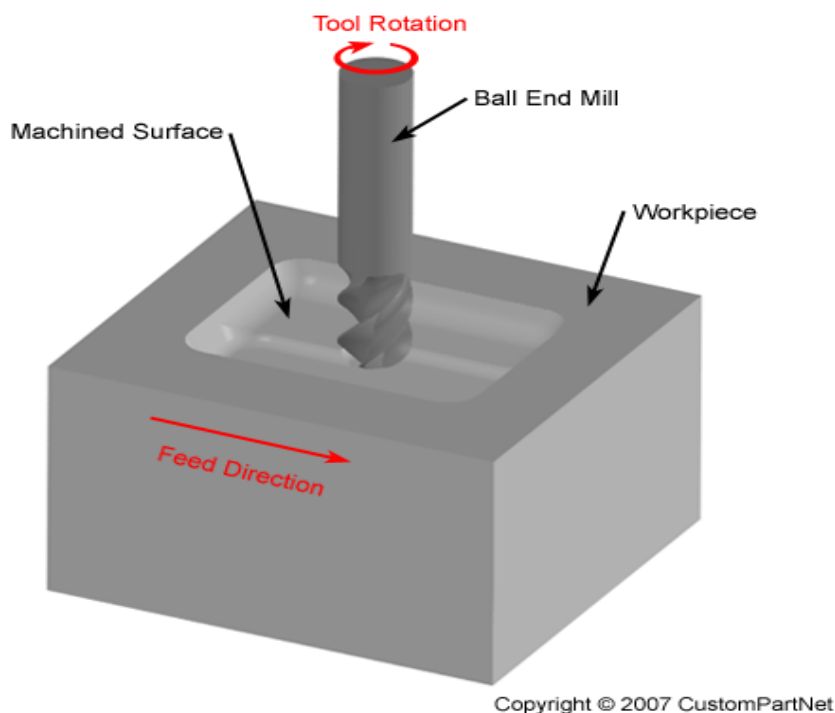
$$v_c = 100 \text{ m/min}$$

$$n = 1990 \text{ 1/min}$$

$$v_f = 956 \text{ mm/min}$$

$$f_z = 0,2 \text{ mm}$$

# Racionalizace technologie výroby vzorové součásti



obr.: 4-11 obrábění na čisto [33]

Tool Rotation	Rotace nástroje
Feed Direction	Směr posuvu
Machined Surface	Obráběný povrch
Ball End Mill	Stopka
Workpiece	Obrobek

tab.: 4-1 překlad anglických výrazů

## 4.1.8 Osmá operace

Osmá operace, je zaměřena na tvorbu čtyř děr v kapse o průměru 12 mm a vede skrz dno obrobku. Rozteče děr jsou 170x70 mm, jsou tolerovány  $\pm 0,1$  mm. Pro výrobu děr byl zvolen monolitní vrták (slnutý karbid) o průměru 12 mm, který byl použit při předvrtávání děr o průměru 30 mm. Díry o 12 mm není nutno navrtávat. Celá díra bude vyrobena nepřerušovaným řezem. Jelikož při přerušení dochází k poškození ostří vrtáku. Vrtací proces je chlazen chladicí emulzí.

Tato poslední technologická operace při výrobě držáku modulu pro matrice na odlévání.

## 4.2 Kontrola rozměrů

Hotový modul byl vyndán ze NC stroje, kde následuje přeměření rozměrů, tolerancí a drsností. Na kontrolu rozměrů je použito:

- díry 30H7- dutinoměr pro tříbodové měření, válečkový kalibr
- vnější rozměry modulu-digitální posuvné měřítko
- drsnost povrchu-přístroj na měření drsnosti povrchu
- vnitřní rozměry modulu (kapsa)- Johansonovy měrky

## Racionalizace technologie výroby vzorové součásti



obr.: 4-12 základní měrky - Johansonovy kostky [34]



obr.: 4-13 posuvné digitální měřítko - dolní čelisti [35]

## 5 Ekonomické řešení dvou variant

		cena (Kč)	řezná rychlost (m/min)	otáčky (1/min)	posuv (mm/min)	čas (min)	posuv na zub (mm)	počet zubů (Ks)
varianta 1	vrták HSS 29	1389	25	275	55	21	0,2	2
	výhrubník 29,75	1275	25	275	55	21	0,2	4
	výstružník 30H7	2654	5	53	127	10	0,3	8
	fréza VBD D32 (pouze plátky s VBD)	2500	180	1791	1300	70	0,18	4
	fréza monolit D16	4620	100	1990	955	10	0,08	6
	fréza VBD 45° D16	4680	120	2390	956	3	0,2	2
	fréza VBD čelo	7000	120	760	760	78	0,2	5
	fréza VBD obvod		130	830	830		0,2	5
	fréza VBD spodek		120	760	760		0,2	5
	vrták tvrdokov D12	2856	40	1061	372	5	0,35	2
<b>varianta 1 suma</b>	<b>26974</b>				<b>218</b>			
varianta 2	vrták VBD 29,8	9016	165	1763	432	4	0,12	1
	frézovací hlava D30	7364	160	1700	271	8	0,16	1
	fréza VBD HFC D32	8450	180	1791	2865	35	0,4	4
	fréza monolit D16	4620	100	1990	955	10	0,08	6
	fréza VBD 45° D16	4680	120	2390	956	3	0,2	2
	fréza VBD čelo	7000	120	760	760	78	0,2	5
	fréza VBD obvod		120	830	830		0,2	5
	fréza VBD spodek		120	760	760		0,2	5
	vrták tvrdokov D12	2856	40	1061	372	2	0,35	2
	<b>varianta 2 suma</b>	<b>43986</b>				<b>140</b>		

tab.: 5-1 technické parametry pro obrábění, označení šedivých buněk jsou hodnoty pro obě společné varianty



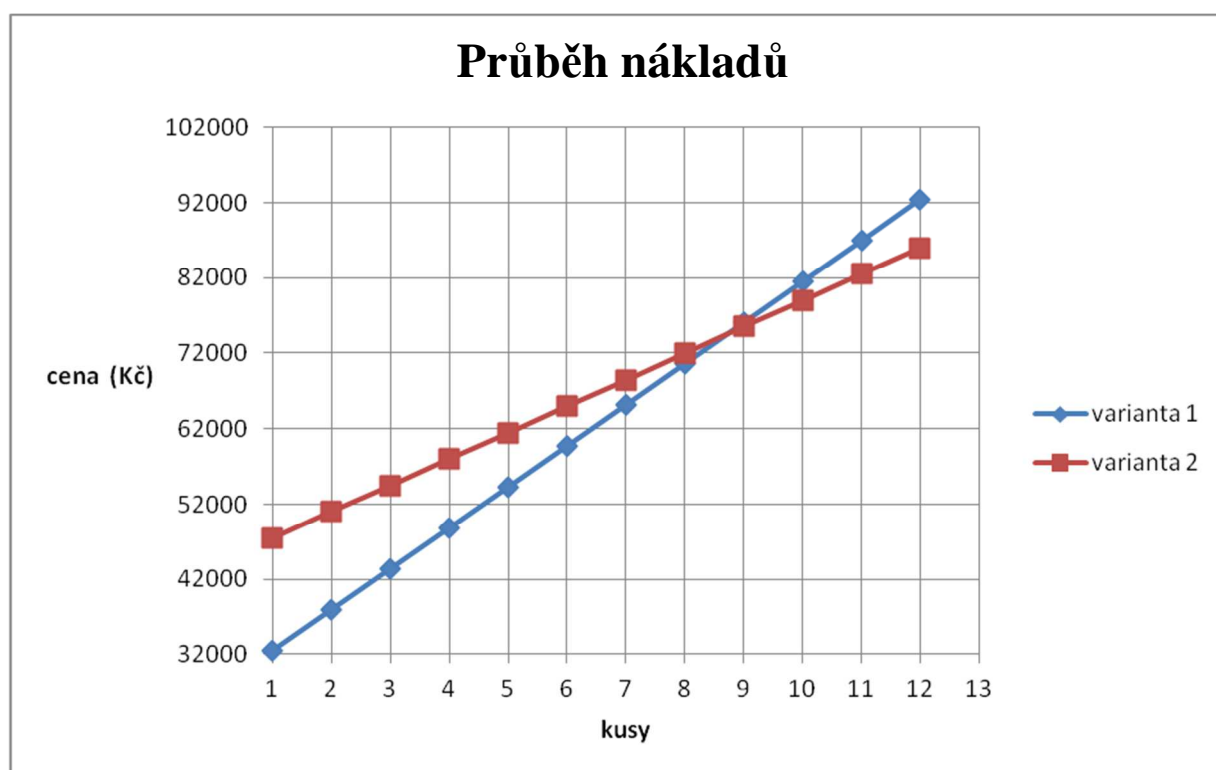
# Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

## 5.1 Tabulka nákladů

kusy	varianta 1 Kč	varianta 2 Kč	sazba stroje Kč	čas 1 min	čas 2 min	cena nástrojů 1 Kč	cena nástrojů 2 Kč
1	32424	47486	1500	218	140	26974	43986
2	37874	50986					
3	43324	54486					
4	48774	57986					
5	54224	61486					
6	59674	64986					
7	65124	68486					
8	70574	71986					
9	76024	75486					
10	81474	78986					
11	86924	82486					
12	92374	85986					

tab.: 5-2 tabulka nákladů

## 5.2 Grafické srovnání variant



graf 5-1 závislost ceny výrobku na počtu kusů

### 6 Závěrečné technologické a ekonomické hodnocení

Po zhodnocení obou variant lze tvrdit, že velký vliv na celkové náklady má celkový čas jednotlivých operací. Toto bylo zjištěno díky výpočtu z výkonu operace od jednoho až dvanácti kusů. Do ceny nástrojů byla zahrnuta sazba, režie stroje a jednotlivých časů operací. Jelikož jsou obě varianty velmi podobné, bylo použito několik shodných obráběcích nástrojů a to: fréza 45° D16 (4 680 Kč), fréza monolit D16 (4 620 Kč), fréza VBD D50 (7 000 Kč), vrták slinutý karbid (2 856 Kč).

Jelikož tyto položky se vyskytují u obou variant, nemají vliv na celkový ekonomický dopad. Hlavní cenový rozdíl tvoří rozdíly v technologiích výroby. Celkový proces byl zaměřen na výrobu děr 30H7 a kapsy též tolerovaná na H7. U první varianty byly použity tyto nástroje: vrták HSS D29 (1 389 Kč), výhrubník D29,75 (1 275 Kč), výstružník 30H7 (2 654 Kč) a fréza VBD D32 pouze výměnné břitové destičky (2 500 Kč).

U druhé varianty byly použity tyto nástroje: vrták VBD D29,8 (9 016 Kč), frézovací hlava D30 (7 364 Kč) a fréza VBD D32 HFC (8 450 Kč). Celková cena činí u první varianty 26 974 Kč a u druhé varianty 43 986 Kč. Z toho vyplývá, že u druhé varianty je cena nástrojů vyšší, ale jak již bylo zmíněno, hlavní dopad na celkovou cenu výroby má celkový čas jednotlivých operací.

Celkový pracovní čas pro první variantu činí 218 min. a pro druhou variantu činí 140 min. Pro obě varianty činí hodinová sazba 1500 Kč. Po vypočítání jednotlivých kusů bylo zjištěno, že cena prvního kusu činí pro první variantu 32 424 Kč a pro druhou variantu 47 486 Kč. Ovšem již při výrobě devátého kusu začíná být výhodnější varianta číslo dvě, vyjádřeno číselně: cena devátého kusu u varianty jedna je 76 024 Kč a u varianty dvě je 75 486 Kč. Při požadovaném počtu 12 kusů je celková cena výroby u varianty jedna 92 374 Kč a u varianty dva 85 986 Kč. Tedy finanční rozdíl mezi první a druhou variantou při výrobě 12 kusů činí 6 388 Kč. Ceny výroby jednotlivých kusů jsou vyneseny do grafu ekonomického hodnocení. Zároveň je třeba vzít v úvahu, že nástroje s VBD mohou být použity i pro další práce.

# Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

## Literatura a odkazy:

### Doporučená literatura:

- PŘÍKRYL, Z., MUSÍLKOVÁ, R. Teorie obrábění. Praha: SNTL, 1982.  
SOVA, F. Technologie obrábění a montáže. Plzeň: VŠSE, 1989.  
SVOBODA, E.: Technologie programování CNC strojů. Fragment Havlíčkův Brod 1998  
OPLATEK, F.: Číslicové řízení obráběcích strojů. Fragment Havlíčkův Brod 1998  
DOBŘICKÝ, J. – LACKO, B.: CAD/CAM. VUT Brno 1992  
ANTON, Humár, Materiály pro řezné nástroje.

### Odkazy:

- [1] Sandvik Coroman [online]. 2012 [cit. 2012-11-21]. Dostupné z: Skupiny obráběných materiálů
- [2] Sandvik Coroman [online]. 2012 [cit. 2012-11-21]. Dostupné z: Skupiny obráběných materiálů
- [3] Sandvik Coroman [online]. 2012 [cit. 2012-11-21]. Dostupné z: Skupiny obráběných materiálů
- [4] Armat spol s.r.o. [online]. 2012 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: SPECIFIKACE NEREZOVÝCH MATERIÁLŮ
- [5] Sandvik Coromant [online]. 2012 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: Duplexní korozivzdorné oceli – M 3.41-3.42
- [6] [Http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/10191/kun%C3%A1t\\_2009\\_bp.pdf?sequence=1](http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/10191/kun%C3%A1t_2009_bp.pdf?sequence=1) [online]. 2009 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: Oceli
- [7] Sandvik Coromant [online]. 2012 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: Cermet
- [8] HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje [online]. Brno, 2006 [cit. 2013-03-27]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat\\_pro\\_rez\\_nastroje/materialy\\_pro\\_rezne\\_nastroje\\_v2.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf). Interaktivní multimediální text. Vysoké učení technické v Brně.
- [9] HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje [online]. Brno, 2006 [cit. 2013-03-27]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat\\_pro\\_rez\\_nastroje/materialy\\_pro\\_rezne\\_nastroje\\_v2.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf). Interaktivní multimediální text. Vysoké učení technické v Brně.
- [10] MM Průmyslové spektrum [online]. 2012 [cit. 2012-12-24]. Dostupné z: Tvrdokov - vysoce odolný materiál proti opotřebení
- [11] MM Průmyslové spektrum [online]. 2012 [cit. 2012-12-24]. Dostupné z: Nové obráběcí nástroje
- [12] MM Průmyslové spektrum: Produktivní obrábění pro lékařské účely [online]. 2012 [cit. 2013-02-10]. Dostupné z: Hluboké vrtání
- [13] Export Plus [online]. 2012 [cit. 2012-11-21]. Dostupné z: Vrtáky
- [14] WNT Total tooling: katalog [online]. 2012 [cit. 2012-11-21]. Dostupné z: Popis typů nástrojů
- [15] TrigoN TOOLS s.r.o. [online]. 2012 [cit. 2013-02-12]. Dostupné z: Kennametal akcia na plátkové frézy

## Racionalizace technologie výroby vzorové součásti

- [16]MM Průmyslové spektrum [online]. 2012 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: Výhody vrtáků s VBD
- [17]Sandvik Coroman [online]. 2012 [cit. 2012-11-21]. Dostupné z: CVD povlaky
- [18]Sandvik Coroman [online]. 2012 [cit. 2012-11-21]. Dostupné z: PVD povlaky
- [19]Technický týdeník [online]. 2009 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: Akademie CNC obrábění (13)
- [20]Technik [online]. 2002 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: Technologie HSC
- [21]GF Agie Charmilles [online]. 2013 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: Vysoce výkonné frézování (HPM) / Vysoce výkonné řezání (HPC)
- [22][Http://www.novyl.ic.cz/praxes3.htm](http://www.novyl.ic.cz/praxes3.htm): Praxe – strojní dílna [online]. 2013 [cit. 2013-02-03]. Dostupné z: Způsoby frézování válcovou frézou
- [23]TRIGON TOOLS, s.r.o. [online]. 2012 [cit. 2013-02-02]. Dostupné z: Plátkové frézy pětizubá plátková 90 stupňová fréza s průměrem 50 mm.
- [24]MT nástroje: Frézy s VBD [online]. 2013 [cit. 2013-02-02]. Dostupné z: Fréza úhlová 2bř. ACM D30x45°
- [25]MM Průmyslové spektrum [online]. 2007 [cit. 2013-01-31]. Dostupné z: Moderní nástroje zvyšují produktivitu vrtání
- [26]Alltools [online]. 2013 [cit. 2013-01-31]. Dostupné z: Vrták na kov s kuželovou stopkou DIN 345 HSS 1140 - 29,0mm
- [27]KRAL-VUHŽ [online]. 2009 [cit. 2013-01-31]. Dostupné z: KLASICKÉ NÁSTROJE
- [28]KNB spol. s.r.o.: Náradí a nástroje [online]. 2008 [cit. 2013-02-03]. Dostupné z: Výstružníky strojní
- [29]TrigoN TOOLS s.r.o. [online]. 2012 [cit. 2013-02-04]. Dostupné z: Plátkové vrtáky
- [30][Http://www.shopmetaltech.com/component/articledetail/?name=Finish+Boring+vs.+Reaming](http://www.shopmetaltech.com/component/articledetail/?name=Finish+Boring+vs.+Reaming) [online]. 2012 [cit. 2013-02-04]. Dostupné z: Finish Boring vs. Roaming
- [31]Sandvik Coromant [online]. 2012 [cit. 2013-02-27]. Dostupné z: Zahlubování pomocí šroubovicové interpolace
- [32]MMspektrum: Produktivnější frézování při extrémně vysokém posuvu [online]. 2008 [cit. 2013-03-24]. Dostupné z: Vysoká produktivita a hospodárnost
- [33]Custompartnet: Process Cycle [online]. 2007 [cit. 2013-03-03]. Dostupné z: milling
- [34]Exteobchod: Cromwell - Měřidla [online]. 2013 [cit. 2013-03-04]. Dostupné z: Základní měřky - Johansonovy kostky 81PC
- [35]Jirka a spol.: Měřicí technika [online]. 2013 [cit. 2013-03-24]. Dostupné z: Digitální posuvná měřítka s velkým rozsahem měření