

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Akademický rok 2013/2014

Bc. Luboš Kroft

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní zaměření: 2303T004 Strojírenská technologie – technologie obrábění

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Produktivní vystružování moderními výstružníky I.**

Autor: **Bc. Luboš Kroft**

Vedoucí práce: **doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.**

Akademický rok 2013/2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Luboš KROFT**  
Osobní číslo: **S12N0058P**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**  
Název tématu: **Produktivní vystružování moderními výstružníky I.**  
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod do problematiky a cíle řešení
2. Charakteristika a hodnocení současného stavu vystružování otvorů - konstrukční hledisko a konkurenceschopnost výstružníků
3. Rozbor současného stavu technologie výroby daného tolerované otvoru
4. Návrh, realizace a charakteristika experimentálního testování zvolených nástrojů
5. Vyhodnocení naměřených výsledků
6. Technicko-ekonomické hodnocení
7. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **50 - 70 stran**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**  
Seznam odborné literatury:

**Elektronické informační zdroje dostupné z [www.knihovna.zcu.cz](http://www.knihovna.zcu.cz)**  
**CIRP ANNALS - Manufacturing Technology: (<http://www.cirp.net/>)**  
**MM Průmyslové Spektrum, dostupné z [www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com)**  
**SANDVIK Coromant, Sandviken: Technická příručka obrábění, dostupné z:**  
**<http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/>**

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.**  
Katedra technologie obrábění  
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Plíšek**  
HAM - FINAL, s.r.o.  
Ostatní konzultanti: **Ing. Josef Sklenička**  
Katedra technologie obrábění  
Datum zadání diplomové práce: **7. října 2013**  
Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2014**

  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan



  
Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 7. listopadu 2013

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové 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 diplomové práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakéhokoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora, firem HAM-FINAL a GTW BEARINGS, a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

## **Poděkování**

Tato diplomová práce vznikla za podpory GA ZČU při řešení projektu SGS-031-2013 s názvem „Výzkum a vývoj pro inovace v oboru strojírenská technologie – technologie obrábění“.

Dále bych rád touto cestou poděkoval všem, kteří mi byli nápomocni při vypracování mé diplomové práce. Zejména pak děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Janu Řehořovi, Ph.D., za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce. Také oběma konzultantům, panu Ing. Josefovi Skleničkovi (konzultantovi za Západočeskou univerzitu v Plzni) a panu Ing. Jirím Plíškovi (konzultantovi ze společnosti HAM-FINAL), za poskytnuté materiály a informace k danému tématu diplomové práce.

Rád bych touto cestou rád poděkoval všem, kteří mi byli ochotni poskytnout pomoc nebo významné informace z oblasti vystružování otvorů a to jak ze Západočeské univerzity v Plzni tak i ze společnosti HAM-FINAL.

Poděkování patří také všem pracovníkům Západočeské univerzity, a to jak pedagogickým tak i nepedagogickým, kteří mi předávali své odborné znalosti, resp. organizovali výuku.

Za podporu a zároveň pochopení pro nedostatek volného času během studia děkuji celé rodině, zvláště pak své matce, otci a partnerce, kteří mě po celou dobu studia plně podporovali.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Kroft		Luboš	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2303T004 Strojírenská technologie – technologie obrábění			
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Řehoř, Ph.D.		Jméno Jan	
<b>PRACOVISTĚ</b>	ZČU - FST - KTO			
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del>	<b>Nehodící se škrtněte</b>	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	<b>Produktivní vystružování moderními výstružníky I.</b>			

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODE- VZD.</b>	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	114	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	71	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	43
---------------	-----	---------------------	----	--------------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b>	<p>Tato diplomová práce se zabývá rozбором moderních produktivních nástrojů pro vystružování a jejich nasazení v reálné výrobě. Cílem práce je zmapovat současný stav na trhu s nástroji a vybrané nástroje poté otestovat na dané reálné díře. Výchozí stav technologie výroby daného tolerovaného otvoru a výsledky této technologie je dalším cílem této práce. Na základě výsledků měření navrhnout alternativní technologické řešení, které by dosahovalo požadovaných výsledků. Při měření bylo zjištěno, že výroba nedosahuje požadovaných parametrů. V této souvislosti byl připraven a proveden experiment, v němž byly testovány nástroje, které by teoreticky měly výsledky obrábění zlepšit. Tento předpoklad byl částečně potvrzen.</p>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	<p>vystružování, výstružník, konstrukce nástroje, produktivita, moderní rezné materiály, experiment, hodnocení testu</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	Kroft	Luboš	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2303T004 „Manufacturing Processes - Technology of Metal Cutting“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Řehoř, Ph.D.	Name Jan	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	<b>The productive reaming of modern reamers I.</b>		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machining Technology	<b>SUBMITTED IN</b>	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

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

<b>TOTALLY</b>	114	<b>TEXT PART</b>	71	<b>GRAPHICAL PART</b>	43
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	<p>This thesis analyzes modern productive tools for reaming and their usage in the real production. The goal is to chart present status of the tools market and to verify chosen tools on a real hole. Another goal includes defining original status of the production techniques of the tolerated hole and analyzing its results. On the basis of the measured results it is necessary to recommend an alternative technological solution which will gain the same reaming quality. However the measuring found out that the production had not gotten the demanded parameters. That is the reason why an experiment had been performed. The purpose of the experiment was to test the tools which should have improved the results of the reaming. This assumption was partially fulfilled.</p>
<b>KEY WORDS</b>	reaming, reamer, tool construction, productivity, modern cutting materials, experiment, test evaluation



## Obsah

Seznam použitých zkratk	10
1 Úvod do problematiky a cíle řešení	11
1.1 Cíle práce	11
1.2 Vystružování otvorů	12
1.3 Vystružovací nástroj	12
1.4 Základní rozdělení vystružovacích nástrojů	12
1.5 Geometrický a konstrukční popis vystružovacích nástrojů	14
1.5.1 Konstrukční popis nástroje	14
1.5.2 Geometrické parametry břitu nástroje	15
1.6 Řezné materiály	17
1.7 Další faktory ovlivňující výsledek vystružování (chlazení, upínání, centrování, vyvažování, upnutí obrobku a předobrobený otvor)	17
1.7.1 Upínání nástrojů	18
1.7.2 Centrování nástrojů	19
1.7.3 Vyvažování nástrojů	20
1.7.4 Přívod chladicí kapaliny	21
1.7.5 Předobrobený otvor	22
1.7.6 Upnutí obrobku	23
2 Charakteristika a hodnocení současného stavu vystružování otvorů – konstrukční hledisko a konkurenceschopnost výstružníků	24
2.1 Hlavní obory použití	25
2.2 Obráběné materiály	25
2.3 Vysoce produktivní a přesný nástroj	26
2.3.1 Monolitní nástroje	26
2.3.2 Vystružovací hlavy	27
2.3.3 Jednobřité výstružníky	28
2.3.4 Vystružovací kroužky	29
2.4 Přehled současných výrobců v oblasti velmi přesného vystružování	30
3 Rozbor současného stavu technologie výroby daného tolerovaného otvoru	37
3.1 Vytipovaná součást	37
3.1.1 Technologičnost konstrukce součásti	38
3.1.2 Materiálový rozbor oceli 12 050.1	38
3.2 Rozbor technologie výroby	40

3.2.1	Upnutí obroku .....	40
3.2.2	Technologie výroby .....	40
3.2.3	Výrobní stroj .....	42
3.3	Měření a vyhodnocení stávající technologie.....	42
3.3.1	Měření břitů výstružníku.....	42
3.3.2	Vyhodnocení válcových otvorů .....	43
4	Návrh, realizace a charakteristika experimentálního testování zvolených nástrojů .....	47
4.1	Charakteristika experimentu .....	47
4.2	Návrh experimentu.....	47
4.2.1	Polotovar .....	47
4.2.2	Obráběcí stroj.....	48
4.2.3	Upnutí obrobku .....	48
4.2.4	Použité nástroje .....	49
4.3	Technologický postup experimentu .....	51
4.4	Průběh experimentu .....	54
5	Vyhodnocení naměřených výsledků .....	55
5.1	Hodnocení opotřebení řezných břitů.....	55
5.2	Hodnocení průměru vystružené díry na vstupu a výstupu .....	57
5.3	Hodnocení válcovitosti vystružené díry.....	61
5.4	Hodnocení drsnosti Ra a Rz vystružené díry .....	63
6	Technicko-ekonomické hodnocení .....	67
6.1	Hodnocení variant z ekonomického hlediska .....	67
6.2	Ekonomické hodnocení nákladů na základě vlastních nákladů výroby.....	67
6.2.1	Náklady výroby s nástrojem HAM-FINAL .....	68
6.2.2	Náklady výroby s nástrojem BECK.....	68
6.2.3	Náklady výroby s nástrojem GÜHRING .....	68
6.3	Procesní zhodnocení .....	69
6.3.1	Výběr hodnotících ukazatelů .....	69
6.3.2	Párová analýza .....	69
6.3.3	Multikriteriální hodnocení variant .....	70
7	Závěr .....	72
8	Literatura: .....	73
	PŘÍLOHY DIPLOMOVÉ PRÁCE .....	75

## Seznam použitých zkratk

ZČU	Západočeská univerzita
FST	Fakulta strojní
KTO	Katedra technologie obrábění
S-N-O-P	Soustava stroj-nástroj-obrobek-přípravek
HSS	Rychlořezná ocel z anglického názvu High Speed Steel
SK	Slinutý karbid
CBN	Kubický nitrid boru
PKD	Polykrystalický diamant
HRC	Tvrдость podle Rockwella
HB	Tvrдость podle Brinela
HV	Tvrдость dle Vickers
HMR	Horní mezní rozměr
PLO	Plochá tyč

# 1 Úvod do problematiky a cíle řešení

Výroba děr je v technické praxi velice častým problémem a to především jsou-li u otvoru vyžadovány vysoké kvalitativní požadavky, dobrá spolehlivost a ekonomičnost procesu. Vrtání šroubovým nebo kopinatým vrtákem jako základní technologie k výrobě válcových otvorů v mnohých případech nesplňuje právě kvalitativní požadavky kladené na díru. V těchto případech se vrtání popř. vyvrtávání bere jako operace hrubovací nebo před-dokončovací. Dokončování se dnes běžně řeší technologií vystružování a pouze jsou-li vyžadovány zvláště vysoké nebo speciální požadavky na jakost a kvalitu válcového otvoru následuje po vystružování další operace jako je broušení, honování nebo válečkování a jiné.

Vystružování dnes řadí velká část odborníků mezi technologie zcela zvládnuté, avšak pokud se na tuto operaci podíváme z hlediska produktivního obrábění zároveň s velmi vysokými požadavky na tvarovou a rozměrovou přesnost (kruhovitost, válcovitost, kolmost a další) a kvality obrobeneho povrchu, je třeba původní pohled přehodnotit.

Vývoj technologie vystružování prodělal za dobu své existence značné změny, ale podstatný rozvoj se v tomto odvětví udál až v posledních 10 až 15 letech. Především rozvoj materiálového inženýrství, zejména progresivních rezných materiálů, ale také nových konstrukčních řešení nástrojů nebo použití moderních obráběcích strojů vedl k značnému zvýšení přesnosti a produktivity vystružování a tím ke změně přístupu k této technologii. Ovšem nezbytným předpokladem k nasazení progresivních nástrojů pro vystružování je zvýšení užítosti u celé soustavy S-N-O-P. Kromě stroje a nástroje je třeba se také zaměřit na celou řadu dalších faktorů jako je např. typ upnutí jak nástroje tak i obrobku, ustavení nástroje, volba vhodné geometrie, volba povlaku a před depoziční úpravy bříty, přívod procesní kapaliny a to nejen tlak ale také množství kapaliny a nasměrování do správného místa a mnoho dalších. Tento komplexní pohled především z hlediska konstrukce nástrojů je cílem této práce.

Tato diplomová práce se v první kapitole zabývá obecně technologií vystružování, nástrojem a s tím souvisejícími faktory ovlivňující tento proces. V druhé kapitole je charakterizován současný stav produktivních nástrojů a požadavky na ně kladené, především z pohledu typu výroby, ve které se tyto nástroje používají. Na tuto teoretickou část navazuje praktický rozbor daného tolerovaného válcového otvoru a to jak z konstrukčního tak technologického hlediska. Ve čtvrté kapitole je popsán návrh experimentu, jeho naplánování z technologické i konstrukční části. Zhodnocení experimentu je provedeno v páté kapitole. Data z vyhodnocení jsou v kapitole šest použita k technicko-ekonomickému zhodnocení. V závěru je celá práce shrnuta a vyhodnoceny cíle práce a její přínosy.

## 1.1 Cíle práce

Práce byla rozdělena na teoretickou a praktickou část. Cílem teoretické části byl v první řadě rozbor vystružovacího nástroje, konstrukčního řešení a také přímých vlivů, které ovlivňují proces obrábění. Po tomto obecném úvodu do problematiky, byly rozboru podrobeny moderní nástroje pro vystružování, jejich konstrukčními typy a předními světovými výrobci.

Cílem praktické části bylo zmapovat současný stav výroby daného otvoru a vyhodnotit výsledky současné technologie. Na základě výsledků provést experiment, který by vedl k zefektivnění výroby daného otvoru a ten poté také následně vyhodnotit. V případě dostatečného času a materiálových možností odzkoušet testované nástroje v reálné výrobě.

Jednotlivým cílům odpovídají kapitoly a podkapitoly práce, ve kterých jsou tyto cíle realizovány.

## 1.2 Vystružování otvorů

Základní operací pro výrobu válcových otvorů je technologie vrtání. Jelikož touto technologií nejsme vždy schopni dosáhnout požadovaných kvalitativních parametrů díry, je třeba po vrtání použít některou dokončovací technologii. Trendem posledních deseti let je použití vystružování jako dokončovací operace na místo broušení u přesnosti IT6 a vyšší. Při vystružování se odebírá přírůstek po předchozí operaci (0,2 – 0,8 na průměr, dle typu nástroje), přičemž dochází k dosažení požadované tvarové a rozměrové přesnosti a kvality povrchu.

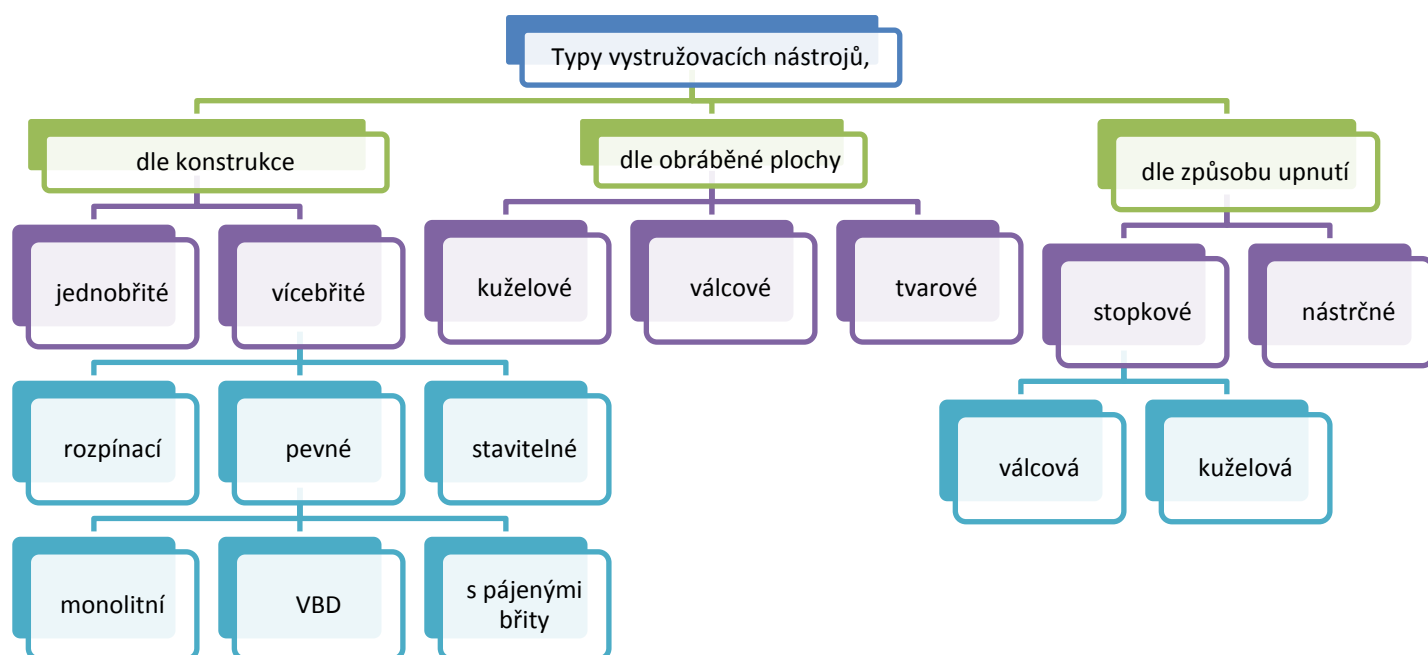
Technologie vystružování patří z hlediska kinematiky mezi jednodušší metody třískového obrábění s definovanou geometrií břitu, ale i přes snadné pracovní podmínky, především malý pracovní prostor, přívod procesní kapaliny a vysoké požadavky na kvalitu tohoto procesu pro docílení co největší ekonomiky obrábění, tu máme technologii, která je dnes na vzestupu a její kompletní zvládnutí není zcela triviální záležitostí. [1, 24]

## 1.3 Vystružovací nástroj

Výstružník slouží k výrobě přesných válcových, kuželových nebo tvarových otvorů s danou geometrickou přesností a drsností povrchu. Jedná se o jedno až vícebřítý nástroj, který se běžně vyrábí z rychlořezné oceli (dále jen HSS) a slinutého karbid (dále jen SK). Moderní trend ve výrobě výstružníků je použití vysoce tvrdých materiálů jako je Cermet, CBN a PKD na břity nástroje, VBD nebo celé vyměnitelné hlavy. Hlavní řezný pohyb vystružovacího nástroje je rotace kolem své osy a posuvový pohyb je ve směru osy směrem k materiálu. Přisuvný pohyb zde není, neboť přísuv je řešen přírůstkem z předchozí operace.[1 24]

## 1.4 Základní rozdělení vystružovacích nástrojů

Základní rozdělení výstružníků lze provést na ruční a strojní. Dále pak lze výstružníky dělit dle konstrukce, tvaru obráběné plochy nebo způsobu upnutí.

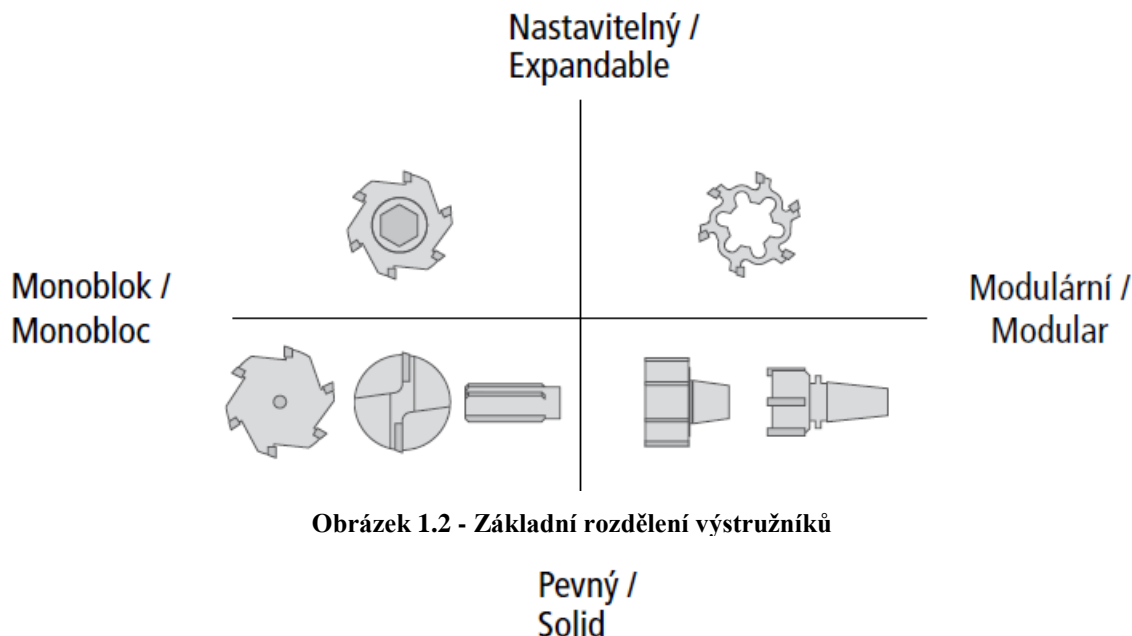


Obrázek 1.1 - Rozdělení výstružníků

Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

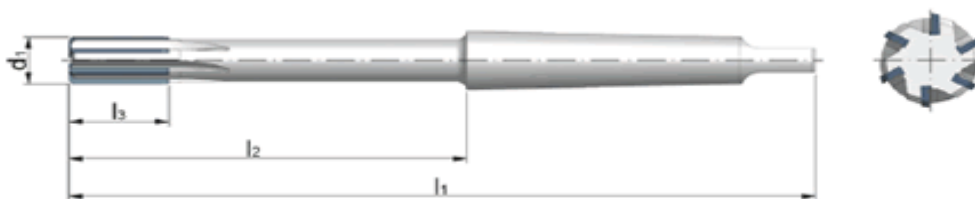
**Dle konstrukce** je možné výstružníky rozdělit na dvě základní skupiny. Jednobřité vystružovací nástroje jsou podobné vyvrtávacím tyčím, ale mají vodící lišty, které zachycují odpor při řezu a tím nedochází k vyosení nástroje. A na výstružníky vícebřité, které se vyrábějí buď jako pevné, stavitelné nebo rozpínací. Mezi pevné se řadí všechny monolitní nástroje a také nástroje s vyměnitelnými nebo pájenými břitovými destičkami.



Obrázek 1.2 - Základní rozdělení výstružníků

Obrázek 1.3 - Konstrukční rozdělení nástrojů podle společnosti Dihart [5, str. 6]

**Dle způsobu upnutí** existují vystružovací nástroje rozdělit na stopkové a nástrčné. Stopkové se ještě dále dělí na výstružníky s válcovou a s kuželovou stopkou. Tyto výstružníky se dále upínají do držáků pomocí upínacích systémů (mechanické, tepelné, a další). Další typ z hlediska způsobu upnutí jsou výstružníky nástrčné nebo také vystružovací hlavy. Tyto výstružníky se upevňují pomocí speciálních upínačů nebo upínacích trnů.



Obrázek 1.4 - Strojní výstružník s SK s kuželovou stopkou [7]



Obrázek 1.5 - Vystružovací nástrčný nástroj od společnosti BECK (upínač + vystružovací hlava) [7]

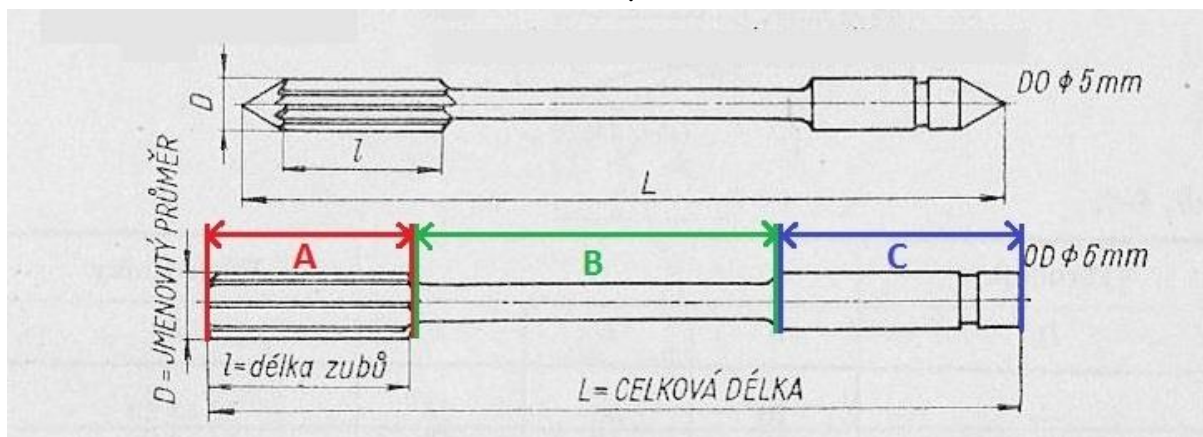
**Dle obráběné plochy** lze výstružníky rozdělit na válcové, kuželové a speciální nebo také tvarové. Tvarové nástroje jsou vytvářené dle požadované plochy a jedná se o zakázkovou výrobu. Podobně funguje i výroba speciálních výstružníků, které současně vrtají a zároveň

vystružují nebo mají více odstupňovaných průměrů a další modifikace. Touto problematikou se zabývají společnosti ve spolupráci s výrobními podniky v rámci Tool Managementu.

## 1.5 Geometrický a konstrukční popis vystružovacích nástrojů

### 1.5.1 Konstrukční popis nástroje

Výstružník se skládá ze stopky, za kterou je nástroj uchycen. Dále pak z krčku a řezné části. Dle různého konstrukčního řešení výstružníku obsahuje těleso jednu, dvě nebo všechny tři ze zmíněných částí (viz obr. 1.6)



Obrázek 1.6 - Konstrukční popis válcového výstružníku (A - řezná část, B - krček, C - upínací část) [8]

**Řezná část** výstružníku je hlavní částí celého nástroje. Je tvořena řeznými hranami, které mohou být buď vytvořené přímo na těle výstružníku, nebo jsou tvořeny pomocí pájených břitů nebo VBD. Břity mohou být přímé nebo ve šroubovici s úhlem stoupání  $\omega = 5 - 20^\circ$  (v případě že se jedná o loupací výstružník, může být  $\omega = 45^\circ$  i více) Dále jsou zde obsaženy i ostatní nástrojové úhly jako úhel čela  $\gamma$ , úhel hřbetu  $\alpha$ , úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$  a další parametry břitu, kterými se budeme zabývat v kapitole 1.5.2.

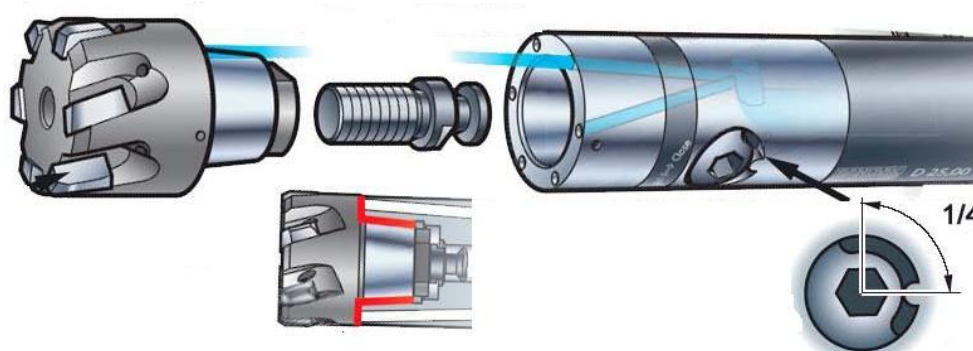
**Krček** slouží na nástrojích jako bezpečnostní část. Jedná se o nejužší část nástroje, která by měla mít předem definovaný průměr tak, aby při přetížení nástroje došlo k poškození právě v krčku. Tím se zamezí poškození řezné části nástroje, např. vylomení zubu nástroje, a nástroj je možné při určitém typu poškození opravit bez větších nákladů. V současnosti se krček objevuje jen u nástrojů větších průměrů, kde cena nástroje značně převyšuje cenu opravy.

**Upínací část** je možné řešit dvěma způsoby. První variantou je stopka, která je součástí výstružníku. Stopka může mít válcový, nebo kuželový tvar a za tuto část je nástroj upnut do držáku nástrojů nebo přímo do vřetena stroje. Pokud se jedná o kuželovou stopku, je možné kužely dělit na Morse, metrický a strmý ISO kužel. Jejich vlastnosti jsou zobrazeny v tabulce 1.1. Druhou možností je použití upínacího trnu nebo jiného upínacího elementu. Na trn je nasunuta vystružovací hlavice pomocí přesného otvoru v ose nástroje. Vystružovací hlavice se poté upevní maticí. Součástí trnu jsou také tvarové elementy, které přenáší točivý moment z vřetena do vystružovací hlavice. (Vystružovací hlavice s trnem viz obr. 1.5)

Tabulka 1.1 - Vlastnosti upínacích kuželů

Vlastnosti kuželů			
Typy kuželů	Přenos krouticího momentu	Středění	Upíná
Morse	Ano – tvarem	Ano	Ano
Metrický	Ano – tvarem	Ano	Ano
ISO (strmý)	Ne – pomocí kamenů	Ano	Ne

Speciální typy upínacích systémů představují rychlé, přesné a efektivní řešení při výměně nástroje. Každý výrobce vysoce efektivních vystružovacích nástrojů používá vlastní systém upínání. Jednu z možností představuje nástroj od společnosti SANDVIK COROMANT. Vystružník Reamer 830 je vybaven spojkou, která je zasunuta do polohovacího kužele, který se zajistí pomocí otočení šestihybného šroubu. Výrobce uvádí přesnost upnutí pod  $3\mu\text{m}$ .

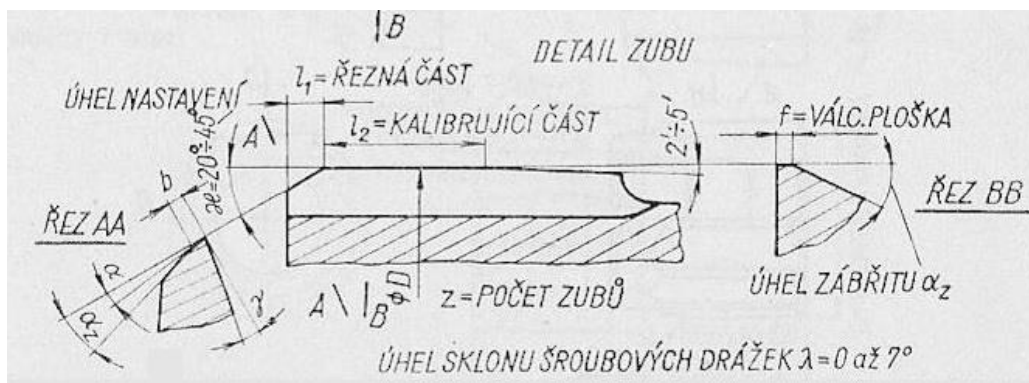


Obrázek 1.7 - Upínací systém nástroje REAMER 830 od společnosti SANDVIK COROMANT [21]

Dalším způsobem je upnutí pomocí přesného broušeného kolíku a pojistnou maticí nebo výměnná hlavička vkládaná do tepelného upínače jako používá spol. HAM-FINAL.

### 1.5.2 Geometrické parametry břítu nástroje

Geometrické parametry vystružovacího nástroje se nijak zvláště neliší od geometrie břitů jiných osových obráběcích nástrojů. Jedná se však o jeden z nejdůležitějších parametrů u nástroje a každý výrobce je chrání jako své know-how. Najdeme zde jak úhel čela tak úhle hřbetu a to jak hlavního tak vedlejšího. Jednotlivé úhly v příslušných nástrojových rovinách jsou vyznačeny na obr. 1.8. Oproti jiným nástrojům však rozdíl nalezneme v rozmístění břitů. Vystružník má sudý počet břitů, které jsou rozmístěny s nestejnou roztečí. Díky tomuto prvku je nástroj schopný obrábět přesné otvory i v nehomogenním materiálu. [1]



Obrázek 1.8 – Popis geometrických parametrů válcového vystružníku [8]

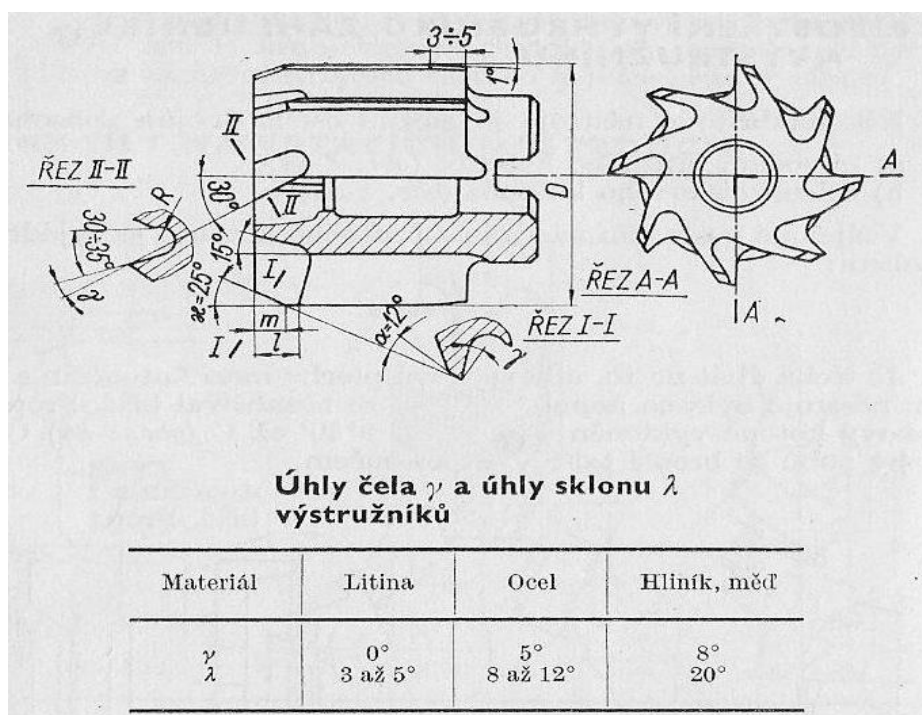


- **Úhel čela**  $\gamma_o$  ( $\gamma_f, \gamma_p$ ) nejvíce ovlivňuje řezný proces. Vliv na intenzitu plastické deformace, odchod třísek a tření na čele
- **Úhel hřbetu**  $\alpha_o$  ( $\alpha_p$ ) ovlivňuje polohu hřbetu břitů vzhledem k ploše řezu a tím i tření mezi hřbetem a plochou řezu.
- **Úhel nastavení hlavního ostří**  $\kappa_r$  ovlivňuje polohu hlavního ostří vzhledem k obrobku a obrobené ploše v základní rovině. Vliv na tvar jmenovitého průřezu třísky a poměr posuvové a pasivní síly
- **Úhel nastavení vedlejšího ostří**  $\kappa_f$  ovlivňuje drsnost obrobené plochy.
- **Úhel sklonu šroubovice**  $\lambda$  – úhel se mění dle obráběného materiálu a typu obráběné díry.

[1, 26]

Břit nástroje se skládá z řezné části, před kterou je v některých případech zařazena ještě zaváděcí část. Dále následuje kalibrovací část, která má požadovaný rozměr a toleranci. Poté je nástroj odlehčen tak, aby se již tolerovaný otvor nepoškodil při průchodu další částí nástroje.

Součástí hřbetu je fazetka (na obrázku 1.8 označena jako f), jejíž velikost může být od 1° v případě že je vyrobena na kalibrační části až po 8° pokud je součástí řezné části.

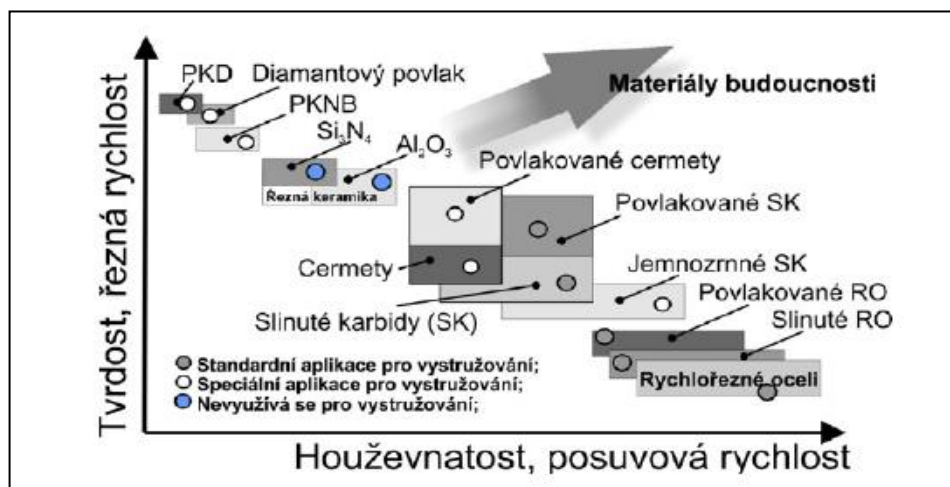


Obrázek 1.9 - Nastavení úhlů nástroje dle obráběného materiálu [8]

Nastavení úhlů čela a sklon šroubovice, ale i další úhly jsou zobrazeny na obr. 1.9. Tyto úhly se mohou značně lišit dle typu konstrukce u jednotlivých výrobců.

## 1.6 Řezné materiály

Výběr řezného materiálu je velice důležitým parametrem a musí odpovídat kvalitativním požadavkům vyráběné díry a dosahovat technicko-ekonomických kritérií u celého procesu výroby.



Obrázek 1.10 - Řezní materiály specifikace dle vhodnosti pro vystružování [26]

Základní charakteristika materiálů je uveden a na obr. 1.10. Žádný moderní řezný nástroje nemůže v konkurenci uspět, pokud nebude na řezný břit použit moderní produktivní řezný materiál.

Nejběžněji používaným nástroje je dnes SK, který nahradil dříve používané HSS. SK se používá nejčastěji s deponovanou tenkou vrstvou. Dále je možné používat na řezné břity cermet, jehož oblast použití se značně zvyšuje. Vysoce tvrdé materiály jako je kubický nitrid bóru (CBN) a polykrystalický diamat (PKD) se používají jen v určitých aplikacích a krajních případech kdy parametry SK ani cermetu nedostačují. Naopak řezný materiál, který se pro vystružovací materiály nepoužívá je keramika. Nemožnost použití je zapříčiněna nízkou houževnatostí materiálu a ani moderní řezné keramiky vyztužené whiskery nevyhovují.

## 1.7 Další faktory ovlivňující výsledek vystružování (chlazení, upínání, centrování, vyvažování, upnutí obrobku a předobrobený otvor)

Aktuální trend ve zvyšování produktivity výroby klade značné nároky nejen na samotný nástroj, ale na celou soustavu S-N-O-P. Součástí této soustavy, ač ve výčtu nejsou přímo zmíněny, jsou také způsob upnutí nástroje, jeho vyvážení a vycentrování, přívod procesní kapaliny, upnutí obrobku a mnoho dalších faktorů, které se pokusím popsat v následující kapitole.

Nejedná se tedy jen o nástroj ale o celou nástrojovou soustavu. Tato skutečnost je často opomíjena a filozofie mnohých výrobních podniků je zakoupení drahého stroje a nástroje, čímž se dosáhne efektivního procesu. Toto ale může mít při realizaci určitých typů aplikací značné nedostatky, neboť aby byl výsledek kvalitní, musí být kvalitní každá součást soustavy S-N-O-P.

Pokud tedy použijeme kvalitní a drahý nástroj i stroj, ale opomeneme kvalitně upnout nástroj nebo obrobek, kvalitně připravit otvor pro vystružování, vyvážit nebo vycentrovat nástroj, můžeme i tak dosahovat malé produktivity nebo špatných přesností a kvality obrobku.

Dosažení špatných výsledků výroby není jediné riziko spojené s podceněním těchto faktorů. Pokud použijeme nevhodný upínač nebo nástroj špatně vycentrujeme, může dojít

k poškození nástroje nebo také vřetena stroje, což je spojeno s náklady nepoměrně vyššími než jsou náklady na správné upnutí a ustavení nástroje.

### 1.7.1 Upínání nástrojů

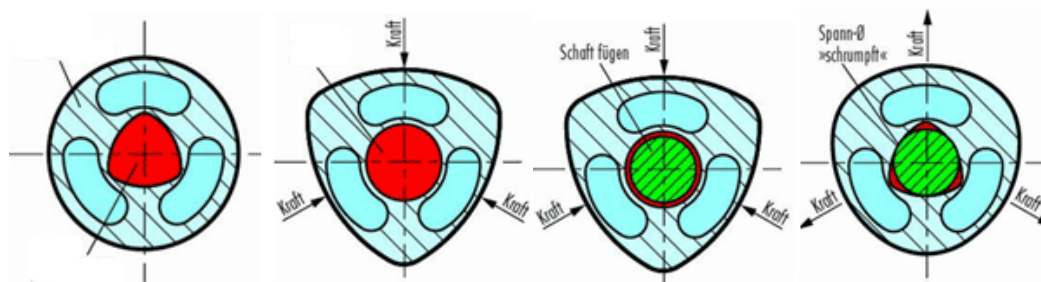
Na dnešním trhu je možné sehnat velkou spoustu upínacích systémů, které více či méně splňují běžné požadavky na upnutí. V případě vystružování se však jedná o dokončovací operaci, a tak jsou nároky na tuhost a přesnost upnutí značně vyšší. Dá se říci, že pokud pořídíme i velmi drahý nástroj, ale použijeme nevhodný systém upnutí nástroje, výsledek bude špatný a také je možné nástroj poškodit.

Specifikace upnutí: v případě dokončování otvorů vystružováním, které se vyznačují vysokými rychlostmi ale malými úběry, je cílem získat vysokou přesnost otvoru a dobrou kvalitu obrobenej plochy, proto je zapotřebí, aby upnutí bylo velice tuhé a nedovolovalo nástroji jakékoliv ani sebemenší odklonění přednastavené polohy. Toto platí pro nástroje, které nejsou v otvoru vedeny, pokud je nástroj v otvoru veden, je možné použít i upnutí s vůlí tak, aby nástroj kopíroval osu původního otvoru. Proto je třeba před volbou upínače značně zvážit všechny faktory ovlivňující proces obrábění a zvolit takový upínač, který spolehlivě splní všechny požadavky.

#### Systémy upínání

Nejtuzší upnutí mají tepelné upínače. Dále pak upínače zvané TRIBOS, které mají výbornou přesnost, ale vlivem vyššího zatížení může docházet např. k vytahování nástroje. Pro aplikaci vystružování jsou však hodnoty tuhosti dostačující. Hydro upínače, které byly dříve určeny především pro hrubování, se dnes parametry upnutí (upínací síla, přesnost upnutí, a další) velice blíží prvním dvou typům upnutí a jsou dnes velice používanou alternativou upnutí pro technologii vystružování. Další možností jsou mechanické upínače, které se blíží k prvním dvěma svojí tuhostí a přesností ale opakovatelnost upnutí je horší. Univerzální upínače mají dosahované přesnosti obvodového házení podobné, ale jedná se o měkké upnutí, což je více vhodné pro hrubování, avšak při určitých typech aplikací je možné využít i tento typ upnutí.

- TRIBOS je upínač s velice přesným a tuhým upnutím založený na plastických deformacích materiálu v mezích platnosti Hookova zákona, který vychází z tahové zkoušky materiálu. Jedná se o vnitřní polygonový otvor, který je před upnutím nástroje zdeformovaný, silovým působením ve vrcholech polygonu, na kruhový otvor. Po vložení nástroje se deformační síla odstraní a nástroj je upnut velice tuhým a přesným upnutím. Je třeba dávat pozor na upínací sílu, neboť pokud se přesáhne dovolené napětí, dojde k trvalé deformaci a upínač je poškozen. Nevýhodou tohoto způsobu upnutí je nutnost pořízení specializované pumpy a nutnost dbát na upínací tlak.



Obrázek 1.11 - Systém upnutí nástroj pomocí upínače TRIBOS [12]

- Tepelné upínače jsou založeny na teplotní roztažnosti materiálu upínače. Upínací část držáku nástroje se ohřeje na stanovenou teplotu, a tím dojde k roztažení materiálu a průměr upínací části se zvětší. Poté se vloží do upínače nástroj a držák se nechá ochladnout. Po vychladnutí na provozní teplotu je nástroj upnut velkou silou a s velkou přesností. Nevýhodou je zakoupení relativně drahého zařízení na ohřev držáku. Je zde potřeba dodržení přesného teplotního cyklu, kterým musí materiál projít, neboť jinak by mohlo dojít k poškození držáku. Také je částečně možné ovlivnění nástroje teplem, které přejde z držáku. Dále je nevýhodou takřka nemožnost upnutí nástroje z HSS kvůli podobné teplotní roztažnosti držáku a nástroje.
- Hydraulické upínače, které byly původně vhodné především pro hrubovací operace a operace s větším úběrem materiálu kvůli vysoké schopnosti tlumení, se dnes prosazují i do dokončovacích operací jako je např. vystružování a to díky velké upínací síle, kterou je možné na nástroj pomocí hydrauliky vyvodit. Tato síla je dána mezivrstvou kapaliny nebo plastické hmoty vložené mezi vložku a tělo upínače. Způsob upnutí je u moderních upínačů vcelku jednoduchý. Po vložení nástroje do upínače se pomocí šroubu vyvine tlak na kapalinu, a tím se zdeformuje vložka natolik, že nástroj již není možné vyndat. Pro bezpečné použití je uvnitř pouzdra vyrobena šroubovice pro odvod sražené kapaliny.



Obrázek 1.12 - Hydraulický upínač TRENDO od společnosti SHUNK [11]

- Mechanické kleštinové upínače jsou mezistupněm mezi tvrdým a měkkým upnutím. Jedná se o sevření nástroje pomocí kleštin, které jsou stlačeny maticí. Jde o upnutí, které přenáší velké kroučící momenty s velice dobrou přesností obvodového házení.
- Univerzální upínače mají podobný princip jako hydraulické upínače, ale místo kapalného média je zde deformován pevný segment, který se pomocí matice stlačí tak, aby vyvinul na vložku tlak. Opět se jedná spíše o upnutí, které více tlumí, a je tedy vhodnější pro operace s velkým úběrem.

### 1.7.2 Centrování nástrojů

Při přesném dokončování obrábění otvorů je celkový výsledek velice závislý na celkovém obvodovém házení a tedy na vycentrování nástroje. Většina upínacích systémů nabízených na dnešním trhu splňuje požadavky na tvarové přesnosti jen do určité vzdálenosti od čela upínače (bývá 2-3x D nástroje), a tak při větším vyložení je nutné nástroj vycentrovat.

Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

V současné době je mnoho upínacích systémů umožňujících centrování nástroje, ale všechny jsou založeny na principu pružné deformace. Deformační člen, většinou z určitého typu pryže nebo plastu, je stlačován pomocí šroubků rozmístěných po obvodu upínače, a tím dochází k posunutí osy nástroje do osy upínacího kužele.

### Způsoby centrování nástrojů

V praxi se pak uplatňují dva základní způsoby centrování. Prvním z nich je vyrovnání osy nástroje a osy upínacího kužele a to v místě na čele upínače. Část upínače, ve které je upnut nástroj, je posouvána v požadovaném směru oproti upínacímu kuželu, dokud nejsou obě osy totožné. Tuto variantu centrování umožňuje většina centrovatelných upínačů.

Druhou možností je, a to především pro nástroje s dlouhým vyložením, vynulování osy nástroje na čele upínače a na špičce nástroje. Zde je již podmínkou, aby byl nástroj vycentrován na čele. Tímto způsobem je možné dostat osu nástroje do osy upínače a to po celé délce nástroje, což je především u obrábění hlubokých otvorů s vysokou tvarovou překotí velice důležité.

### 1.7.3 Vyvažování nástrojů

Dalším parametrem, který výrazně ovlivňuje obvodové házení, především při vyšších otáčkách, a tím kvalitu a přesnost vyrobeného otvoru, je vyvážení nástroje a to i s upínačem. Pokud tedy použijeme přesné a nákladné nástroj za vyšších otáček, ale opomeneme nástroj vyvážit, je možné, že výsledek bude velice neuspokojivý. Neboť nevyvážený nástroj i s upínačem se nám při vysokých otáčkách rozkmitá a hodnoty tolerancí, které původně splňoval, jsou již nedosažitelné. Dnešní produktivní nástroje a především nástrojové upínače je tedy třeba vyvážit. A to nejen z důvodu dosažení požadované kvality a přesnosti ale také aby nedocházelo k nadměrnému namáhání ložisek včetně a tím k jeho poškození.

#### Nevyváženost

Jedná se o stav, kdy je hlavní osa rotace odlišná od osy setrvačnosti. Hodnota nevyvážení tělesa je vztažena vždy k jednomu řezu a jedná se o součin hmotnosti a poloměru, na kterém se hodnota nevyvážku otáčí.

Nevyváženost lze ještě rozdělit na statickou a dynamickou.

*Statická* – je patrná při působení pouze jedné síly, tedy i v klidovém stavu. Způsobena polohou těžiště mimo osu rotace.

*Dynamická* – Je kombinací statické a momentové nevyváženosti tělesa. Momentová nevyváženost vzniká je způsobena momentem naklonění, které vyvozují dvě hmoty stejně vzdálené od osy ale pootočené o 180°. V praxi je dynamická nevyváženost častějším případem.

#### Systém vyvažování nástrojů

Existuje několik způsobů vedoucích k vyvážení nástroje, ale všechny metody mají totožný princip. Základem je vyvažovací stroj, do kterého nástroj i s upínačem vložíme a roztočíme na provozní otáčky. Stroj nám určí hodnotu nevyvážení a polohu, ve které nám působí odstředivá síla od nevyvážku. Tuto nevyváženost je třeba kompenzovat. Kompenzaci provádíme několika způsoby. [25]

- Vyvážení odebráním materiálu vrtáním – jedná se o odebrání materiálu v místě působení odstředivé síly vrtáním. Metoda je nevratná a limitovaná především počtem odvrtaných otvorů

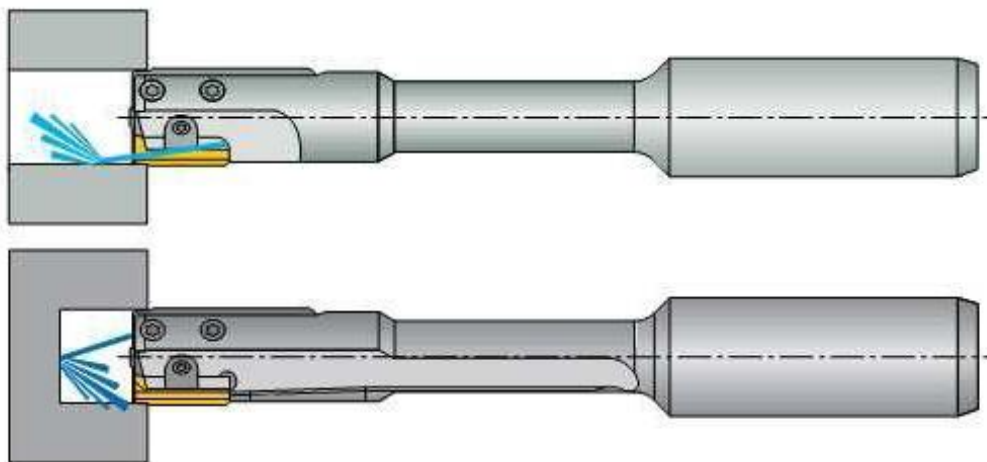
- Vyvážení odebráním materiálu frézováním – jedná se o odebrání materiálu v místě působení odstředivé síly odfrézováním. Opět se jedná o trvalý způsob a platí pro něho totéž co pro metodu odvrtání.
- Vyvážení pomocí vyvažovacích šroubků – tento způsob spočívá v zašroubování vyvažovacích šroubků do části upínače s předem připravenými otvory. Šroubky se umísťují tak, aby vyvažovací hmota působila v protilehlém místě působení odstředivé síly nevyvážku.
- Vyvážení pomocí vyvažovacích kroužků – jedná se o efektivní způsob vyvažování, kdy na držák nástroje je vložen jeden nebo sada vyvažovacích kroužků, které mají hodnotu nevyvážku a jejich vyvažovací hmota je umístěna na protilehlé straně od nevyvážku. Kroužky se k tělesu přitáhnou pomocí šroubků, které se vtláčejí do povrchu součásti.

[25]

#### 1.7.4 Přívod chladicí kapaliny

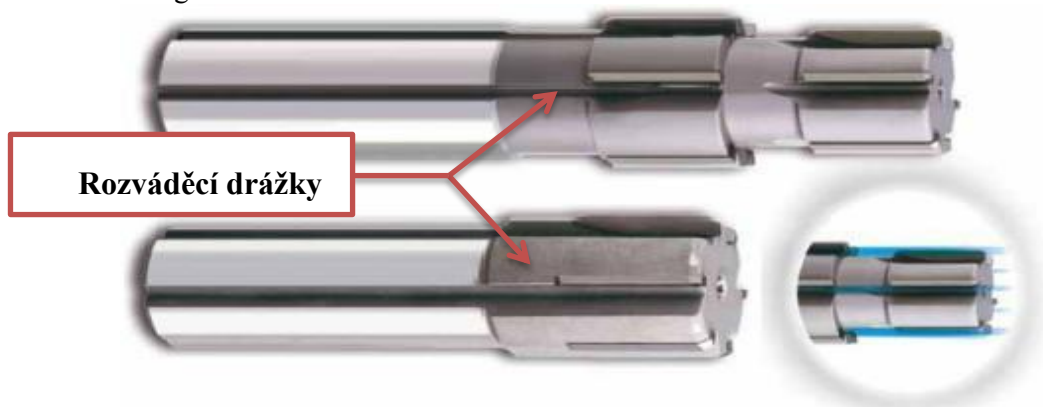
Produktivita, kvalita a spolehlivost procesu vystružování jsou základními parametry, ty ovšem velice značně ovlivňuje přívod procesní kapaliny. Už jen základní rozhodnutí zda použijeme emulzi nebo řezný olej může ovlivnit výsledek celého obrábění. Olej nám výsledný otvor stahuje a naopak použití emulze otvor zvětšuje.

Dalším podstatným parametrem je tlak procesní kapaliny. Nejde však pouze o tlak, velice důležité je také nasměrování proudu přímo do místa řezu a objem přivedené kapaliny. Tyto parametry jsou zaváděny až v posledních letech a jsou velice důležité především u nástrojů menších průměrů, kde jsou tyto rozdíly velice podstatné.



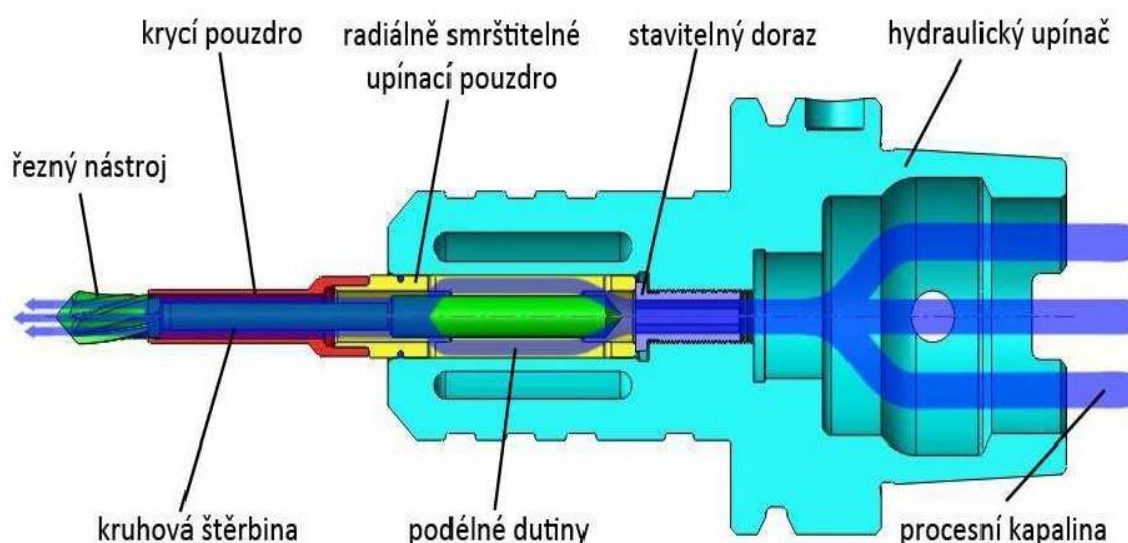
Obrázek 1.13 – Rozdíl v přívodu kapaliny pro slepé a průchozí díry [23]

Základním typem přívodu procesní kapaliny je vnější chlazení, které je však velice neefektivní a používá se především u starších nástrojů. Pokud je přívod kapaliny řešen středem nástroje, je třeba odlišovat nástroje na průchozí a na neprůchozí otvory. Zatímco u nástroje pro slepé otvory je kapalina přiváděna středem, odráží se o dno a vrací kolem břitů, a tím vyplavuje třísky, jak je znázorněno na obrázku 1.13 u nástroje pro průchozí otvory je kapalina ze středu rozvedena kanálky přímo k řezným břitům, a tím napomáhá odlamování a odplavování třísky.



Obrázek 1.14 - Nástroj s podélnými drážkami - GÜHRING [20]

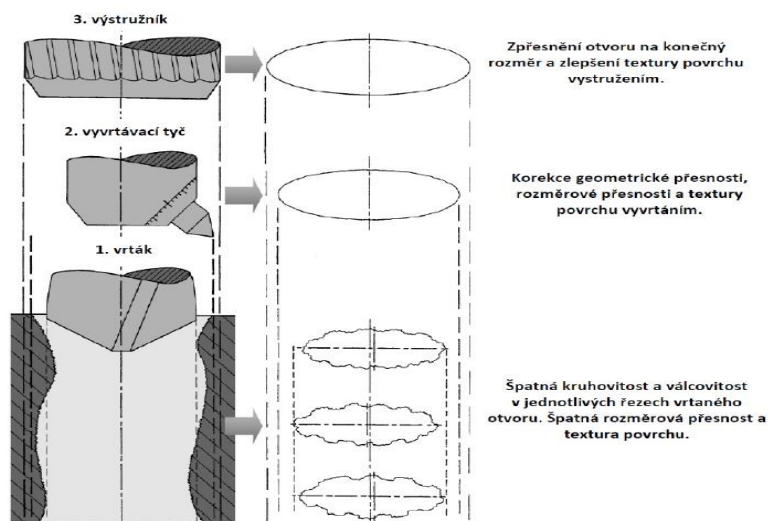
V současnosti se na trhu objevují dva nové přístupy k přívodu procesní kapaliny. Obě tyto varianty jsou určeny pro nástroje na průchozí otvory a to především menších průměrů, u nichž je problematické vytvářet rozvod drážek přímo do zubových mezer. Prvním z nich je přívod speciálními drážkami v upínací části nástroje. Tyto drážky jsou vyrobeny tak, že za provozních podmínek je procesní kapalina směrována do zubových mezer. Viz obr. 1.14 Druhou alternativu představuje koncept skládaného nástroje, u kterého je kapalina přiváděna z vřetena skrze držák do mezikruží tvořeného tělem nástroje a krycím pouzdem, viz. obr. 1.15. Z tohoto mezikruží je kapaliny přiváděna přímo do zubových mezer.



Obrázek 1.15 - Speciální koncepce přívodu kapaliny k břitům nástroje - HAM-FINAL [26]

### 1.7.5 Předobrobený otvor

Jak již bylo zmíněno, vystružování je dokončovací operace, která navazuje na vrtání, vyvrtávání, v některých případech na vyhrubování. Výsledek celé technologie výroby díry s požadovanou přesností a kvalitou je značně závislý na kvalitě před-obrobené díry, ve které jsou následně provedeny dokončovací kroky pomocí výstružníku.



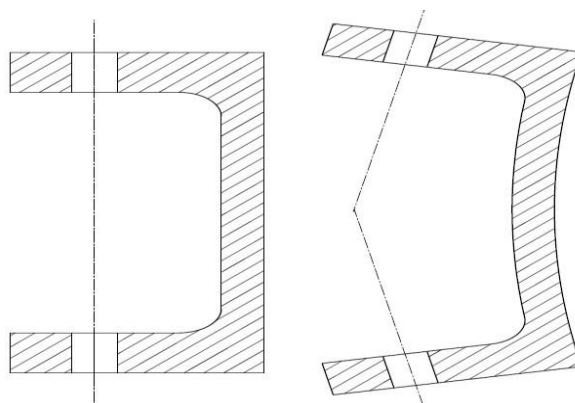
Obrázek 1.16 - Sled operací zlepšující kvalitativní parametry otvoru [26].

V některých případech se dá nepřesnost vzniklá při hrubování a před-dokončování vystružováním odstranit, ale ve většině případů nástroj jen kopíruje již vzniklé chyby a tedy špatně vyvrtaná díra má za následek defekt celého otvoru. Schematicky je technologie výroby tolerovaného válcového otvoru vyobrazena na obr. 16.

Optimalizací vrtací technologie můžeme zajistit spolehlivost celé výroby otvoru. Tento přístup je v současnosti hojně uplatňován, neboť bylo v řadě případů zjištěno, že ani použití velice kvalitního výstružníku na kvalitním stroji nepřineslo očekávaný výsledek.

### 1.7.6 Upnutí obrobku

Upnutí obrobku je faktor, jehož vliv není u vystružování zcela zásadní, neboť při této technologii jsou vzniklé síly relativně nižší než u ostatních technologií. Pokud máme kusovou výrobu a počet otvorů nepřevyšuje 1000 děr za rok, je možné upnutí při vystružování řešit klasicky svěrákem nebo upínkami, popř. zařadit vystružování za nějakou další operaci na univerzálním stroji. Avšak pokud se jedná o hromadnou výrobu, bude třeba se zaměřit také na tento jev.



Obrázek 1.17 - Vliv špatného upnutí na výslednou sousost otvorů

Dalším případem kdy je upnutí takřka zásadním bodem celého obrábění, je při výrobě tenkostěnných obrobků. Upnutí nám značně ovlivňuje celkovou tuhost soustavy a pokud vlivem obrábění dojde k teplotnímu namáhání, můžeme po odepnutí obrobek změnit své parametry a například dva obrobek mohou změnit polohu os oproti stavu při výrobě. Příklad je uveden na obr. 1.17.



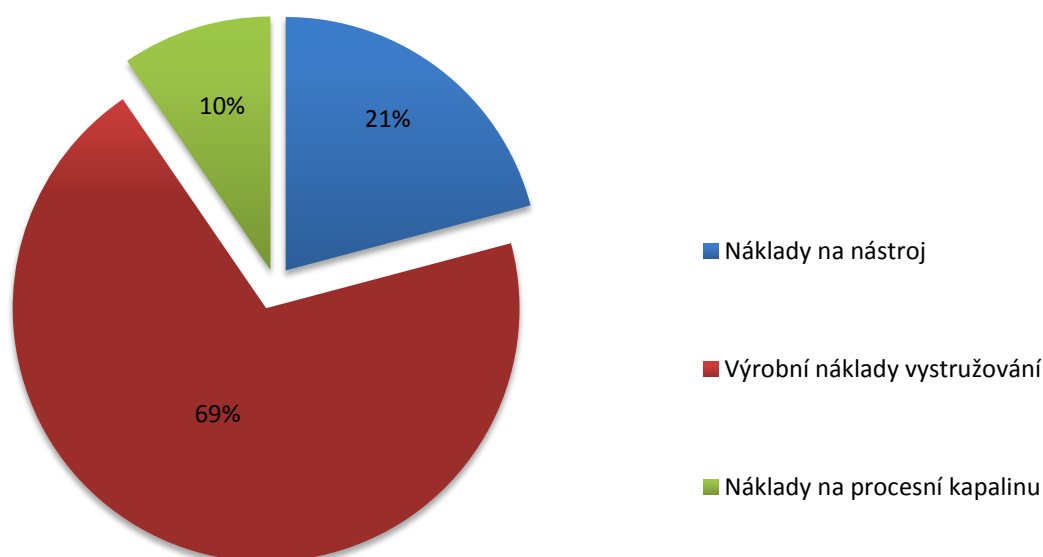
## 2 Charakteristika a hodnocení současného stavu vystružování otvorů – konstrukční hledisko a konkurenceschopnost vystružníků

Vystružování se používá takřka ve všech strojírenských oborech a je celkem běžnou technologií ve výrobě. Současný stav však tento obor posouvá do zcela jiné sféry. Aktuálním trendem ve strojírenské výrobě je snižování nákladů výroby a tím zlevňování koncového výrobku. Tento trend má za následek snižování pracnosti součástí a zároveň zvyšování řezných a posunových rychlostí nástroje a tím zvyšování produktivity. Všechny tyto faktory tedy snižují čas potřebný na výrobu součástí za udržení nebo zlepšení kvality.

Snížení času výroby je možné dosáhnout několika způsoby. Jedním z nich je využití vysoce efektivních nástrojů právě pro vystružování. Dokončovací operace jsou charakteristické menší produktivitou a tedy vyššími časovými nároky. Pokud budeme hovořit o velmi produktivním vystružování, je zde kromě vysoké přesnosti také požadavek na rychlost výroby a předem známou trvanlivost nástroje.

Jako u každé operace nás i u vystružování zajímají náklady spojené s výrobou. Neboť celková cena vystruženého otvoru je součtem jak nákladů na nástroje tak i náklady spojenými s výrobou a také náklady na procesní kapaliny potřebné k výrobě. Cena nástroje však dnes není zcela rozhodujícím faktorem. Neboť pokud se relativně dražším nástrojem obrobí několikanásobně více děr, výsledná cena obrobené otvoru je značně nižší. Také z dat výrobců nástrojů vyplývá, že celkové náklady na vystružený otvor jsou více závislé na produktivitě vystružování než na ceně nástroje nebo na ceně procesních kapalin, jak ukazuje graf na obr. 2.1.

### Podíl finančních nároků na vystružený otvor



Obrázek 2.1 – Graf podílu finančních nároků na vystružený otvor

Při hodnocení současného stavu vysoce produktivních a přesných vystružovacích nástrojů bylo třeba zohlednit několik základních hledisek. Dle těchto hledisek je poté potřeba zvolit vhodného výrobce a specifikovat sortiment, který by nejlépe odpovídal směřům použití.

## 2.1 Hlavní obory použití

Vzhledem ke stavu na trhu s nástroji, kde díky velkému posunu v materiálovém inženýrství a rozmachu deponice tenkých vrstev dosahují nástroje parametrů, které jsou běžné konvenční výrobní stroje vyskytující se ve výrobě jen těžko schopny zvládnout. Proto je velice těžké hledat prostor k inovaci. Avšak při velkosériové a hromadné výrobě kde výroba probíhá ve specializovaných linkách a stroje dosahují požadovaných parametrů, je možné tyto nástroje úspěšně použít.

Největší uplatnění tedy naleznou vysoce produktivní nástroje právě v těchto typech výroby, kde kromě kvalitně vyrobené díry velice záleží na času výroby a nejdůležitějším faktorem je spolehlivost a bezporuchový provoz. Takovéto požadavky nalezneme především ve velkosériové a hromadné výrobě, kdy je při taktu linky každý ušetřený čas důležitý.

Velkosériovou a hromadnou výrobu nalezneme především v automobilovém a železničním průmyslu. Dále pak při výrobě různých strojů, nástrojů jako jsou zápusťkové nebo vstříkovací formy nebo strojních zařízení typu hydro a pneumatiky a mnoho dalších.

Kromě hromadné a velkosériové výroby nalezneme uplatnění těchto nástrojů i ve středně sériové výrobě, kde však podmínkou podniku je nulová zmetkovitost výroby a podnik může vynaložit větší náklady na nástroj, který odstaví po určitém nekritickém počtu ujetých metrů za cenu 100% kvality a spolehlivosti procesu. Tento případ můžeme nalézt např. v leteckém průmyslu, kde jakost díry je nejdůležitějším parametrem.

## 2.2 Obráběné materiály

Volba řezného materiálu, který je rozebírán v kapitole 1.6, ze kterého je vyroben nástroj nebo řezná hrana, značně závisí kromě geometrie a deponované tenké vrstvě na obráběném materiálu, ve kterém bude nástroj pracovat. Protože však při dnešním vývoji v materiálovém inženýrství není možné určit univerzální řezný materiál pro všechny obráběné materiály, byli zvoleni představitelé hlavních průmyslových odvětví a v návaznosti na průmyslové obory a aplikace vysoce efektivního a přesného obrábění otvorů byly vyspecifikovány nejčastěji obráběné materiály z každého oboru (viz tab. 2.1). Každý materiál má jiné vlastnosti a také tedy jiné spektrum použití.

První kategorií jsou litiny. Jako zástupci byli zvoleni šedá litina GG25 a tvárná litina GGG60. Dále pak zde jsou oceli. Z uhlíkových ocelí byl zvolen materiál 11 373.1 ve stavu normalizačně žíhaném. Z ušlechtilých materiálů byla zvolena slitinová chrom-molybden-vanadová ocel 15 246 a austenitická korozivzdorná ocel 17 240. Poslední kategorií z ocelí jsou nástrojové oceli. Zde byla jako zástupce vybrána nízkolegovaná nástrojová ocel 19 312. Z neželezných kovů je často obráběným materiálem hliník. Jako představitel byla vybrána slitina Al-Si s 12% křemíku. Detailní rozbor jednotlivých zvolených materiálů je uveden v příloze 9.

Tabulka 2.1 - Použití obráběných materiálů

Použití obráběných materiálů		
Obráběný materiál	Oblast použití daného materiálu	
	Primární oblast	Sekundární oblast
<b>GG25</b>	Automobilový průmysl	Hydraulické komponenty
<b>GGG60</b>	Automobilový průmysl	Hydraulické komponenty
<b>11 373.1</b>	Zemědělská technika	Svařence pro stavební stroje
<b>15 246.X</b>	Hydraulické komponenty	Automobilový průmysl
<b>17 240.X</b>	Chemický průmysl	Potravinářský průmysl
<b>19 312.X</b>	Nástroje pro tváření	Nástroje pro dělení
<b>Al-Si slitina</b>	Letecký průmysl	Automobilový průmysl

### 2.3 Vysoce produktivní a přesný nástroj

Jako další je třeba definovat, co se skrývá pod pojmem vysoce produktivní a přesný vystružovací nástroj. Neboť pokud bychom prošli velkou řadou typů strojírenských výrob, byl by pojem vysoce produktivní nástroj různý.

I díky všem trendům, které byly v předcházejícím textu zmíněny, se dnes u vystružování například konstrukčních ocelí pohybuje řezná rychlost  $v_c$  v rozmezí 120 – 250 [m/min] a posuv na otáčku 0,1 až 1,8 [mm], což jsou oproti klasickým nástrojům 10 krát vyšší podmínky. Tento příklad lze považovat jako vysoce produktivní vystružování. Tedy pokud dosahujeme předepsaných tolerancí s předem známou a dobrou spolehlivostí za několikanásobných řezných podmínek, jedná se o vysoce produktivní obrábění.

Tato definice neplatí zcela vždy, ale obecně lze říci, že produktivita nejvíce závisí na řezných podmínkách a tedy pokud jsme schopni řezné podmínky zvýšit a neztratit při tom kvalitě, je proces produktivní. Toto klade obrovské požadavky na nástroj jako takový. Od jakosti základního materiálu, přes broušení požadované geometrie až po před-depoziční úpravy a samotnou depozici povlaku musí být všechny jednotlivé části procesu výroby takřka dokonalé.

V následující části jsou uvedeny současné konstrukční řešení moderních nástrojů které se běžně vyskytují v katalogích výrobců.

#### 2.3.1 Monolitní nástroje

Monolitní nástroje jsou dnes nejběžněji používanými typy nástrojů a to nejen díky své lepší cenové dostupnosti, ale také díky stále se lepším výsledkům obrábění. Toho je dosaženo především použitím vhodného řezného materiálu s optimálním povlakem v kombinaci s efektivní geometrií břitu.



Obrázek 2.2 – Monolitní výstružník s pájenými břity od společnosti BECK [15]

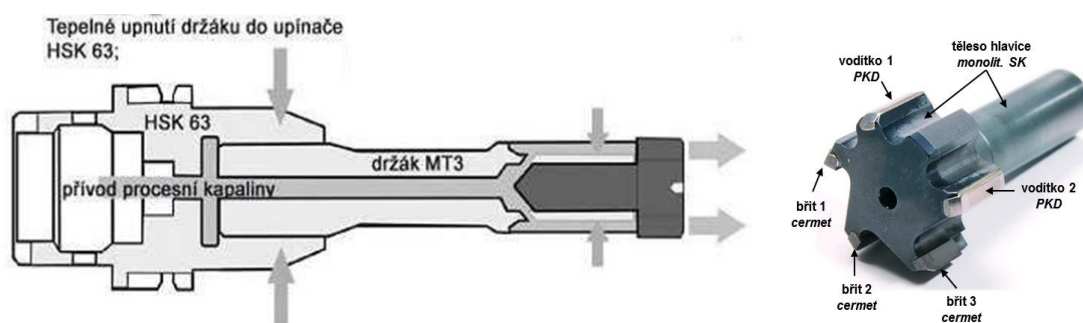
Mezi monolitní řadíme také nástroje, které mají břity připájené na těleso nebo je na základní těleso připájena celá řezná hlavička. Obecně lze za monolitní nástroje považovat ty, jejichž břity nejsme schopni dále ovlivnit. Lze je v některých případech pouze přebrousit anebo poslat na renovaci.

V dnešní době se nejčastěji vyrábějí nástroje z SK nebo z cermetu. Bohužel změnou technologie výroby cermetu se zněkolikanásobila cena polotovaru, z něhož byly celo cermetové nástroje vyráběny, a tak výroba celo-cermetový nástrojů takřka vymizela s výjimkou pár specializovaných nástrojů. Dnes se spíše používají nástroje, které mají pouze břity z cermetu, které jsou napájeny na těle z SK.

Vysoko efektivní monolitní nástroje jsou vyráběny především výrobcí BECK, GHURING, HAM FINAL, ISCAR, MAPAL, SANDVIK CORMAT.

### 2.3.2 Vystružovací hlavy

Vystružovací hlavy jsou velice často používané nástroje pro středně a malosériovou výrobu, kde nejsou uplatňovány ty nejvyšší požadavky na drsnost a jakost povrchu, ale naopak je zde obráběný větší sortiment materiálů. Tyto nástroje umožňují vcelku jednoduše výměnou řezných břitů z vhodného řezného materiálu a seřizením na požadovaný rozměr obrábět takřka jakýkoliv materiál za použití vyšších řezných rychlostí, než bylo dosud obvyklé.



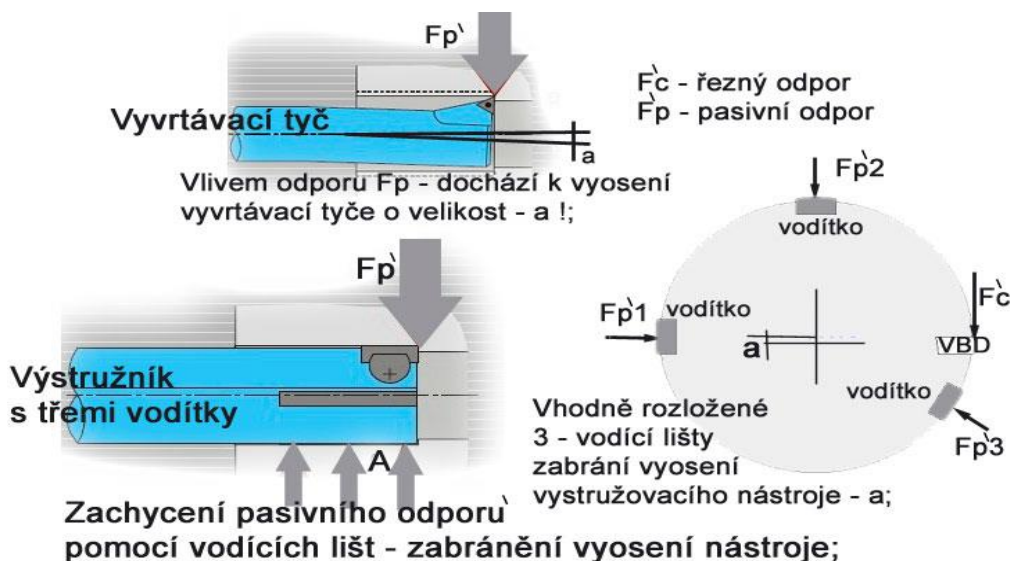
Obrázek 2.3 - Vystružovací hlavice MT3 od společnosti HAM-FINAL (sestava + výměnná hlavice) [3]

Jde však o nástroje s vyššími pořizovacími náklady, a tak je potřeba vždy zvážit zda je pro nás více vhodné investovat do nástroje, který obsáhne více obráběných materiálů za cenu určitých omezení, nebo nákup specializovaného nástroje, který dokáže pro daný případ zcela uspokojit naše požadavky na kvalitu a zároveň produktivitu procesu, ale je vhodný jen pro určitou aplikaci.

Vystružovací hlavy vyrábějí výrobci BECK, HAM-FINAL, MAPAL, SANDVIC COROMANT, SECO TOOLS.

### 2.3.3 Jednobřité výstružníky

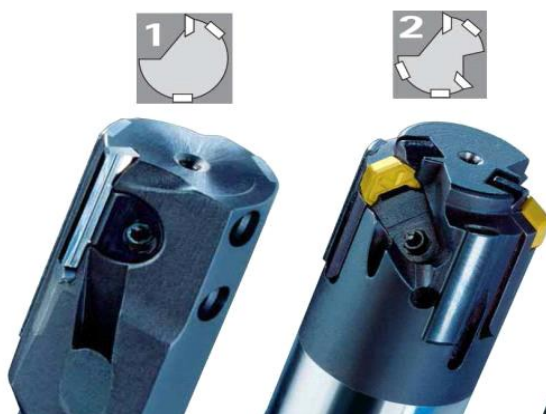
Tento typ vystružovacích nástrojů je specifický především díky tomu, že oproti ostatním, má pouze jeden řezný břit. Připomíná tedy spíše vyvrtávací tyč. Ovšem výhodou těchto nástrojů je vysoká rozměrová přesnost a to především proto, že nástroje jsou v otvoru vedeny a nedochází tím k vyosení nástroje při působení řezné síly. Tyto síly jsou zachyceny ve vodících lištách, které jsou rozmístěny po obvodu tak, aby byla síla rovnoměrně rozložena. Většinou se používají 2-3 vodící lišty, přičemž dvě z nich slouží k rozložení řezné síly a jedna slouží k lepšímu zavedení břitu do řezu, a tím nedochází k vyosení otvoru.



Obrázek 2.4 - Rozdíl mezi vyvrtávací tyčí a jednobřítým výstružníkem [4]

Tyto výstružníky dosahují sice menších řezných rychlostí ale v tvarové přesnosti otvoru, jeho drsnosti a poměru hloubka/průměr otvoru jsou jedny z nejlepších a nejefektivnějších typů.

Také se dnes vyrábí dvoubřité výstružníky, založené na stejném principu, zachycení řezných sil vodícími lištami. Kombinace dvou řezných sil a také nestejnorodost materiálu způsobují, že tyto nástroje mají horší tvarovou přesnost při podobných pracovních podmínkách jako jednobřité nástroje.



Obrázek 2.5 - Jednobřítý a dvoubřítý výstružník s vodícími lištami společnosti MAPAL [17]

Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

Další výhodou těchto nástrojů je možnost vyrobit řezný břit jako břitovou destičku, která navíc může být z různých řezných materiálů a s různou geometrií břitu. Tím je možné použít nástroje pro více obráběných materiálů. Břitová destička přináší ještě další výhody. První je možné seřízení nástroje dle požadované tolerance a to volbou vhodné podložky. Další výhodou může být kompenzace opotřebení postupným vysouváním břitu, pokud je zvolena vhodná konstrukce nástroje.

Jednobřité výstružníky s vysokým výkonem dnes vyrábí společnosti ISCAR, MAPAL a HAM-FINAL.

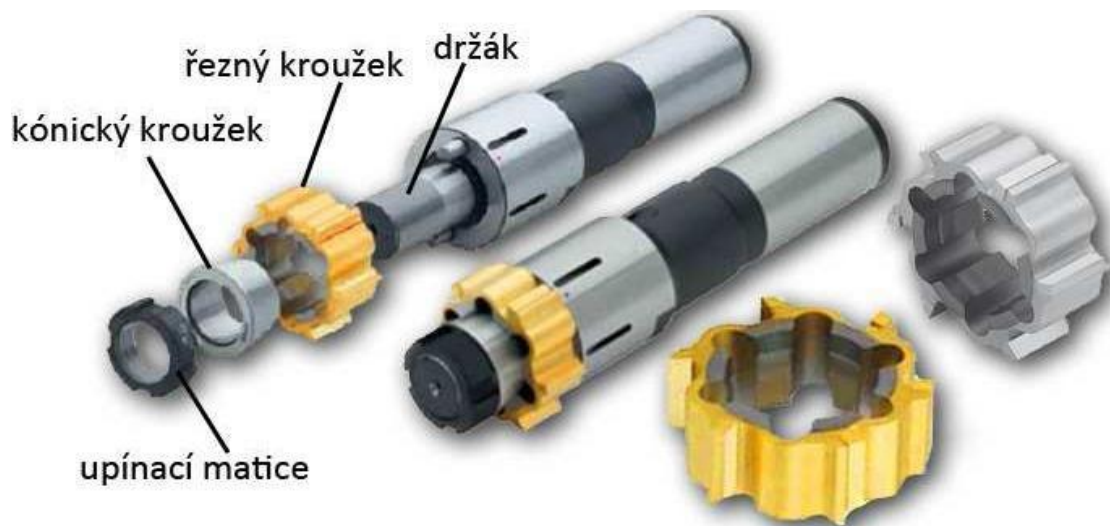
### 2.3.4 Vystružovací kroužky

U vystružovacích kroužků se jedná o nástroje, které svojí konstrukcí spojují monolitní nástroje a vystružovací hlavice s nástroji s možností kompenzace jako u stavitelného výstružníku. Aplikace těchto nástrojů je především při velmi přesném a efektivním vystružování otvorů větších průměrů a to hlavně při velkosériových a hromadných výroбах. Zde je třeba, aby jeden nástroj udělal velký předem známý počet otvorů a poté byl obsluhou seřízen bez nutnosti vyjmutí ze stroje.

Velkou výhodou těchto nástrojů je modularita, kdy na jeden držák upnutý v nástrojovém upínači pouhou výměnou hlavice získáme nástroj zcela jiných parametrů ale se stejnou polohovou tolerancí. Další výhodou je zde, že kroužky jsou vyráběny z různých řezných materiálů a s různými typy tenkých vrstev, čímž je možné obrábět velké množství materiálů. Tím, že je možné kroužky rozpínat, je možné obrábět buď ve více tolerančních polích jedním nástrojem, nebo kompenzovat opotřebení nástroje jednoduchým přitažením pojistné matice. V neposlední řadě je zde možnost nástroje přebrousit a ušetřit jak náklady na nový nástroj tak přírodní zdroje.

Nevýhodou nástroje je vysoká pořizovací cena a to jak kroužků tak především držáků. Jako další je poté nutnost zajistit přesný utahovací moment nebo při každé výměně kontrolovat toleranci neboť je možné ji špatným utažením změnit.

Výrobou tohoto typu nástroje se zabývají především společnosti KOMET-DIHART, MAPAL a také společnost HORN.



Obrázek 2.6 - Vystružovací kroužek DIHART – KOMET Group[5]

## 2.4 Přehled současných výrobců v oblasti velmi přesného vystružování

Dalším důležitým aspektem je zvolit vhodný nástroj resp. výrobce nástroje. V současné době existuje celá řada výrobců nástrojů pro dokončování, kteří nabízejí velké spektrum variant, ale pro velmi přesné produktivní dokončování otvorů je třeba na trhu hledat renomované výrobce, kteří se tímto oborem zabývají již celou řadu let. Při hodnocení současného stavu nástrojů pro vystružování byli osloveni přední světový i čeští výrobci v tomto oboru.

V následujícím bloku jsou uvedeni přední výrobci vystružovacích nástrojů.

### BECK



Obrázek 2.7 - Logo společnosti BECK [7]

August Beck založil svou firmu již v roce 1906 původně jako ruční dílnu. Do středně velké společnosti se BECK rozvinul postupem času, kdy se jeho výroba zaměřila na výrobu nástrojů pro dokončovací obrábění a vrtání. Firma se díky své preciznosti a vysoké kvalitě nástrojů dostala do společností po celém světě. [7]

Mezi základní nabízený sortiment patří výstružníky a záhlubníky, které jsou nabízeny v různých materiálových provedeních, jako jsou SK, cermet, PKD a CNB. Díky vzrůstajícímu tlaku na cenu vzrostla poptávka po metodách, které umožňují pracovat více ekonomicky. To se stalo jedním z nejdůležitějších předpokladů pro úspěch společnosti společně s vysokou přesností a extrémně vysokým výkonem nástrojů. [7]

Firma nabízí celou řadu výstružníků, ale pro oblast velmi přesného a produktivního dokončování jsou určeny především výstružníky typu VR-01 a HNC. [7]

**VR-01** – je vícebřitý vystružovací nástroj s tolerancí IT 7. Nástroj se vyrábí pro průchozí otvory se šikmými břity a to jak z SK tak z cermetu, CBN nebo PKD. Do oceli a litiny je možné výstružník pořídit od průměru 6 [mm], do ostatních materiálů je nástroj k dispozici od 10 [mm] až do 40 [mm], kdy kvalitu obrábění zajišťuje až 18 břitů. Drsnost obrobeného otvoru je maximálně  $Ra = 0,8$  [ $\mu\text{m}$ ]. Nástroj je možné používat do délky až 8 L/D. [15]



Obrázek 2.8 - Produktivní výstružník HNC [15]

**HNC** – monolitní nástroj z SK s různým typem povlaků a extrémní nepravidelnost zubů, díky které dosahuje kruhovitosti 1-2 [ $\mu\text{m}$ ]. Jedná se o druhý vysoce produktivní výstružník společnosti BECK. Nástroje se vyrábí od průměru 3 [mm] až do 20 [mm] a dosahuje přesnosti IT7. [15]

# GÜHRING

Obrázek 2.9 - Logo společnosti GÜHRING [20]

GÜHRING je prosperující pobočka německého koncernu GÜHRING. Má své pobočky ve 32 zemích světa a zaměstnává více než 4000 pracovníků. Na českém trhu se společnost pohybuje už 35 let. Sortiment firmy tvoří veškeré nástroje pro obrábění vnitřních rotačních ploch od vrtáků, přes záhlubníky a výstružníky až po závitníky. Prosperita podniku vychází hlavně z toho, že si firma kromě nástrojů vyrábí i vlastní řezné materiály, vlastní speciální stroje a sama si na nástroje deponuje tenké vrstvy i přebrušuje. [20]

GÜHRING dodává nástroje jak k renomovaným výrobcům automobilového průmyslu, letecké techniky i k výrobcům nástrojů, ale také k menším výrobcům. Také nabízí kompletní tool management nebo možnost návrhu nástroje přímo na míru. [20]

V produktivním vystružování má společnost GÜHRING především výstružník HR 500, který se vyrábí u menších průměrů jako monolitní a pro větší průměry jako nástroj s pájenými břity. [20]



Obrázek 2.10 - HR 500 vysoce produktivní výstružník z SK [20]

**HR 500** – jedná se o monolitní vícebřítý nástroj s 4 – 8 břity dle průměru, který je vyráběn převážně z SK s různým typem povlaků nebo s pájenými břity z cermetu. Nástroje se mohou lišit geometrií nebo použitou vrstvou a to dle obráběného materiálu. Výstružník s tolerancí H7 dosahuje drsnosti až  $Rz = 2$  [ $\mu\text{m}$ ].

## MAPAL GROUP



Obrázek 2.11 - Logo společnosti MAPAL [17]

Firma MAPAL byla založena v roce 1950 Dr. Georgem Kressem v Aalen. V prvních letech svého působení se snahy společnosti zabývaly především vytříbením výrobního sortimentu a také finančním zajištěním. V počátcích se firma zabývala výrobou vrtáků, závitníků, ale také výrobních strojů. Rozhodující pro další rozvoj firmy MAPAL bylo získání italského patentu (1954) na jednobřítý výstružník. Tento fakt se stal rozhodujícím faktorem, který společnost nasměroval na obrábění dřeva. Zmiňovaný jednobřítý výstružník byl společností MAPAL vyvinut a i přes počáteční neúspěchy se tento systém stal chloubou tohoto podniku. [17]

Během dalších čtyřiceti let firma prošla restrukturalizací i rozšířením výrobního programu a dalšími změnami. Důraz je nadále kladen na dokončovací obrábění, avšak dnes již nabízí také nástroje pro hrubování, frézování, soustružení a také upínací systémy. [17]



Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

Pro dokončování otvorů má společnost několik nástrojů, ale je třeba zhodnotit, jaké na nástroj máme požadavky a jaké hodnoty označíme za produktivní. U jednobřitého nástroje máme sice nižší rychlost a posuv, ale rozměrová a tvarová přesnost je zde největší. Další možnostmi jsou dvoubřité nástroje, které jsou kompromisem mezi jednobřítými výstružníky a vystružovacími kroužky, což jsou speciální výstružníky této společnosti. [17]

**HPR** – vystružovací nástroj vyráběný jako hlavice nebo monolit celý z SK nebo s pájenými břity. Nástroje se vyrábí od průměru 4 [mm] jako monolitní, od 7 [mm] jako tělesa s pájenými břity a od 15,6 jako vyměnitelné hlavice. Přesnost nástroje je H7 a dosažená drsnost se pohybuje v rozsahu  $Ra = 0,8 - 1,6$  [ $\mu\text{m}$ ]. Vystružovací hlava se vyrábí též jako stavitelná a je tedy možné nástroj použít na více tolerančních polí. [17]



Obrázek 2.12 - Výstružník HPR od MAPALu s přesností  $\leq IT7$  [17]

**Řezné kroužky** – jsou vyráběny jako monolitní vyměnitelné kroužky z oceli na které jsou připájeny řezné hrany z SK, cermetu, PKD nebo CBN. Vyrábí se v průměrech 21,6 – 200,59 [mm]. Díky upínacímu systému je možné je nastavit na více tolerančních polí. [17]

**HX** – jednobřité nebo dvoubřité nástroje s vodicími lištami vynikají především svojí přesností a výbornou tolerancí otvoru. Vyrábí se v průměrech 13,83 – 80,13 [mm] a jako materiály jsou používány jak slinuté karbidy a cermet s povlaky i bez tak CBN a PKD. Tolerance nástroje je H6 a dosahovaná drsnost je deklarována  $Ra = 0,8$  [ $\mu\text{m}$ ]. [17]

## SECO TOOLS



Obrázek 2.13 - Logo společnosti SECO TOLLS [19]

Tato firma patří mezi společnosti, které nabízí krom fréz, soustružnických nožů a vrtáků také výstružníky patří SECO TOLLS. Firma se zpočátku zabývala výrobou nástrojů z rychlořezné oceli, ale v roce 1929 byl zakoupen nový řezný materiál od firmy KRUPP, a tím se SECO TOOLS začal zabývat výrobou nástrojů ze slinutého karbidu. [19]

Z vysoce produktivních nástrojů má společnost ve svém sortimentu vrtací hlavu SD600, která je realizována výměnným vrtacím jádrem a výměnnými břitovými destičkami. Mezi hlavní výhody této hlavice patří vysoká kvalita díry, produktivita a bezpečná aplikace. Dále SECO TOOLS nabízí celou řadu vystružovacích nástrojů, ale mezi vysoce produktivní se řadí především jednobřítý výstružník PRECIFIX a poté výměnná hlavice PRECIMASTER. [19]

Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

**PRECIFIX** – jednobřítý nástroj se vkládaným stavitelným břitem a vodícími lištami je vyráběn od průměru 12 [mm] do průměru 60 [mm]. Robustní konstrukce a přesné vedení umožňuje udržet toleranci až IT6 s dosaženou drsností až  $Ra = 0,25$  [ $\mu\text{m}$ ]. Jako řezný materiál je používán SK s různým typem deponované vrstvy. [19]



Obrázek 2.14 - Jednobřítý nástroj s tangenciálně uloženými břity [19]

**PRECIMASTER** - je vystružovací hlavice navržena pro velké množství výrobních aplikací. Vhodná geometrie břitu umožňuje extrémně vysoký posuv. Různé geometrie používaných břitů a řezných materiálů jako SK nebo cermet s různými typy deponovaných vrstev umožňují vystružování různých materiálů.

A díky možnosti volby mezi přímými břity a ve šroubovici volby přívodu řezné kapaliny středem nástroje nebo zubovou mezerou, je možné obrábět jak průchozí tak neprůchozí otvory. Dosahovaná tolerance je IT6, při které je dosahováno optimální jakost povrchu až  $Ra 0,4$  [ $\mu\text{m}$ ]. Hlavice se vyrábí v průměrech  $\varnothing 4 - 60$  [mm] a to až do délky otvoru  $8 \times D$  nástroje. [19]

## DIHART



Obrázek 2.15 - Logo společnosti DIHART dnes KOMET Group [18]

Švýcarská společnost se sídlem v Dullikenu zabývající se výhradně konstrukcí a výrobou nástrojů pro velmi přesné dokončování otvorů. Společnost se stala v roce 1996 součástí skupiny KOMET GROUP, která zaštiťuje ještě společnost JEL. Každá ze sekcí se specializuje na určitý druh obrábění. JEL na výrobu závitů a KOMET se zabývá výrobou vrtáků a frézovacích nástrojů. [5,18]

Jako nástroje pro vysoce produktivní a přesné obrábění otvorů je možné ze sortimentu společnosti označit především monolitní nástroje.

**MONOMAX** - vyrábějí se především pro menší průměry, od 5,6 [mm] až do 60 [mm]. Nástroje jsou vyráběny ve dvou variantách a to jednak pevné, které mají pevně daný rozměr, a poté stavitelné, kde je možné pomocí matice průměr zvětšit a použít tak jeden nástroj na více druhů otvorů nebo tak kompenzovat opotřebení. [5,18]



Obrázek 2.16 - Stavitelný výstružník MONOMAX s přesností IT6 a vysokou produktivitou [29]

**Vystružovací kroužky** - další vysoce produktivní a přesné nástroje. Jedná se o stavitelné nástroje, které jsou vyráběny především pro větší průměry a to od 17,6 [mm] až do 300 [mm] a to v toleranci až IT 5. [5,18]

**REAMAX** - Posledním ze skupiny nástrojů pro vysoce efektivní a přesné vystružování otvorů jsou vyměnitelné hlavice REAMAX. Nástroje jsou vyráběny pro průměry od 12 [mm] až do 65 [mm] a je možné pořídit jak stavitelnou tak pevnou verzi. [5,18]

Společnost vyrábí nástroje především z jemnozrnného slinutého karbidu, cermetu nebo polykrystalického diamantu. Pokud je potřeba, jsou na nástroje deponovány tenké vrstvy TiN a TiAlN. [5,18]

## SANDVIC COROMANT



Obrázek 2.17 -Logo společnosti SANDVIC COROMANT [22]

Společnost byla založena ve Švédsku 1942 a během několika desítek let se rozrostla v nadnárodní společnost působící ve více jak 130 zemích světa. SANDVIC se zabývá především výrobou řezných nástrojů pro třískové obrábění a to od soustružení přes dokončování otvorů a vnějších ploch až po upínací a centrovací systémy. [22]

I když výroba vystružovacích nástrojů není hlavním oborem této společnosti, mají pro vysoce produktivní a přesné dokončování nástroj s označením REAMER 835. [22]

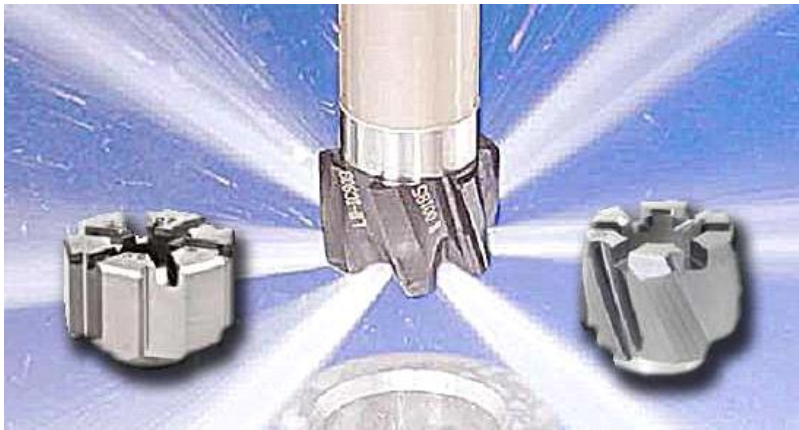
**REAMER 835** -jedná se o výstružník, který se vyrábí ve dvou variantách dle obráběného materiálu. První možností je monolitní nástroj z SK s různým typem deponované vrstvy. Nebo jako nástroj s pájenými řeznými břity na tělo ze slinutého karbidu. Břity je dle obráběného materiálu možné vyrobít jak z cermetu, tak z kubického nitridu bóru nebo z polykrystalického diamantu a to dle obráběného materiálu. Nástroje se vyrábí od průměru 3,96 [mm] do 20 [mm] v tolerancích IT7. Nástroj má extrémně nerovnoměrné rozložení břitů až 10°. Výstružník má kruhovitost 1-2 [ $\mu\text{m}$ ] a drsnost Rz = 4 [ $\mu\text{m}$ ]. [22]

**Obrázek 2.18 -Logo společnosti ISCAR [23]**

Izraelská společnost založená v roce 1952 se od počátku svého působení zabývá výrobou nástrojů pro strojírenství. Vyrábí především nástroje pro soustružení, frézování, vrtání vystružování a výrobu závitů. Za 60 let své existence se rozrostla v nadnárodní společnost působící ve více jak 50 zemích světa. [23]

Společnost má dva různé typy vystružovacích nástrojů pro vysoce produktivní a přesné obrábění a to BAYO T-REAM a INDEX H-REAM. [23]

**BAYO T-REAM** - Vystružovací hlavice vyráběná z SK s různými povlaky, cermetu, ale i PKD a CBN. Hlavice se upíná do držáků ze slinutého karbidu nebo oceli pomocí bajonetového systému. Nástroj dosahuje tolerance H7 a házení na konci nástroje max. 3 [μm]. [23]

**Obrázek 2.19 - Vystružovací hlavice BAYO T-REAM [23]**

**INDEX H-REAM** - je jednobřítý výstružník se třemi vodícími lištami a s vyměnitelnými mechanicky upínanými destičkami. Tělo nástroje je vyrobeno z oceli nebo z SK a destičky z SK s různými povlaky, cermetu, nebo PKD a CBN. Nástroje se vyrábí v průměrech 8 – 32 [mm] a dosahují přesnosti až IT5. [23]

## **HAM-FINAL**

**Obrázek 2.20 -Logo společnosti HAM-FINAL [3]**

Společnost vznikla spojením české společnosti FINAL s německým koncernem HAM v roce 1997. Společnost HAM se zabývá výrobou především vrtacích a frézovacích nástrojů a výrobou a vývojem mikro-vrtáků. Sekce FINAL se od svého vzniku v roce 1990 zabývá výrobou výstružníků a nástrojů pro dokončování otvorů. [3]

Díky dlouholeté praxi v oboru se společnost vypracovala v předního výrobce nástrojů pro dokončování otvorů a to především s břity z cermetu, CBN a PKD. Z těchto rezných materiálů však není možné vyrábět celé nástroje ale pouze rezné břity, a ty je třeba připájet na destič-

ku z SK. Tato technologie je však dneska spíše na ústupu, a tak dlouholetá praxe dává společnosti HAM-FINAL značné konkurenční výhody. [3]

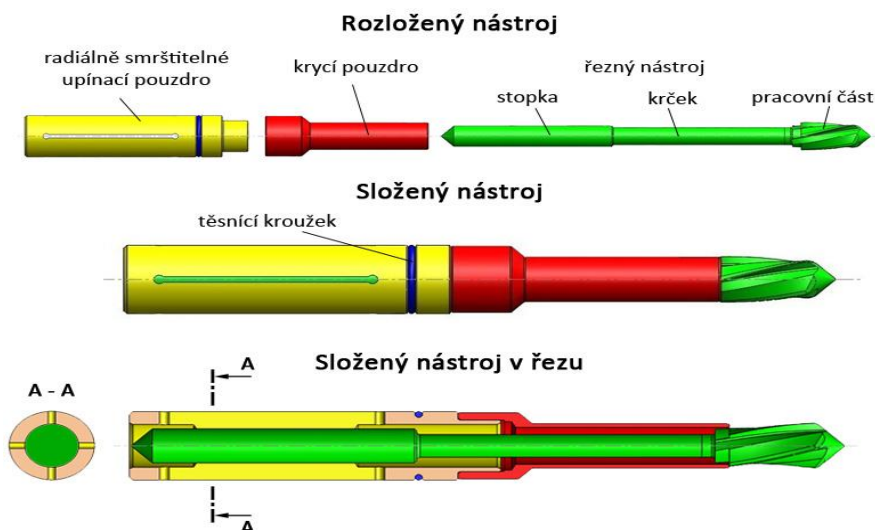
Společnost má ve svém výrobním programu jako vysoce produktivní nástroj především vystružovací hlavici MT3.

**MT3** - Tento nástroj dosahuje přesnosti až IT5. Dalším nástrojem pro vysoce přesné a produktivní vystružování je monolitní strojní výstružník, který se vyrábí jako monolit ze slinutého karbidu nebo s pájenými břity z cermetu, PKD neb CBN. Nástroj je možné dodat v průměru 5-20 [mm]. [3]



Obrázek 2.21 - Vystružovací hlavice MT3 s přesností až IT5 [3]

**VRV** – Nástroj určený především pro velkosériovou a hromadnou výrobu s přesností IT7 a lepší. Nástroj je složen ze tří základních částí a jedná se tedy o nástroj podobný vyměnitelným hlavicím. Složení nástroje je patrné z obr. 2.22, kde, základ tvoří řezná část, která je nejčastěji vyráběna z SK, a je možné ji osadit jakýmkoliv produktivním řezným materiálem. Tato pracovní část se vkládá do radiálně smrštitelného pouzdra, který je upnut pomocí krycího pouzdra. [3]



Obrázek 2.22 - Nástroj typu VRV od společnosti HAM-FINAL [3]

### 3 Rozbor současného stavu technologie výroby daného tolerovaného otvoru

V této části práce se zaměřím na praktické použití výstružníků, které byly definovány v předchozí kapitole 2. Tato praktická část byla provedena ve spolupráci se společností GTW BEARINGS.

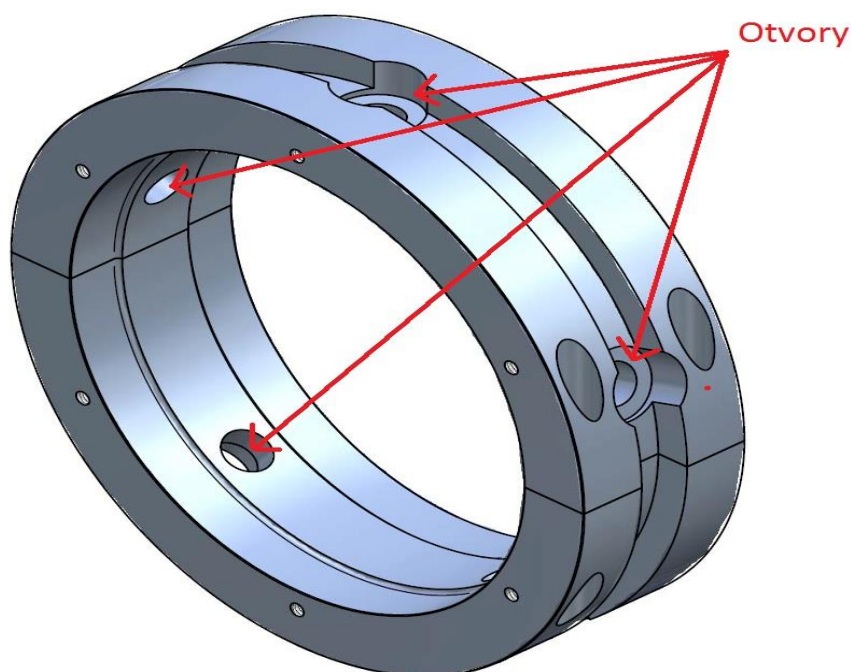
Tato společnost sídlící v Příšově u Plzně se zabývá výrobou, opravami a renovacemi kluzných kompozitových ložisek. Tyto součásti se používají v elektr. generátorech, u rotorů parních turbín, cementačních bubnech a jiných velkých strojních rotačních zařízeních a strojích.

Z výrobního programu společnosti byla vytipována součást, jejíž výroba byla podrobena rozboru a měření. Na základě měření byly navrženy změny technologie výroby. Navrhnuté změny byly poté experimentálně otestovány a na základě testů vyhodnocena nejlepší varianta, která by vedla ke zlepšení původního stavu.

Bohužel typ výroby zcela neodpovídá typu výroby, ke které jsou nejvhodnější vystružovací nástroje uvedené v kapitole 2. Zde se jedná o středně sériovou výrobu, v případě oprav o kusovou. Otvorů tohoto typu se vyrobí cca 200 – 300 kusů za rok. Tento fakt ovšem nijak zvláště neovlivňuje kvalitu výroby a její produktivitu, které by mělo být dosahováno.

#### 3.1 Vytipovaná součást

Součást, která byla vytipována je těleso naklápěcího kluzného kompozitové ložiska. Toto těleso slouží pro uložení segmentů, které tvoří kluznou plochu ložiska. Tato ložiska se vyznačují velice klidným chodem a to především při vyšších otáčkách hřídele, což je možné především díky možnosti naklopení segmentů do nejvhodnější pracovní polohy. Těleso je vyráběno z oceli 12 050.1, označení dle DIN C45.



Obrázek 3.1 - Model tělesa ložiska

Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

Vyráběné tolerované otvory se nachází v obvodu součásti uvnitř mazací drážky. Otvor slouží pro vložení mazací trysky, skrze kterou je při provozu prováděn přívod maziva do pracovní části tělesa. Těleso ložiska s tryskou viz příloha 2. Dle velikosti a typu daného ložiska je v tělese vyráběno 2 – 6 otvorů.

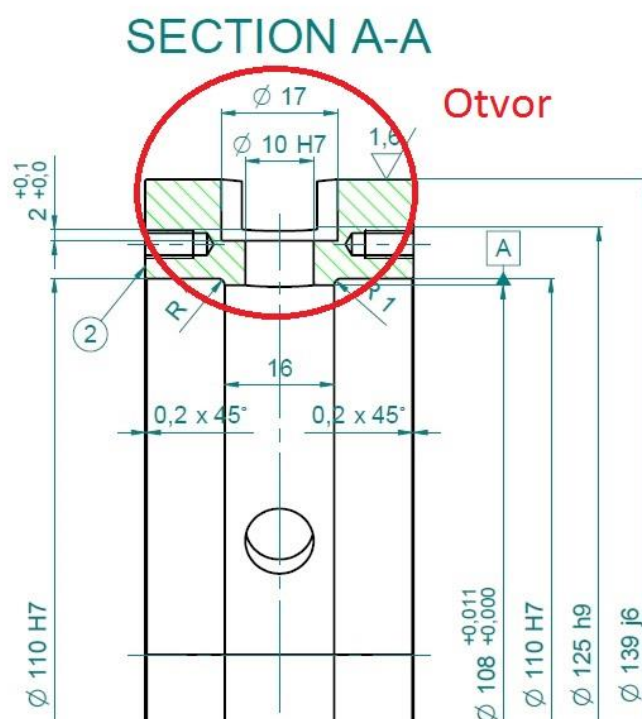
V součásti se díra vyrábí před dokončovacím obráběním vnitřního a vnějšího otvoru, a tedy na takřka již dohotovené součásti. Jelikož se jedná o operaci v takto pokročilém stádiu výroby, je velice důležité, aby nám výrobou nevznikaly zmetky neboť součást již má značnou hodnotu. Proto je na výrobu otvoru a především na dokončovací operaci, tedy vystružování, kladen značný důraz.

### 3.1.1 Technologičnost konstrukce součásti

Vzhledem k účelu je třeba, aby vyrobený otvor splňoval předepsané požadavky tolerance IT7 a to především ve válcovitosti, kruhovitosti a drsnosti povrchu. Všechny tyto parametry mají vliv na nosný podíl díry. Tento parametr je důležitý pro těsnost spoje po vložení mazací trysky. V případě netěsnosti se všechna mazací kapalina nedostává přímo do pracovního prostoru ložiska, což by za určitých okolností v krajním případě mohlo vést až k zadření ložiska a tím poruše daného zařízení.

Požadavky pro tolerovaný otvor IT7

- Drsnost  $R_a < 0,8$  [ $\mu\text{m}$ ] (v některých mezních případech je přípustné  $R_a < 1,6$  [ $\mu\text{m}$ ])
- Rozměrová tolerance  $0 < D < 15$  [ $\mu\text{m}$ ]
- Válcovitost  $< 6$  [ $\mu\text{m}$ ] dle normy ČSN 01 4405



Obrázek 3.2 - Řez součástí s vyznačenou dírou

### 3.1.2 Materiálový rozbor oceli 12 050.1

Jedná se nelegovanou uhlíkovou ocel vhodnou k zušlechťování nebo k povrchovému kalení. Materiál je vhodný pro výrobu méně namáhaných strojních součástí a dílů. Nejčastěji se

Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

používá v zušlechtném stavu nebo normalizačně žíhaný. Optimální mechanické vlastnosti se dosahují kalením a následným popuštěním a to včetně houževnatosti. [27; 28]

### Označení materiálových ekvivalentů:

Tabulka 3.1 - Označení oceli 12 050 [28]

Norma	Označení
ISO	C60E4 dle ISO 683-1-87
EURO	C45 dle EN 10083-2-91
Německo	C45 dle DIN 17200-84 ( 1.1191)

### Chemické složení v %:

Tabulka 3.2 - Chemické složení oceli 12 050 [27; 28]

Chem. prvek	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
Dle ČSN	0,42	0,50	0,17	max	max.	max.	max	max
	0,50	0,80	0,37	0,25	0,30	0,30	0,030	0,035

**Mechanické vlastnosti:** - vlastnosti oceli v normalizačně žíhaném stavu (12 050.1) a další parametry po dalším tepelném zpracování.

Tabulka 3.3 - Mechanické vlastnosti 12 050.1 [28]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Mez kluzu Rp0,2	MPa	min. 326
Mez pevnosti Rm	MPa	min 540
Tvrdość	HB	max. 225
Tažnosť	%	Min. 17
Modul pružnosti v tahu E	GPa	50,3
Modul pružnosti ve smyku G	GPa	204

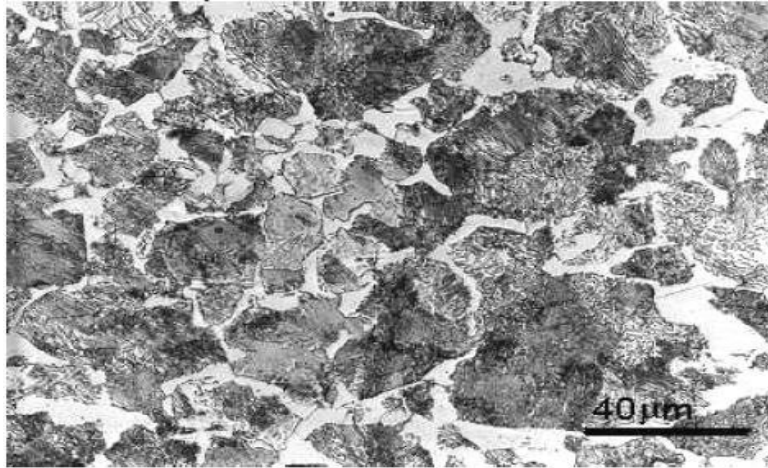
Důležitým parametrem je také lomová houževnatost. Ta je stanovena pro stav žíhání na měkko. A také tvrdość po kalení. Oba tyto parametry jsou uvedeny v tabulce 3.4.

Tabulka 3.4 - Další mechanické vlastnosti oceli 12 050 po tepelném zpracování [27]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Lomová houževnatost KV	J	min. 25
Tvrdość po kalení	HRC	min 55

**Struktura oceli:** - výchozí struktura oceli 12 050.1 v normalizačně žíhaném stavu. Použité zvětšení je 500x. Na snímku je patrná struktura lamelárního perlitu (tmavé proužkované) s po hranicích vyloučeným feritem (bílé). Střední tvrdość tohoto vzorku je  $HV_{10} = 196$ . [28]





Obrázek 3.3 - Struktura oceli 12 050.1 [28]

Bylo třeba ověřit, zda materiál dodaného tělesa ložiska odpovídá předepsanému materiálu. Prvním měřením byla zkouška tvrdosti. Materiál odpovídá tvrdosti dle normy, ale bohužel u tohoto materiálu není zkouška zcela průkazná. Na tento popud byla provedena spektrometrie, pro ověření chemického složení, která taktéž potvrdila shodnost testovaného materiálu s předepsaným.

## 3.2 Rozbor technologie výroby

Výroba tolerovaného otvoru v takto rozpracovaném ložisku je již značně komplikovaný proces. Proto je třeba dbát na všechny prvky ovlivňující výrobu.

### 3.2.1 Upnutí obroku

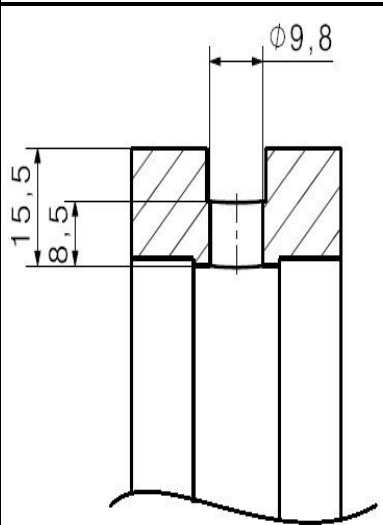
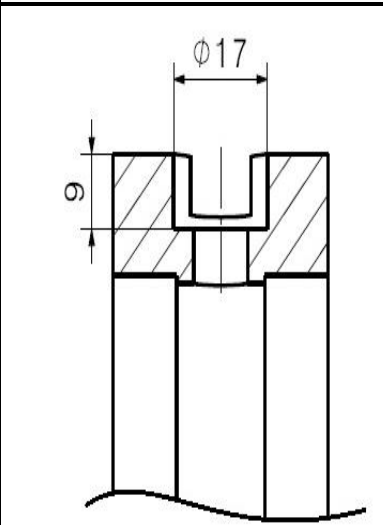
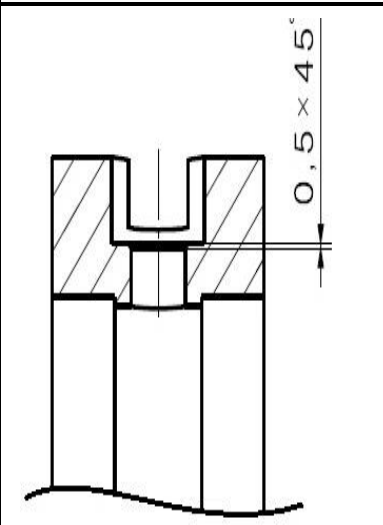
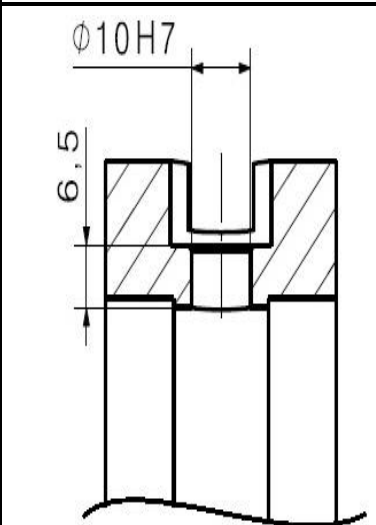
Základním parametrem je upnutí obroku, které je v případě děleného ložiska na dělicí rovinu. Pokud je ložisko vcelku nebo svařované a tedy nedělitelné, je nutné obrobek položit na jedno čelo a poté upnout. Upnutí je zobrazeno na obr.3.4.



Obrázek 3.4 – Způsob upnutí ložiska při výrobě (neprobíhá přímo výroba tolerované díry, jiný stroj)

### 3.2.2 Technologie výroby

Prvním krokem je zajistit vhodné najetí vrtáku a navrtání do válcové plochy. Při použití vrtáku z SK a snížených podmínek při najíždění, je přesnost zavrtání dostačující a není nutné otvor předvrtávat. Dalším krokem je výroba zahloubení, která se na otvoru vyrábí z technologických důvodů. Následuje sražení hrany, které se vytváří z důvodu lepšího zavedení výstružníku do otvoru. Poslední operací je vystružování, které v otvoru vyrobí požadovaný povrch a toleranci. Celé schéma výroby je

VÝROBNÍ OPERACE	Vrtání	Výroba zahloubení	Výroba sražení	Vystružování
NÁSTROJ	Vrták	Fréza	Srážeč hran	Výstružník
TYP	Monolitní vrták	Monolitní fréza	Monolitní srážeč hran	Monolitní výstružník
MATERIÁL NÁSTROJE	SK	SK	SK	HSS
UPNUTÍ NÁSTROJE	Kleština	Weldon	Kleština	Kleština
Schématické znázornění operace				
Průměr nástroje [mm]	9,8	10	16	10 H7
Počet zubů	2	4	2	6
Vc [m/min]	75	94	150	6
n [ot./min]	3000	3000	3000	200
fz [mm/zub]	0,075	0,025	0,025	0,042
Vf [mm/min]	450	300	150	50
Zpětný posuv [mm/min]	Rychloposuvem	Rychloposuvem	Rychloposuvem	500
Poznámky	Přívod kapaliny středem nástroje, vrtání bez vyplachování;	Přívod kapaliny vnějškem; koncentrace 7%	Přívod kapaliny vnějškem; koncentrace 7%	Přívod kapaliny vnějškem, bez vyplachování; koncentrace 7%

### 3.2.3 Výrobní stroj

K výrobě se ve společnosti GTW BEARINGS používá více-osé obráběcí centrum Makino A51NX. Parametry stroje jsou uvedeny v příloze 7.

## 3.3 Měření a vyhodnocení stávající technologie

Aby bylo možné zhodnotit stávající technologii, je zapotřebí kromě znalosti technologické a konstrukční části také změřit výsledky, které dosahovala původní technologie. Nebylo však možné součásti s danými otvory odvést do laboratoře a tam je podrobit zkoumání, a proto bylo prováděné měření přímo ve výrobních prostorách společnosti GTW BEARINGS. Tato společnost pracuje na dvousměnný provoz a výrobu těchto otvorů není možné předem určit, neboť závisí na délce trvání předchozích operací, měření proto bylo realizováno na již vyrobených kusech před finální montáží.

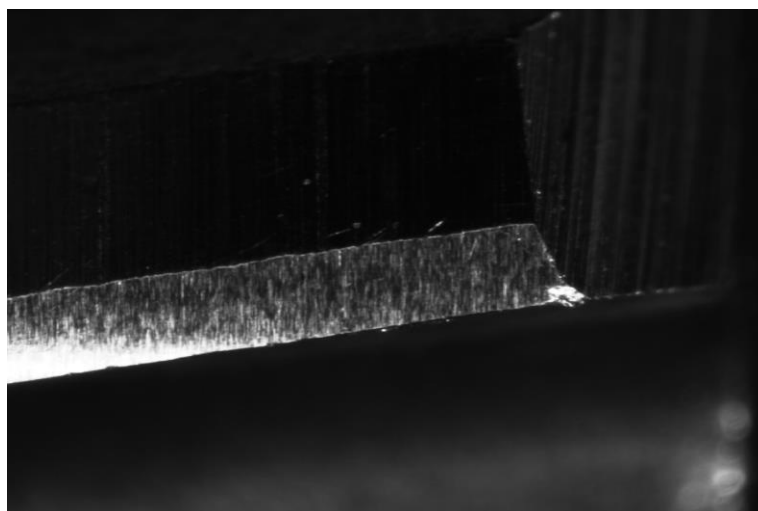
### 3.3.1 Měření břitů výstružníku

Výstružník je nedílnou, ne-li nejdůležitější součástí tohoto celku výroby a jeho měření dává komplexní pohled na výchozí stav dokončovací operace daného otvoru. Průběžné proměření výstružníku používaného ve výchozí technologii vždy po určitých metrech nebylo možné realizovat vzhledem k již zmíněnému typu provozu. Proto byl proměřen vystružovací nástroj, který již nesplňoval toleranci daného otvoru. Opotřeбенí použitého výstružníku dosahovalo značných hodnot, proto byl proměřen pro kontrolu také nový vystružovací nástroj dodaný do společnosti GTW BEARINGS.

Opotřeбенí bylo měřeno na dílenském mikroskopu Multicheck PC 500 od společnosti BLICKLE. Parametry měřidla nalezneme v příloze 6.

**Nový výstružník** – Vstupní kvalita břitů vystružovacího nástroje je důležitým parametrem. Není-li kvalitní a nepoškozený břit při nasazení nového nástroje, nemůžeme očekávat dobrý výsledek obrábění.

Kontrola nového výstružníku ukázala značné nedostatky. První a druhý břit vykazoval poškození na hlavním hřbetu  $VB_B$  a to od 24 do 33 [ $\mu\text{m}$ ]. Poškození prvního břitu přesahovalo na čelo tohoto břitu a mělo hodnotu  $KB = 17$  [ $\mu\text{m}$ ]. Nejhorší stav vykazoval břit číslo tři, který měl vyštípnutou špičku. Toto vyštípnutí zasahovalo na všechny tři funkční plochy a jeho hodnota byla  $KB = 54$  [ $\mu\text{m}$ ] na čele a  $VB_B = 67$  [ $\mu\text{m}$ ] na hlavním hřbetu.



Obrázek 3.5 - Vyštípnutí vedlejšího hřbetu na třetím břitu

Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

**Použitý výstružník** – Výstružník, který již prošel výrobou a na konci své životnosti již nevyráběl díry o požadované toleranci, by měl vykazovat známky opotřebení. Toto opotřebení by ovšem nemělo vést k výraznější destrukci břitu. Pokud je břit výrazněji opotřebený nebo ho část chybí, je tento proces značně nespolehlivý a k dokončování otvoru se používá nástroj s překročenou dobou životnosti.

U použitého výstružníku byly kontrolovány všechny břity. Opotřebení vykazoval každý břit a to nejvíce na hřbetu. Čela břitů byla opotřebována jen mírně. Hodnota opotřebení hlavního hřbetu se pohybovala v rozmezí  $VB_B = 240 - 460$  [ $\mu\text{m}$ ]. Vedlejší břit vykazoval také značné opotřebení. Největší bylo zaznamenáno na prvním a šestém břitu, kde byla velikost  $VB_B = 370$  [ $\mu\text{m}$ ] na šestém a  $VB_B = 350$  [ $\mu\text{m}$ ] na prvním. Ostatní břity se pohybovaly v rozmezí  $VB_B = 290 - 310$  [ $\mu\text{m}$ ]. Jak již bylo zmíněno, nejméně se břit dokončovacího nástroje opotřebovával na čele, kde hodnota opotřebení nepřesáhla na žádném břitu  $KB = 30$  [ $\mu\text{m}$ ]. Vybrané snímky z měření jsou v příloze 14.

**Shrnutí:** Měření nám ukázalo možný vznik problémů při výrobě ve společnosti GTW BEARINGS. Základním problémem může být již stav nového výstružníku, neboť jak bylo vyzorováno, kvalita není zcela dobrá a břit číslo tři u námi měřeného vystružovacího nástroje je v nevyhovujícím stavu. Zde může být na vině již samotný dodavatel nástrojů, který nemá dobře zvládnutou technologii broušení břitu. Druhým možným viníkem tohoto problému může být doprava a skladování nástroje.

Použitý výstružník vykazuje velice značné opotřebení na všech břitech a to především na čelech břitů. Tento fakt může vést k nestabilitě procesu a k výrobě zmetkových otvorů. Zde je problémem nadměrné opotřebení výstružníku.

### 3.3.2 Vyhodnocení válcových otvorů

Výsledek obrábění je možné hodnotit několika způsoby. Číselné vyjádření měřeného rozměru je jedním z nich. Toto měření bylo zvoleno vzhledem k dobré vypovídací hodnotě výsledků a také dobré porovnatelnosti výchozího stavu s výsledky experimentu.

Na vyrobené díře je možné změřit celou řadu parametrů. V našem případě byl výběr omezený, neboť měření bylo prováděno na již takřka dokončeném obrobku a tedy bylo nutné volit parametry, jejichž měření je nedestruktivní.

Prvním parametrem byl zvolen průměr vystružené díry. K tomuto měření byl použit pneumatický snímač Milimar od společnosti MAHR. Měřidlo viz příloha 4.

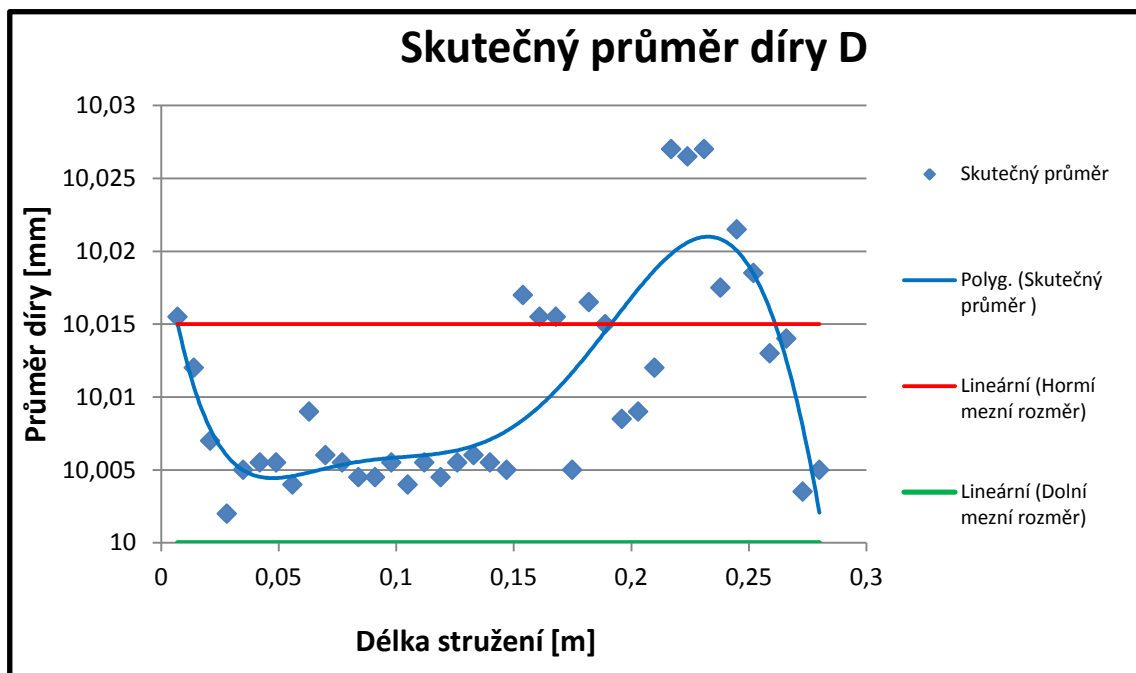
Jako další parametr byla zvolena drsnost povrchu. Tento parametr byl měřen drsnoměrem M 300 od výrobce MAHR. Parametry měřidla viz příloha 5. Ukázky a záznam z měření je obsažen v příloze 2.

#### **Analýza výsledků průměru otvoru:**

V grafu na obr. 3.6 je zobrazen průběh skutečného průměru díry vzhledem k délce struženi. Bohužel vzhledem k typu výroby, jak bylo uvedeno měření neprobíhalo současně s výrobou a tedy nemáme návaznost vyrobeného a měřeného otvoru. Červená barva je přiřazena hornímu meznímu rozměru a zelená čára popisuje hodnotu dolního mezního rozměru. Jednotlivé naměřené body jsou znázorněny modrou barvou a průběh skutečného průměru hodnot znázorňuje spojnice trendů taktéž v modré barvě.

Jak je z grafu patrné, hodnoty ve značném procentu měřených výsledků, překračují horní mezní rozměr dovolené tolerance a tedy otvor neodpovídá požadované toleranci. Není možné

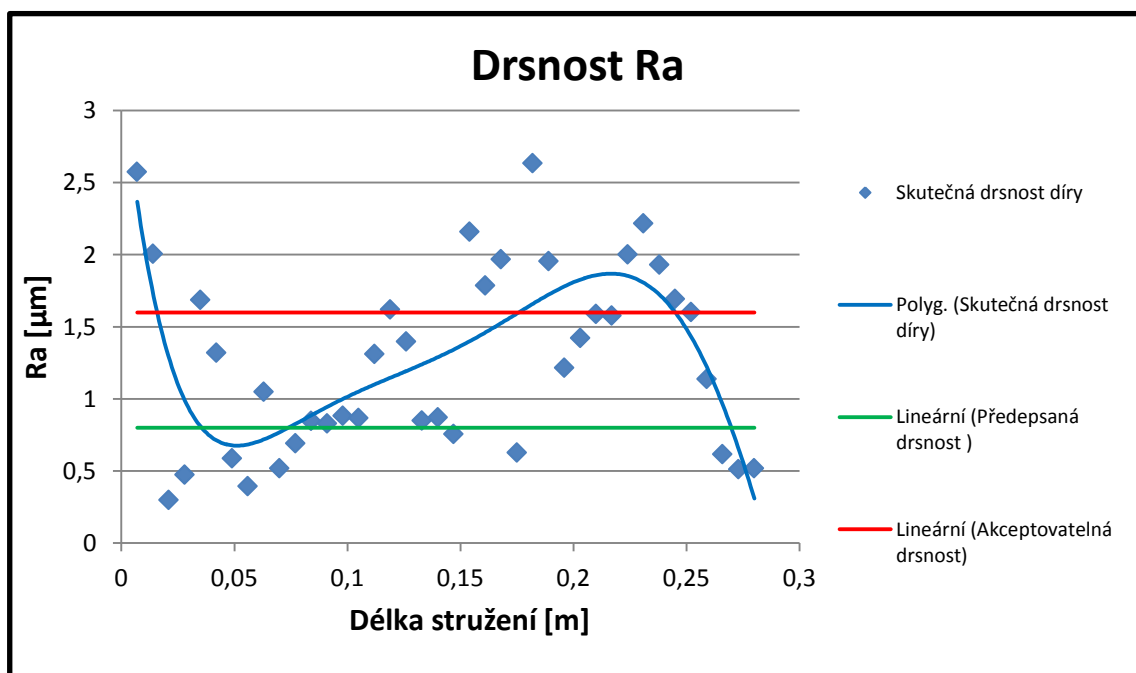
určit, kdy k tomuto jevu došlo, ale je možné, že tento fakt byl způsoben již příliš opotřebeným výstružníkem.



Obrázek 3.6 - Skutečný průměr díry vystružených děr

**Analýza výsledků drsnosti otvoru:**

**Drsnost Ra** – Hodnota drsnosti Ra je uvedena v grafu na obr. 3.7. Hodnoty drsností reprezentují modře zobrazené body. Tyto body mají spojnicí trendu vyznačenou taktéž modrou barvou. Hodnota drsnosti, která by měla být dosahována, je vyznačena zelenou barvou. Akceptovatelnou hodnotu drsnosti, kterou připouští interní norma, je znázorněna červenou barvou.



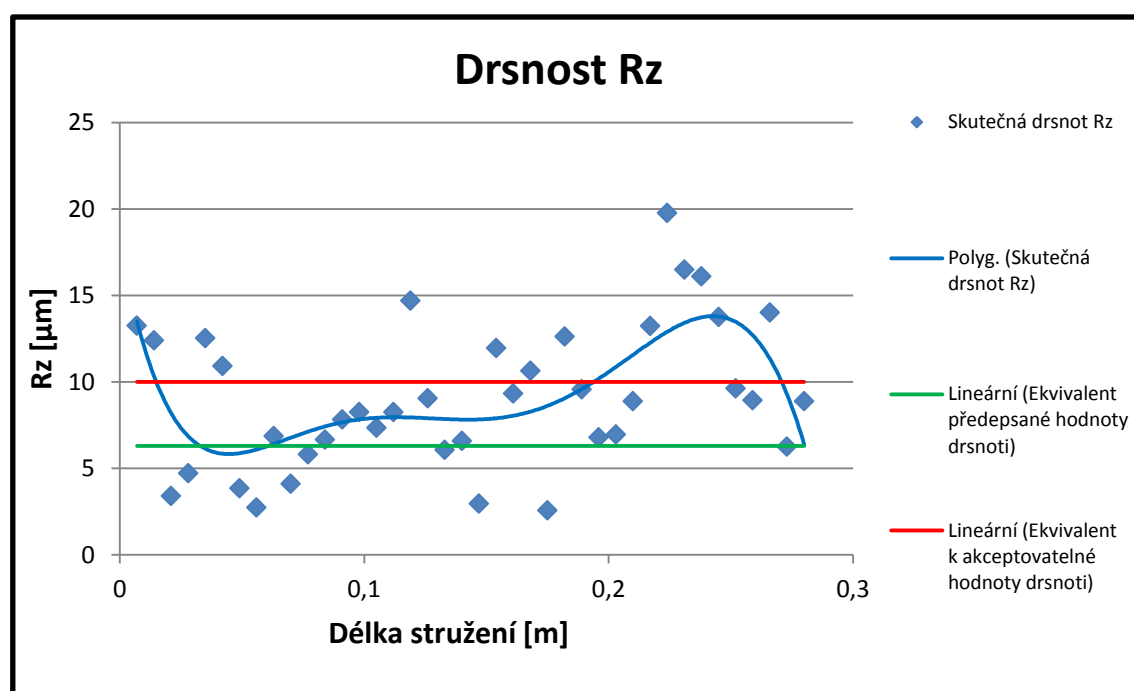
Obrázek 3.7 – Graf závislosti drsnosti Ra na délce obrobeneho otvoru

Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

Hodnoty zobrazené na grafu jasně ukazují, že větší část otvorů nespĺňuje předepsanou drsnost. Některé hodnoty se pohybují na hranici akceptovatelné drsnosti, ale bohužel značná část otvorů je i nad touto hranicí. Zde je opět patrné, že proces v některých místech výroby probíhá zcela nekontrolovaně a výsledky jsou značně odlišné.

**Drsnost Rz** – Na obr. 3.8 je uveden graf závislosti drsnosti Rz na ujeté délce. Vzhledem k tomu, že na výkrese není uvedena požadovaná hodnota drsnosti Rz, byla její hodnota odvozena dle přílohy 3. Ekvivalent akceptovatelné hodnoty drsnosti je v grafu vyznačen červenou barvou a jeho hodnota byla stanovena jako Rz 6,3 [ $\mu\text{m}$ ]. Ekvivalentní hodnota k předepsané drsnosti Ra byl odvozena jako Rz 10 [ $\mu\text{m}$ ]. V grafu je zobrazena zelenou barvou. Skutečné hodnoty drsnosti Rz jsou znázorněny modrými body a stejnou barvu má také spojnicový trend.



Obrázek 3.8 - Graf závislosti drsnosti Rz na délce obrobeneho otvoru

Drsnost Rz je méně používaným parametrem. Není to však z důvodu jeho neprůkaznosti, ale spíše marketingu. Tato hodnota nám může říci hodně o kvalitě obrobeneho povrchu. Z grafu vidíme, že jen několik málo hodnot splňuje odvozený ekvivalent požadované drsnosti. V rozsahu ekvivalentu akceptovatelné hodnoty se nachází takřka polovina měřených rozměrů. Tedy velké množství děr nespĺňuje ani rozšířenou hodnotu drsnosti Rz a z tohoto faktu je patrné, že v povrchu obrobeneho děr jsou značné vrypky.

**Shrnutí:** Vyhodnocení výsledků naměřených hodnot nám ukazuje, že s výrobou tohoto otvoru ve společnosti GTW BEARINGS jsou značné potíže a není zde dosahováno požadované kvality povrchu a tolerancí. Jak již bylo uvedeno v předchozím textu, stav vystružovacího nástroje a jeho dosažené výsledky nebyly monitorovány od nového stavu až po vyřazení. Přesto je z výsledků patrné, že kvalita obrobeneho otvoru není dobrá.

Pro podporu tohoto argumentu byl vyfotografován obrobeneý otvor USB CAMEROU se zvětšením 200x. Tento snímek je na obr. 3.9, kde jsou zcela patrné vrypky.



**Obrázek 3.9 - Foto obrobené díry z USB CAMERA**

Technologie výroby není nijak složitá a také hloubka otvoru vůči jeho průměru není nijak velká. Technologie výroby tedy byla zvolena správně a problém se nejspíše nachází na straně výstružníku.

Tento jev může vznikat již u nového výstružníku, který je značně poškozen, jak vyplývá z měření zapůjčeného kusu. Tak může být na vině skladování, při kterém se mohl nástroj poškodit. Dalším možným viníkem těchto dosažených výsledků může být operátor stroje, který nezajistil včasnou výměnu výstružníku.

## **4 Návrh, realizace a charakteristika experimentálního testování zvolených nástrojů**

Výsledky výchozí technologie, popsané v kapitole 3., používané u daného tolerovaného otvoru, neodpovídají hodnotám předepsaným na výkresu a nesplňují funkční požadavky na tuto díru. Jak bylo uvedeno v závěru kapitoly 3., problém s největší pravděpodobností vzniká na straně dokončovacího nástroje. Aby bylo možné tento fakt ověřit, byl navrhnout experiment, kde byli zvoleni 3 renomovaní výrobci z kapitoly 2. Výstružníky těchto výrobců by teoreticky měly zlepšit jak produktivitu procesu tak i jeho kvalitativní výsledky.

### **4.1 Charakteristika experimentu**

Cílem experimentu bylo otestovat zvolené výstružníky a získat závislost trvanlivosti nástroje na kvalitě obrobeného otvoru. Tyto charakteristiky následně porovnat a to jak mezi sebou tak vzhledem k původní technologii. Výsledkem experimentu by měly být kvalitativní hodnoty vyráběné díry, porovnatelné v následném technicko-ekonomickém hodnocení. Vzhledem k nedostatečnému množství polotovarů obráběného materiálu pro kompletní sérii testů byl navrhnout experiment krátkodobý s větší intenzitou opotřebení, tak abychom dostali požadované závislosti.

Polotovary zkušebních vzorků byly zakoupeny z prostředků ZČU. Z původního výčtu vystružovacích nástrojů v kapitole 2.4 byly vytipovány následující výstružníky HNC-Speed od BECK, HR 500 od GÜHRING, HPR od MAPAL a strojní výstružník s cermetovou špičkou od HAM-FINAL. Vzhledem k delší dodací lhůtě nástroje od MAPAL byl tento výrobce vypuštěn a pro experiment vybrány zbylé vystružovací nástroje.

Tyto výstružníky charakterem odpovídají i původně používanému nástroji a to jak konstrukčně tak také typem výroby. Cenově se jedná o dražší nástroje, ale jejich produktivita a životnost by tento fakt měly v celkovém souhrnu předčít.

### **4.2 Návrh experimentu**

Aby bylo možné pozorovat vliv opotřebení na toleranci a kvalitu povrchu díry, bylo třeba experiment navrhnout tak, aby na nástrojích po obrobení určitého počtu otvorů bylo patrné opotřebení. V takovém to případě se mění pouze řezné podmínky u výstružníku a ostatní vlivy jako použitý upínač, stroj, polotovar, upnutí polotvaru a další zůstávají stejné. Vzhledem k tomu že objektem zkoumání této práce jsou výstružníky, byla z technologického procesu vypuštěna operace zahloubení. Tento krok nijak negativně neovlivnil výsledek obrábění a naopak byl zvýšen počet testovaných otvorů na jeden polotovar.

#### **4.2.1 Polotovar**

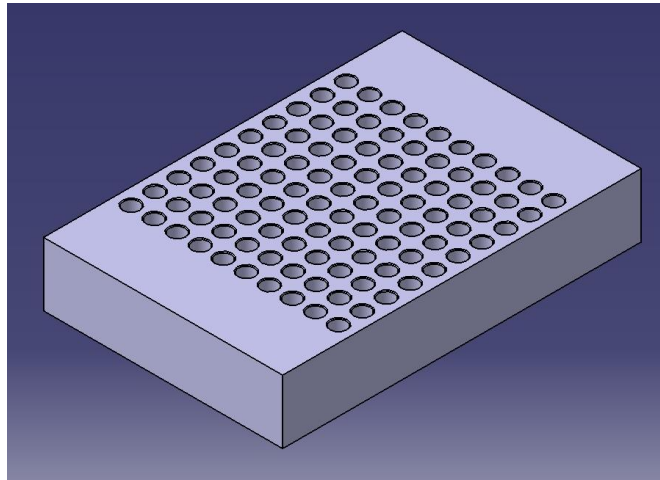
Polotovar, který byl zvolen pro tento experiment, tvarově neodpovídá součásti, na níž se otvor nachází. Ani poloha otvorů není stejná ani podobná. Vzhledem k tomu že součást má prstencový tvar a díry jsou vyráběny ve válcové části, nebyla by volba podobného polotvaru vhodná. Jako polotovar byla zvolena obdélníková tyč.

Polotovar pro experimentální testování byl zvolen ze stejného materiálu jako těleso ložiska, tedy 12 050.1. Pro věrohodnost experimentu bylo provedeno ověření chemického složení materiálu. Materiál polotvaru odpovídá oceli, která byla specifikována v kapitole 3.1.2.

Materiál polotvaru byl dodán ve velkých technologických celcích. Proto byl zformátovaný na kostky PLO 150x40 – 225. Navrhnuto bylo vytvořit v každé kostce 100 otvorů, což jsou 4



[m] vystruženého otvoru. Vyráběné otvory byly rozmístěny v rastru 10x10, to je vidět na obr. 4.1. Rozplánování experimentu nalezneme na výkresu v příloze 10.



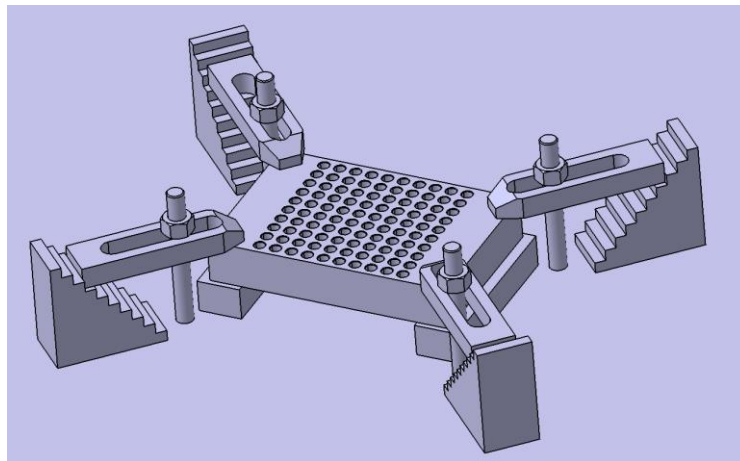
Obrázek 4.1 - Grafický model obrobku pro experiment vytvořený v CATIA V5R20

#### 4.2.2 Obráběcí stroj

Vzhledem ke stroji, na kterém probíhá výroba ve společnosti GTW BEARINGS, byl jako testovací stroj zvoleno vertikální obráběcí centrum MCV 750A, který je tomuto stroji nejvíce podobný. Podrobnou specifikaci stroje najdeme v příloze 8.

#### 4.2.3 Upnutí obrobku

Tvar polotovaru obrobku neodpovídá tvaru obráběné součásti, jak bylo zmíněno v bodu 4.2.1. Proto nebylo možné použít stejného upnutí, jako se používá v praktické výrobě. Bylo tedy nutné navrhnout jiný typ upnutí. Tento typ je zobrazen na obr. 4.2.



Obrázek 4.2 - Navrhnutý způsob upnutí polotovaru - zpracovaná v CATIA V5R20

Navrhnutý systém by neměl nijak negativně ovlivnit výsledky obrábění. Experimentální polotovar má vzhledem k tělesu ložiska horší tuhost, ale ani to by nemělo mít výraznější vliv na přesnost a kvalitu vystružování.

Oproti návrhu upnutí byly při realizaci projektu použity místo dvou podložek čtyři. Tato změna byla provedena, z důvodu krátké délky podložky požadované výšky. Při jiném uložení překáželi podložky upínkám. Reálný způsob upnutí je vyobrazen na obr. 4.3.



Obrázek 4.3 - Reálný způsob upnutí polotovaru při experimentu


#### 4.2.4 Použité nástroje

Při realizaci experimentu byly použity nástroje, které jsou svým charakterem blízké nástrojům použitým v původní technologii.

##### Vrtací nástroje

Vrtání probíhalo standardním monolitním nástrojem z SK. Použitý vrták od společnosti OSG. Konstrukční parametry jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Tabulka 4.1 – Konstrukční parametry vrtáku – obr. zdroj [33]

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiál: SK</li> <li>• Povlak: Ano – TiAlN</li> <li>• Průměr D [mm]: 9,8</li> <li>• Počet břitů: 2</li> <li>• Délka řezné části: 5xD – 65 [mm]</li> <li>• Vnitřní chlazení: Ano</li> </ul>
---	--

##### Nástroje na sražení hran

Sražení hran bylo provedeno standardní monolitní frézou z SK. Nástroj je určený pro zahlubování pod úhlem 45°. Konstrukční parametry jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Tabulka 4.2 - Konstrukční parametry frézy pro srážení hran – obr. zdroj [9]

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiál: SK</li> <li>• Povlak: Ano – TiAlN</li> <li>• Průměr D [mm]: 10</li> <li>• Počet břitů: 4</li> <li>• Délka řezné části: 16 [mm]</li> <li>• Vnitřní chlazení: Ne</li> </ul>
---	--


## Vystružovací nástroje

Jak již bylo uvedeno, pro experiment byly zvoleny 3 vystružovací nástroje od renomovaných výrobců. Jednotlivé nástroje jsou uvedeny v následujícím textu.

### Výstružník BECK

Výstružník od společnosti BECK byl monolitní nástroj s povlakem TiAlN. Kapalina je přiváděna středem a rozváděna do zubových mezer. Konstrukční parametry jsou uvedeny v tabulce 4.3.

**Tabulka 4.3 - Konstrukční parametry výstružníku BECK – obr. zdroj [35]**

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiál: SK</li> <li>• Povlak: Ano – TiAlN</li> <li>• Průměr D [mm]: 10</li> <li>• Počet břitů: 6</li> <li>• Délka řezné části: 20 [mm]</li> <li>• Úhel stoupání <math>\lambda</math>: 30°</li> <li>• Vnitřní chlazení: Ano</li> </ul>
---	--

### Výstružník GÜHRING

Výstružník dodaný společností GÜHRING je vyrobený z SK. Nástroj má povlak TiAlN a přívod řezné kapaliny je řešen podélnými drážkami ve válcové části. Konstrukční parametry jsou uvedeny v tabulce 4.4.


**Tabulka 4.4 - Konstrukční parametry výstružníku GÜHRING – obr. zdroj [34]**

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiál: SK</li> <li>• Povlak: Ano – TiAlN</li> <li>• Průměr D [mm]: 10</li> <li>• Počet břitů: 4</li> <li>• Délka řezné části: 19 [mm]</li> <li>• Úhel stoupání <math>\lambda</math>: 0°</li> <li>• Vnitřní chlazení: Ne</li> </ul>
---	--

**Výstružník HAM-FINAL**

Nástroj od výrobce HAM-FINAL měl těleso z SK a na něm byla připájena špička z cermetu. Nástroj má vnitřní chlazení rozvedené do břitových mezer. Konstrukční parametry jsou uvedeny v tabulce 4.5.

**Tabulka 4.5 - Konstrukční parametry výstružníku HAM-FINAL – obr. zdroj [3]**

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiál: tělo z SK; břity cermet</li> <li>• Povlak Ne</li> <li>• Průměr D [mm]: 10</li> <li>• Počet břitů: 6</li> <li>• Délka řezné části: 20 [mm]</li> <li>• Úhel stoupání <math>\lambda</math>: 30°</li> <li>• Vnitřní chlazení: ANO</li> </ul>
---	---

**4.3 Technologický postup experimentu****Vrtání**

Použitý upínač: Hydro-plastický upínač – GÜHRING GM300 (max. n 20 000[ot/min])

Vyložení nástroje [mm]: 70

Řezné podmínky:

- řezná rychlost  $v_c$  [m/min] 80
- posuvová rychlost  $v_f$  [mm/min] 260
- otáčkový posuv  $f$  [mm/ot] 0,1
- otáčky nástroje  $n$  [ot/min] 2600
- posuvová rychlost  $v_f$  [mm/min] rychloposuv

Vrtání bylo prováděno s vyplachováním po 1xD z důvodu horšího lámání třísky obráběného materiálu.

**Sražení hran**

Použitý upínač: Kleštinový upínač – GÜHRING GM300

Vyložení nástroje [mm]: 55

Řezné podmínky:

- řezná rychlost  $v_c$  [m/min] 94
- posuvová rychlost  $v_f$  [mm/min] 300
- otáčkový posuv  $f$  [mm/ot] 0,13
- otáčky nástroje  $n$  [ot/min] 3000
- posuvová rychlost  $v_f$  [mm/min] rychloposuv

Řezné podmínky byly zvoleny z pásma doporučeného výrobcem. Tento nástroj byl již před začátkem experimentu odlazen, a tedy tato operace nevykazovala žádné nedostatky.

**Vystružování**

K získání závislosti vlivu otupení byla zvedána řezná rychlost  $v_c$  taky, aby bylo docíleno otupení nástrojů. Test byl u každého nástroje naplánován tak, že startovací rychlost byla stanovena v horní polovině výrobcem doporučené řezné rychlosti konkrétně 80% resp. 85%. Rychlost byla 3krát zvýšena tak, že konečná řezná rychlost se nacházela nad doporučenými řeznými podmínkami konkrétně 110% resp. 115%. Zvolené rozložení řezných podmínek je uvedeno v tabulkách 4.6, 4.7 a 4.8.

**Výstružník BECK**

Použitý upínač: Hydro-plastický upínač – KENNAMETAL HERTEL(DV40BHCB2008 2m)

Vyložení nástroje [mm]: 80

Výrobcem doporučené řezné podmínky: - řezná rychlost  $v_c$  [m/min] 120 – 250  
- otáčkový posuv  $f$  [mm/ot] 0,6 – 1,4

**Tabulka 4.6 – Řezné podmínky testování nástroje BECK**

<b>řezná rychlost <math>v_c</math> [m/min]</b>	200	225	250	275
<b>posuv <math>f</math> [mm/ot]</b>	1,2	1,2	1,2	1,2
<b>posuvová rychlost <math>v_f</math> [mm/min]</b>	7 639	8 594	9 550	10 313
<b>posuvová rychlost <math>v_f</math> [mm/min] - výjezdová</b>	15 000	15 000	15 000	15 000
<b>otáčky nástroje <math>n</math> [ot/min]</b>	6 366	7 162	7 958	8 594
<b>Ujetá vzdálenost [m]</b>	2	2	2	2

Výstružník od výrobce BECK, nebylo možné otestovat za všech řezných rychlostí, neboť po 4,56 metrech došlo k destrukci břitu číslo 2 a částečné destrukci břitu 1 a test tohoto nástroje byl ukončen.

Katedra Technologie Obrábění  
**Výstružník GÜHRING**

Bc. Luboš Kroft

Použitý upínač: Hydro-plastický upínač – KENNAMETAL HERTEL(DV40BHCB2008 2m)

Vyložení nástroje [mm]: 60

Výrobce doporučené řezné podmínky: - řezná rychlost  $v_c$  [m/min] 120 – 250  
 - otáčkový posuv  $f$  [mm/ot] 1,2 – 1,8

**Tabulka 4.7 – Řezné podmínky testování nástroje GÜHRING**

řezná rychlost $v_c$ [m/min]	200	225	250	275
posuv $f$ [mm/ot]	1,2	1,2	1,2	1,2
posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]	7 639	8 594	9 550	10 313
posuvová rychlost $v_f$ [mm/min] - výjezdová	15 000	15 000	15 000	15 000
otáčky nástroje $n$ [ot/min]	6 366	7 162	7 958	8 594
Ujetá vzdálenost [m]	2	2	2	2

Nástroj byl vzhledem ke zbylému množství polotovaru otestován ještě při řezné rychlosti  $v_c = 300$  [m/min]; posuvová rychlost  $v_f = 11 459$  [mm/min]. Těmito podmínkami bylo obrobena 2,8 metru díry. Ani při těchto nadkritických podmínkách nástroj nevykazoval výraznější opotřebení.

### **Výstružník HAM-FINAL**

Použitý upínač: Hydro-plastický upínač – KENNAMETAL HERTEL (DV40BHCB2008 2m)

Vyložení nástroje [mm]: 60

Výrobce doporučené řezné podmínky: - řezná rychlost  $v_c$  [m/min] 140 – 200  
 - otáčkový posuv  $f$  [mm/ot] 0,1 – 0,6

**Tabulka 4.8 – Řezné podmínky testování nástroje HAM-FINAL**

řezná rychlost $v_c$ [m/min]	170	190	210	230
posuv $f$ [mm/ot]	0,3 a 0,5	0,5	0,5	0,5
posuvová rychlost $v_f$ [mm/min]	1 623 a 2 706	3 024	3 343	3 661
posuvová rychlost $v_f$ [mm/min] - výjezdová	15 000	15 000	15 000	15 000
otáčky nástroje $n$ [ot/min]	5 411	6 047	6 685	7 321
Ujetá vzdálenost [m]	2	2	2	2

Výstružník HAM-FINAL vykazoval postupné známky otupování. Zvládl vyrobít plánovaných 8 [m] díry. Na konci experimentu byl již značně opotřebený a nebylo by možné ho dále používat.

#### 4.4 Průběh experimentu

Experiment proběhl bez větších technických problémů. Operace vrtání byla zcela bezproblémová a nástroj vydržel celý experiment. Vrták vyrobil 24 [m] díry a i když na konci experimentu vykazoval drobné opotřebení, především o oblasti přechodového ostří, bylo by možné vrták dále použít.

Sražení hran byla operace, která nevykazovala žádné zvláštnosti. Srážeč hran byl již zařiznutý, a tak po celou dobu experimentu fungoval spolehlivě.

Jako první výstružník byl nasazen výstružník od HAM-FINALu. Po obrobení 10 děr byla v díře patrná šroubovice. Pro její odstranění byl zvýšen posuv z 0,3 na 0,5 [mm/ot]. Tento krok pomohl a šroubovice již nebyla tolik patrná. Jako další byla přidána časová prodleva  $t = 1$  [s] aby se z nástroje odlepily nečistoty před vyjetím z díry. Po této úpravě programu se kvalita díry vizuálně pozorovatelná zlepšila na akceptovatelnou hodnotu. Toto odlazení proběhlo během prvních 50 děr. Takto upravený program byl použit i pro další průběh experimentu. Břity výstružníku byly zkontrolovány na dílenském mikroskopu BLICKLE a břity, které vykazovaly opotřebení zaznamenány. Takto se postupovalo po každých 50 dírách až do plánovaného konce experimentu.

U výstružníku BECK, který byl testován jako druhý, byli navrhované řezné podmínky shledané jako optimální a nebylo nutné vystružovací nástroj odlazovat, neboť díry vykazovaly po vizuální kontrole akceptovatelné výsledky. Po ujetí 50 děr bylo na břitu číslo čtyři patrné poškození. Toto opotřebení čtvrtého břitu se po dalších 50 dírách mírně zvětšilo a bylo pozorováno mírné opotřebení na břitech číslo jedna a dva. Při dalším zvýšení řezných podmínek výstružník vyrobil 14 děr, po kterých se změnila akustická emise nástroje. Vystružovací nástroj byl vyjmut a zkontrolován. U nástroje došlo k destrukci druhého a částečné destrukci prvního břitu. Tento poškozený výstružník byl vyjmut a jeho testování předčasně ukončeno.

Posledním testovaným nástrojem byl výstružník HR 500. Při prvních 50 dírách nevykazoval takřka žádné opotřebení a tak byly navrhované řezné podmínky shledané jako optimální. Obrobené díry byly po vizuální kontrole v předpokládaném stavu. Při zvyšování řezných podmínek dle plánu bylo na výstružníku pozorováno jen nepatrné opotřebení a to i po obrobení 8 [m] díry. Vzhledem k tomu, že po testovaném nástroji číslo 2. zůstala část neobrobeného polotovaru, bylo na další 2,8 [m] díry zvýšena řezná rychlost až na 120% nad výrobcem doporučené podmínky. Po konci experimentu bylo na vystružovacím nástroji pozorováno drobné opotřebení, ale výstružník by bylo možné nadále používat, neboť nedosáhl kritické hodnoty opotřebení.

Záznamy z měření experimentu jsou uvedeny v příloze 10,11 a 12. Vyhodnocením těchto hodnot se budeme zabývat v následující kapitole

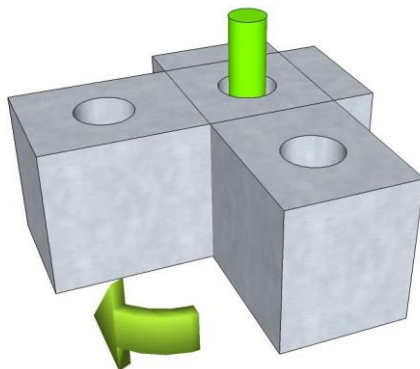
## 5 Vyhodnocení naměřených výsledků

V této kapitole bude provedeno vyhodnocení experimentu, jehož popis byl obsahem kapitoly 4. Cílem tohoto hodnocení je zhodnotit jak kvalitu obrobeneých otvorů tak také opotřebení nástroje, které bylo při experimentu dosaženo na jednotlivých nástrojích.

Na břitů nástroje byly hodnoceny tři parametry. Prvním parametrem bylo opotřebení na čele břitů. Další dva parametry byly zaznamenány ze hřbetu břitů a to jak z hlavního tak vedlejšího. Tyto hodnoty byly měřeny na dílenském mikroskopu BLICKLE jehož popis najdeme v příloze 6. Vybrané obrázky opotřebení jednotlivých břitů jsou uvedeny u záznamu z měření pro každý nástroj v příloze 11, 12 a 13.

Další část vyhodnocení byla provedena na vyrobených dířích. Zde se hodnotily parametry průměru díry a to jak na vstupu tak na výstupu, dále pak válcovitost otvoru a jako poslední byl hodnocen povrch. U kvality povrchu byly vyhodnoceny parametry Ra a Rz.

Hodnoty průměru díry byly měřeny pomocí vzduchového kalibru MAHR. Jeho parametry jsou uvedeny v příloze 4. Měřen byl vstup a výstup díry a to ve čtyřech polohách po 90°. Zaznamenána byla minimální a maximální hodnota. Z této hodnoty byl pro vyhodnocení vytvořen aritmetický průměr.



Obrázek 5.1 - Znázornění postupu měření otvorů [14]

Válcovitost otvorů byla měřena na 3D měřícím stroji. Stroj a jeho parametry jsou zaznamenány v příloze 15. Hodnota válcovitosti byla vyhodnocena z měření v hladinách 3,11,19,27 a 30 [mm]. Tato hodnota byla přímo použita do vyhodnocení.

Drsnost povrchu byla hodnocena pomocí drsnoměru MAHR, jehož parametry jsou uvedeny v příloze 5. Měření bylo provedeno v náhodném místě díry na délce 5,6 mm. Toto měření bylo dvakrát opakováno a výsledná hodnota je hodnotou aritmetického průměru.

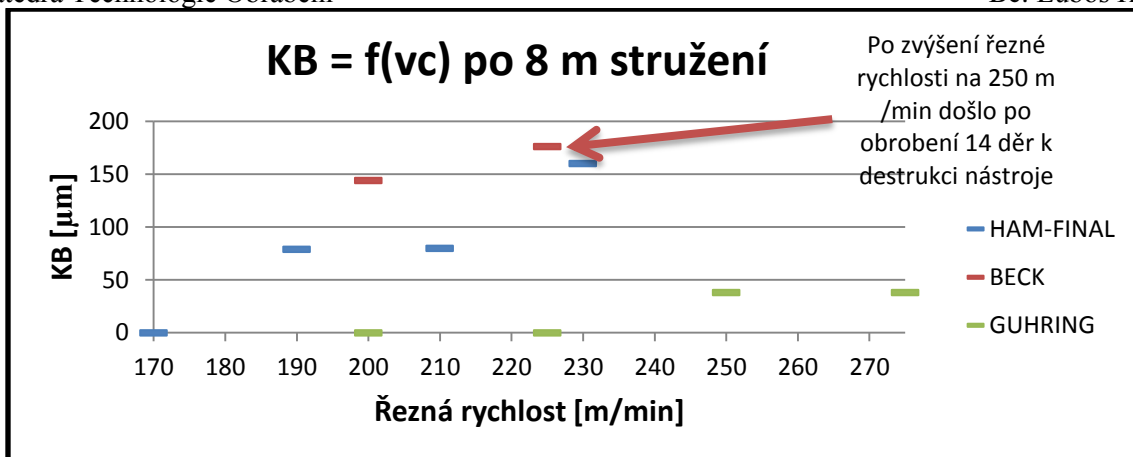
### 5.1 Hodnocení opotřebení řezných břitů

Opotřebení břitů nástroje zaznamenané během experimentu je znázorněné grafy na obr. 5.2, 5.3 a 5.4. Jedná se o maximální hodnotu opotřebení zaznamenanou na jednom z břitů vždy po vystružení 2 [m]. Graf na obr. 5.2 znázorňuje opotřebení čela břitů. Z grafu vidíme, že opotřebení mělo vzrůstající tendenci u všech testovaných nástrojů.

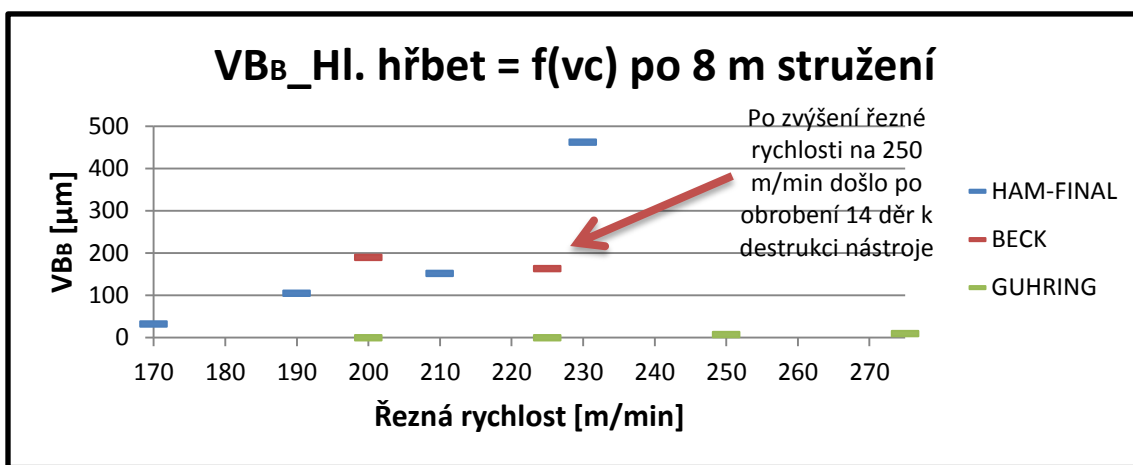
Opotřebení na hlavním hřbetu je znázorněno v grafu na obr. 5.3 opotřebení vedlejšího hřbetu je zaznamenáno v grafu na obr. 5.4. Nástroje GÜHRING a HAM-FINAL vykazují opět vzrůstající hodnotu opotřebení. Opotřebení u nástroje BECK se po 4 metrech mírně snížilo oproti stavu při 2 metrech. Další vývoj bohužel nebylo možné sledovat vzhledem k destrukci nástroje.

Snímky vybraných břitů jsou zobrazeny v přílohách 11, 12 a 13.

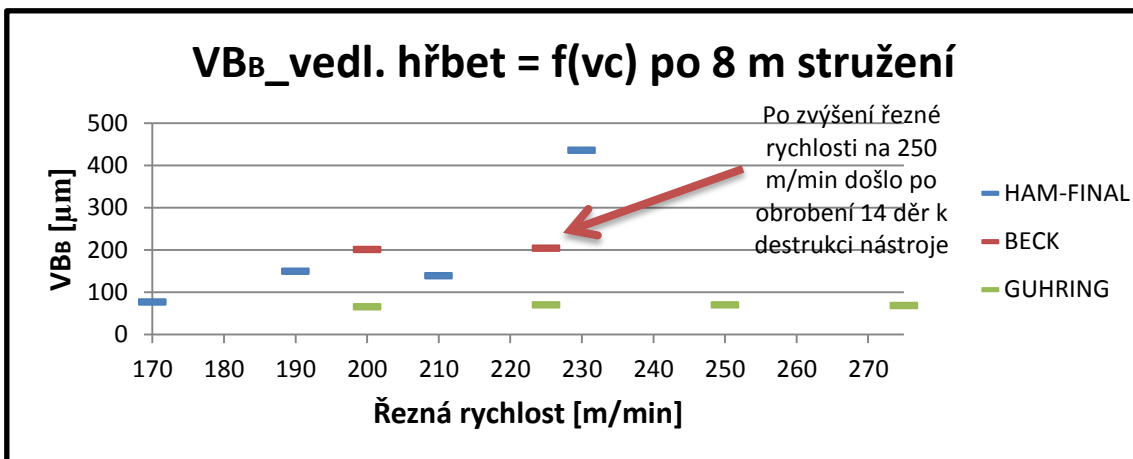




Obrázek 5.2 - Graf vlivu řezné rychlosti na opotřebení na čele



Obrázek 5.3 - Graf vlivu řezné rychlosti na opotřebení na hlavním hřbetu



Obrázek 5.4 - Graf vlivu řezné rychlosti na opotřebení na vedlejším hřbetu

## 5.2 Hodnocení průměru vystružené díry na vstupu a výstupu

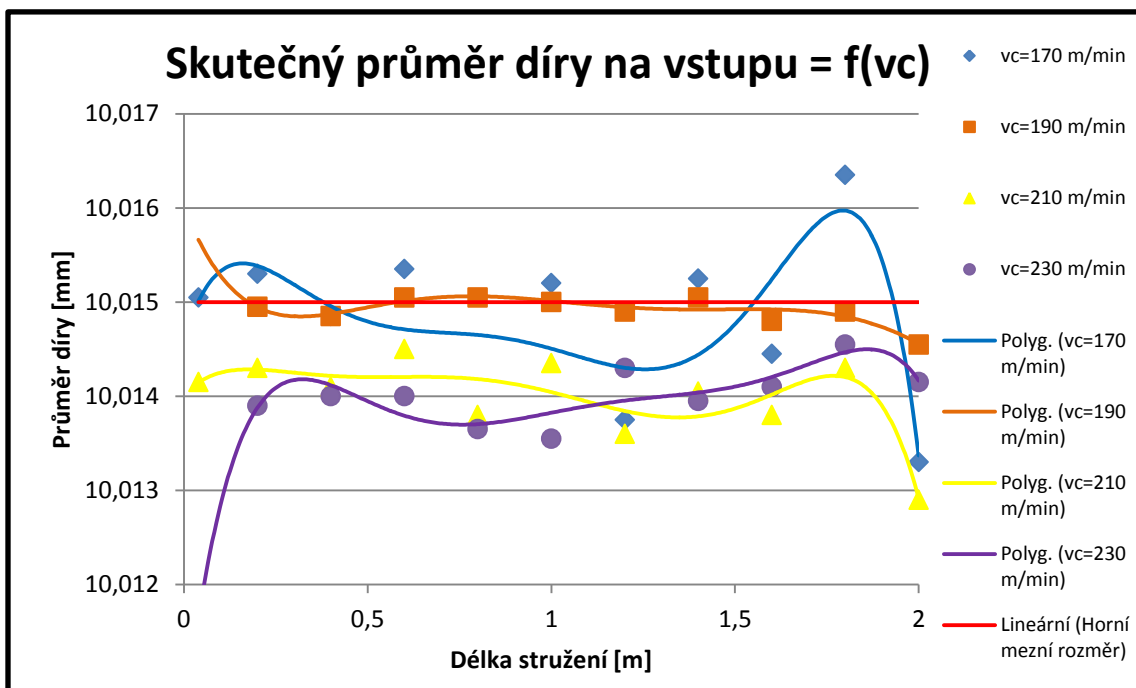
Naměřené hodnoty průměru jsou vyobrazeny v grafech na obr. 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 a 5.10. Hodnocení je prováděno vždy po 2 metrech, aby byl vidět vliv řezné rychlosti. V grafech je také vyznačena hodnota horního mezního rozměru (dále je HMR) a to plnou červenou čarou. Hodnoty průměru jsou proloženy polynomickou funkcí 6. řádu pro lepší názornost závislosti průměru na  $v_c$ .

Z grafu je patrné, že výstružník HAM-FINAL na vstupu překračoval HMR především u prvních dvou řezných rychlostí. Dále došlo ke stabilizaci procesu a hodnoty průměru na vstupu spadají pod hranici HMR. Skutečný průměr děr na vstupu nebyl na rozdíl od vstupu ve větší míře v toleranci. Spíše se pohyboval na hranici HMR a ve mnoha případech ho také překračoval. Akceptovatelné výsledky je možné pozorovat pouze u řezné rychlosti  $v_c = 170$  [m/min]. Při této rychlosti se dají výsledky považovat za přijatelné, neboť díra, která je mimo HMR je v prvních několika dírách, kde mohlo docházet k zaříznutí břitu nástroje.

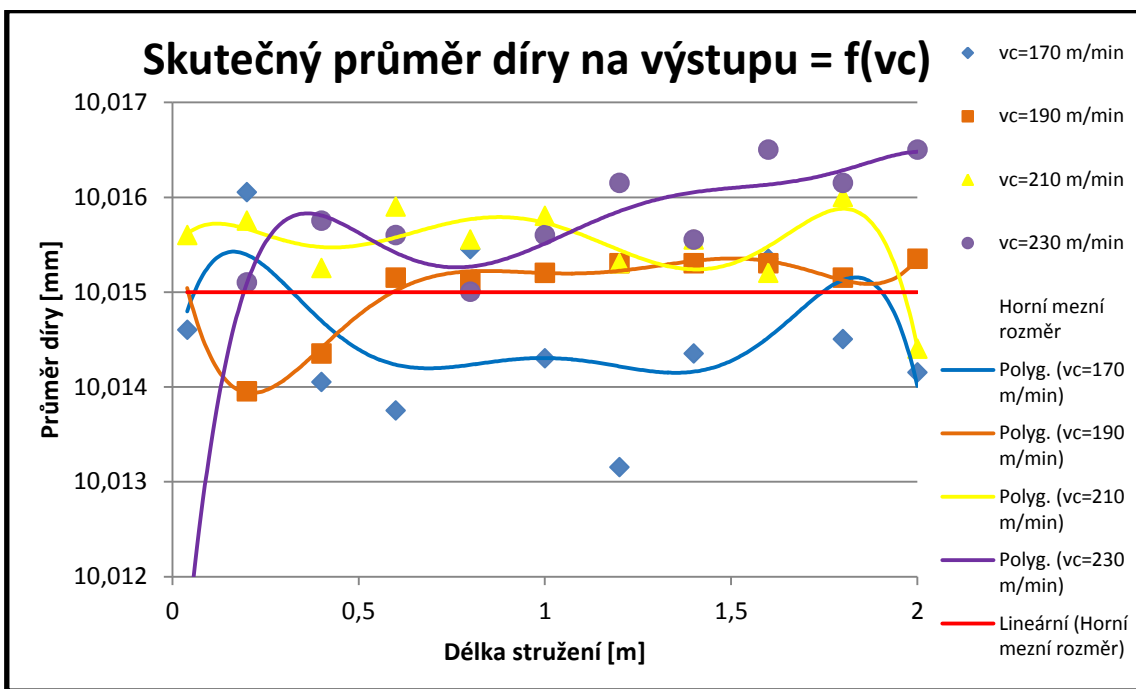
Výstružník od výrobce BECK vyráběl díru v toleranci i při prvních dvou řezných rychlostech. A to jak na vstupu tak také na výstupu. Průměr díry se při řezných rychlostech  $v_c = 200$  a  $225$  [m/min] pohyboval v úzkém rozptylu hodnot. Po zvýšení na  $v_c = 250$  [m/min] ovšem došlo k výraznému nárůstu hodnot nad HMR. Tento jev mohl způsobit fakt, že u břitu výstružníku došlo po několika dírách k destrukci nástroje a proces v tu dobu probíhal za nestabilních podmínek.

Vystružovací nástroj HR 500 od společnosti GÜHRING vyráběl díry v toleranci při všech řezných rychlostech. Tato hodnota se pohybovala ve velice úzkém pásmu a to jak na vstupu tak také na výstupu. I při rychlosti  $v_c = 300$  [m/min] výstružník nevykazoval žádné výraznější změny rozptylu hodnot a všechny průměry se pohybovaly v rozmezí  $10,010 - 10,012$  [mm] na vstupu a  $10,010 - 10,013$  [mm] na výstupu.

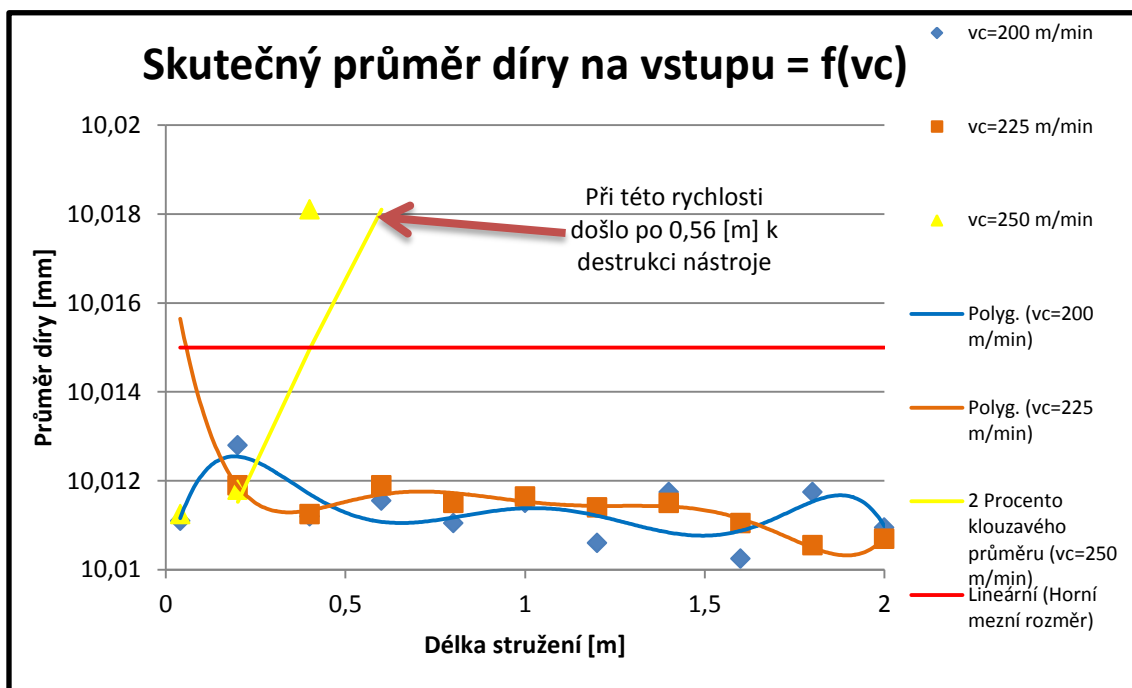
Na vstupu díry vystružovací nástroje dosahovaly dobrých hodnot a kromě nižších rychlostí u nástroje HAM-FINAL a řezné rychlosti  $v_c = 250$  [m/min] u nástroje BECK byly hodnoty pod hranicí HMR. Na výstupu už nástroj HAM-FINAL nedosahoval dobrých hodnot. Hodnoty na výstupu u výstružníku BECK byly pod hranicí HMR a to do zvýšení řezné rychlosti na  $v_c = 250$  [m/min]. Nejlepších výsledků dosahoval výstružník GÜHRING a to jak na vstupu, tak na výstupu.



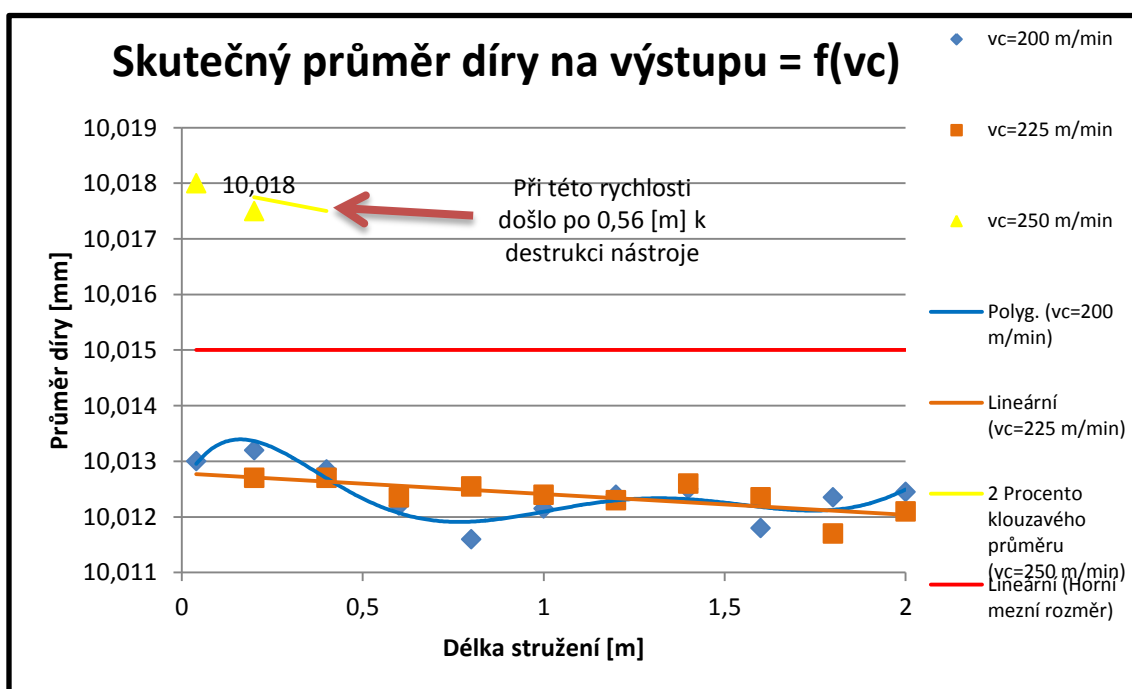
Obrázek 5.5 - Vliv řezné rychlosti na skutečný průměr díry na vstupu u nástroje HAM-FINAL



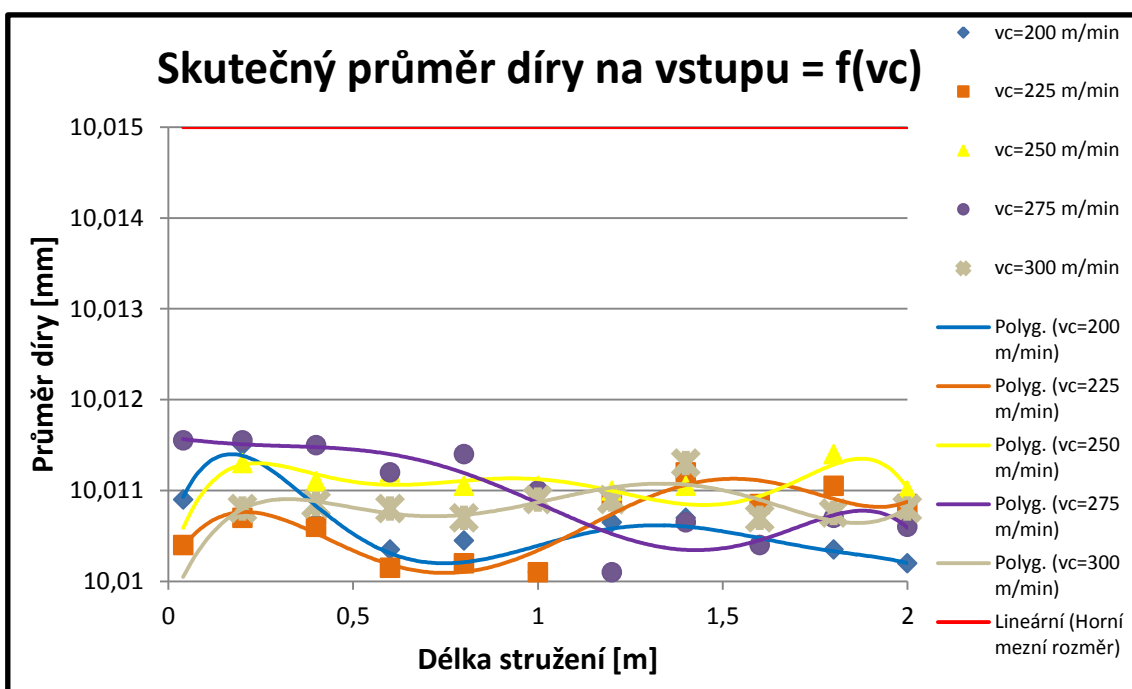
Obrázek 5.6 - Vliv řezné rychlosti na skutečný průměr díry na výstupu u nástroje HAM-FINAL



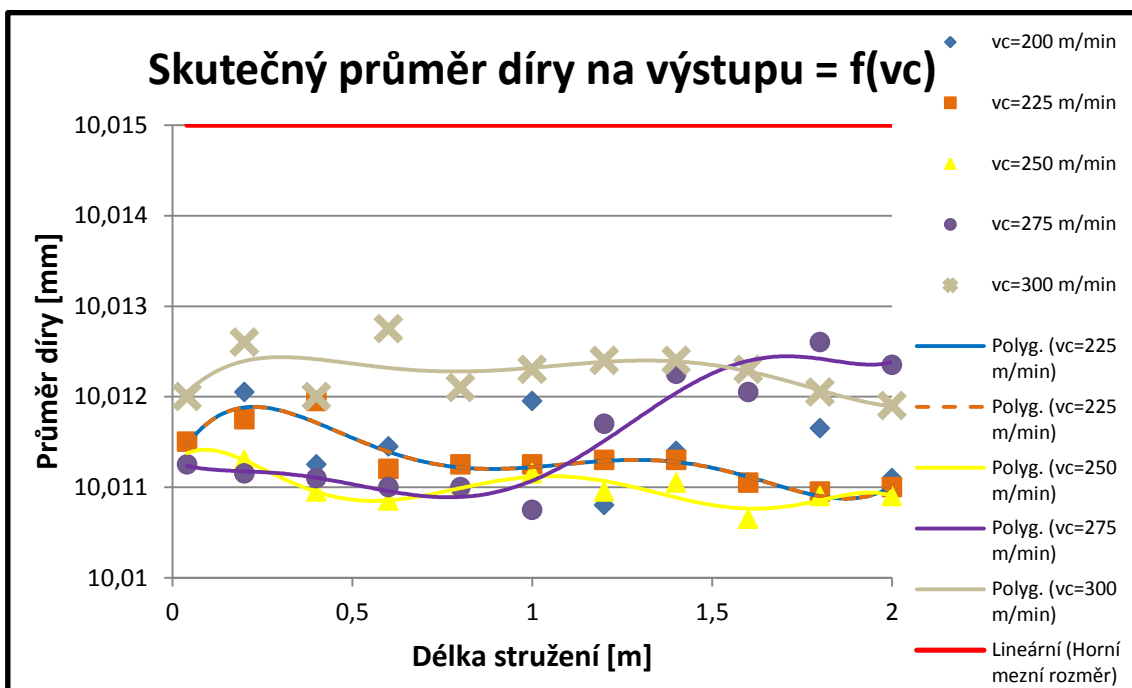
Obrázek 5.7 - Vliv řezné rychlosti na skutečný průměr díry na vstupu u nástroje BECK



Obrázek 5.8 - Vliv řezné rychlosti na skutečný průměr díry na výstupu u nástroje BECK



Obrázek 5.9 - Vliv řezné rychlosti na skutečný průměr díry na vstupu u nástroje GÜHRING



Obrázek 5.10 - Vliv řezné rychlosti na skutečný průměr díry na výstupu u nástroje GÜHRING

### 5.3 Hodnocení válcovitosti vystružené díry

Válcovitost otvorů a její průběh je vyobrazen na grafech na obr. 5.11, 5.12 a 5.13. Hodnoty pro jednotlivé řezné rychlosti jsou uvedeny v grafech a pro lepší názornosti závislosti průběhu jsou proloženy polynomicou funkčí 6. řádu. Pro lepší orientaci jsou v grafu uvedeny hodnoty jednotlivých stupňů přesnosti díry od IT5 po IT11. Hodnocení je prováděno vždy po 2 metrech, aby byl vidět vliv řezné rychlosti.

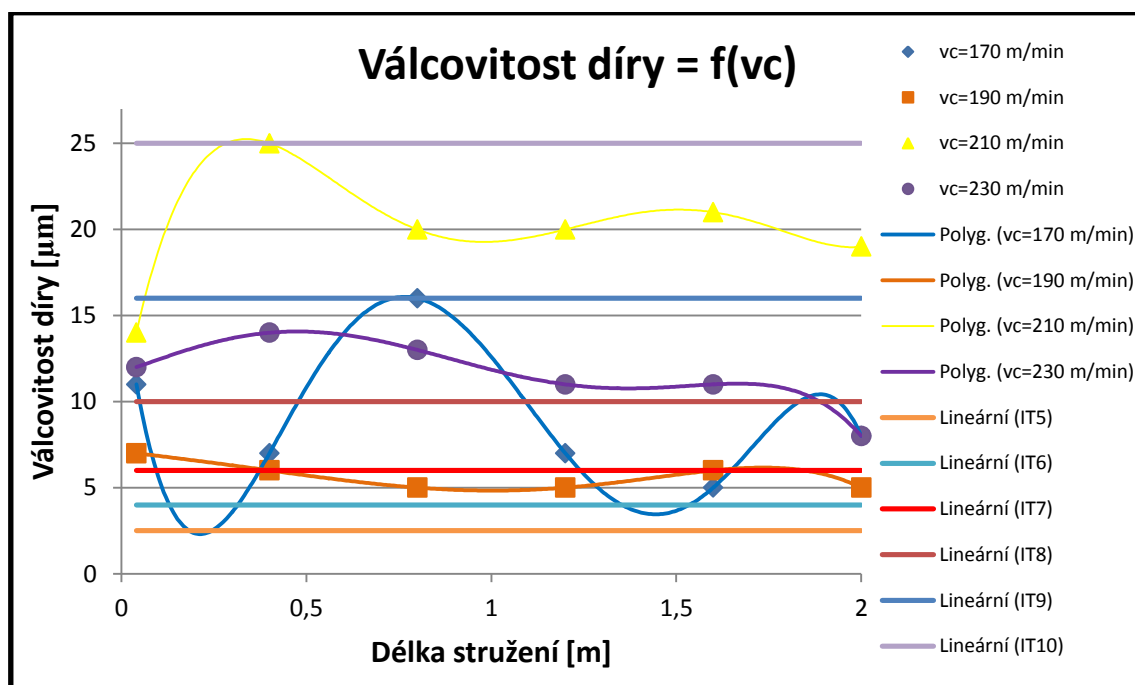
Neboť při reálné výrobě není tento parametr hodnocen, byla stanovena hodnota válcovitosti dle normy ČSN-01-4405 na stupeň přesnosti IT7.

Výstružník HAM-FINAL měl velice rozdílné hodnoty válcovitosti pro různé řezné rychlosti. Pro  $v_c = 190$  [m/min] se válcovitost pohybovala okolo hodnoty IT7. Naopak při  $v_c = 210$  [m/min] se hodnota válcovitosti blížila až IT10, což je zcela nevyhovující. Zbylé řezné rychlosti kolísaly od IT7 do IT9.

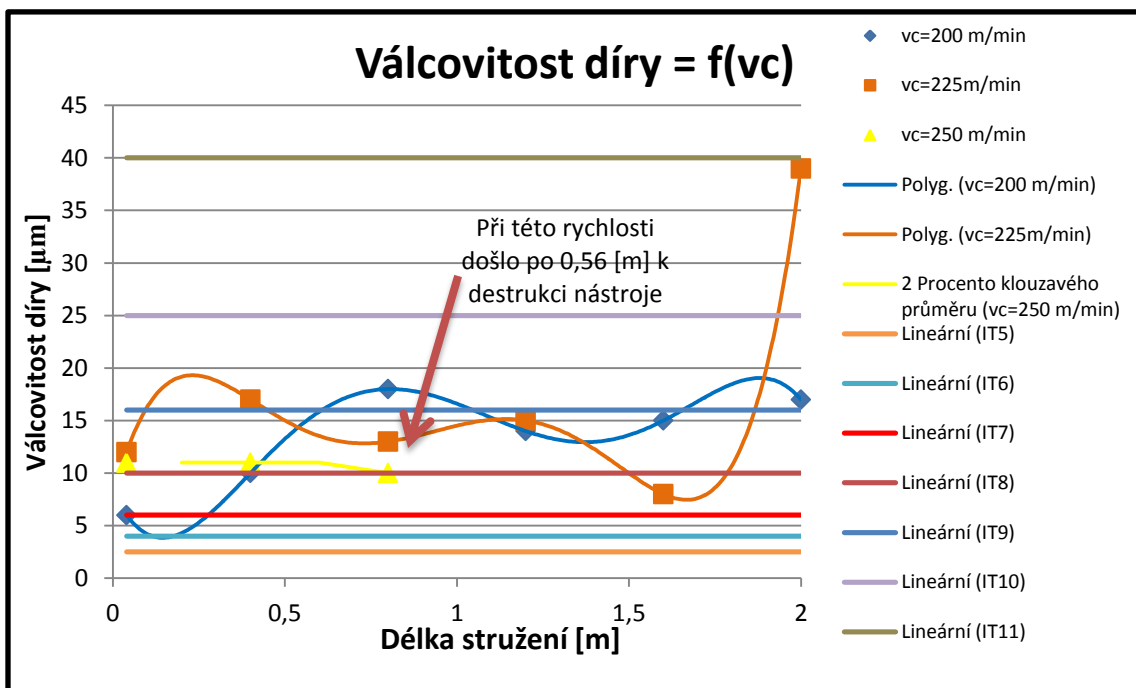
Výstružník BECK nedosahoval hodnot IT7 s výjimkou jedné hodnoty a převážná část bodů se pohybovala okolo stupně IT9. Paradoxní je výsledek naměřený při řezné rychlosti  $v_c = 250$  [m/min], při které došlo k destrukci nástroje. Válcovitost při této rychlosti dosahovala dobrých výsledků okolo stupně IT8.

Nástroj GÜHRING dosahoval horších hodnot válcovitosti a to především u dvou vyšších řezných rychlostí. Při řezné rychlosti  $v_c = 250$  a  $275$  [m/min] válcovitost značně kolísala a to mezi IT7 a IT11. Pro nižší řezné rychlosti  $v_c = 200$  a  $225$  [m/min] byla válcovitost IT8.

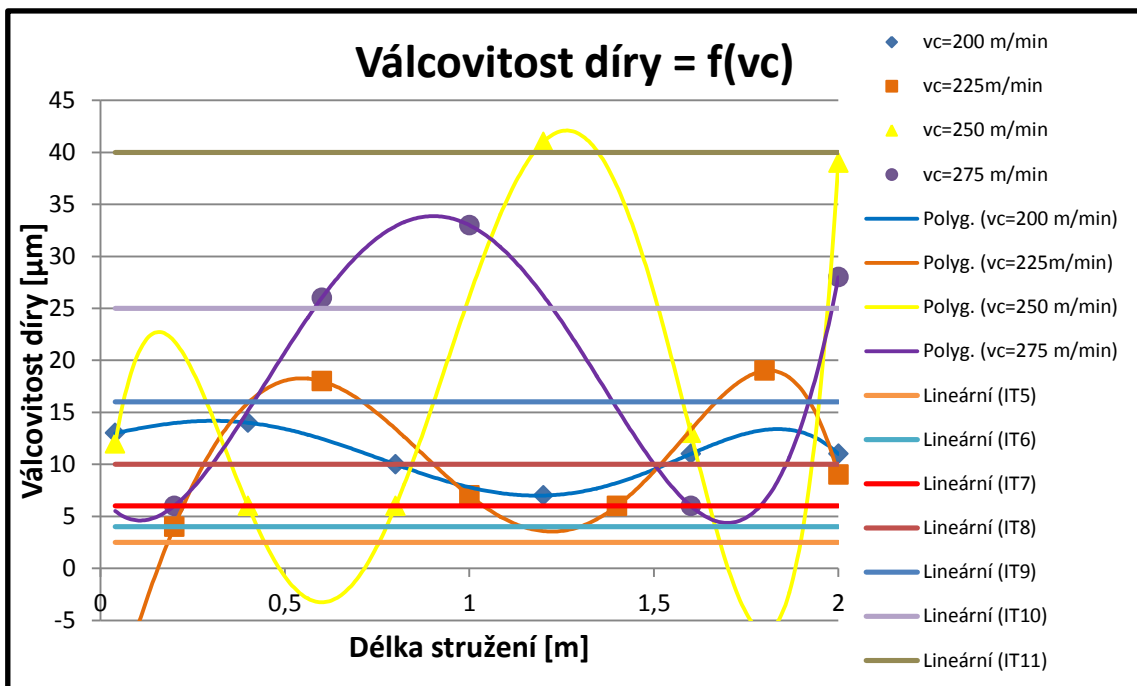
Nejlépeších hodnot válcovitosti dosahoval nástroj HAM-FINAL a to při řezné rychlosti  $v_c = 190$  [m/min]. Při ostatních rychlostech se již hodnota pohybovala nad IT7. Zbylé dva nástroje se k IT7 pouze blížily a to při všech řezných rychlostech, ale spíše byly nad IT8 a v některých případech i výše.



Obrázek 5.11 Vliv řezné rychlosti na válcovitost díry u nástroje HAM-FINAL



Obrázek 5.12 - Vliv řezné rychlosti na válcovitost díry u nástroje BECK



Obrázek 5.13 - Vliv řezné rychlosti na válcovitost díry u nástroje GÜHRING

## 5.4 Hodnocení drsnosti Ra a Rz vystružené díry

V grafech na obrázcích 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18 a 5.19 jsou zobrazeny průběhy drsností povrchu díry Ra a Rz. Jednotlivé body jsou proloženy spojnici trendů polynomické funkce 6. řádu.

Kriteriální drsnost požadovaná dle výkresu je  $Ra \geq 0,8$  [ $\mu\text{m}$ ]. Tato hodnota je v grafech zobrazena zelenou barvou. Při měření ve společnosti GTW BEARINGS byla v grafu dosažené drsnosti díry zobrazena ještě hodnota akceptovatelná dle vnitřních předpisů společnosti. Vzhledem k tomu, že žádný z nástrojů se k této hodnotě neblížil, nebylo nutné jí při hodnocení experimentu zahrnout do grafů.

Druhým parametrem pro hodnocení kvality díry je drsnost Rz. Tato hodnota není uváděna na výkresech, ale z pohledu integrity povrchu se jedná o důležitější parametr než drsnost Ra. Protože Rz není součástí výkresu, byla hodnota vypočítána pomocí převodové tabulky z hodnoty Ra z důvodu porovnatelnosti výsledků. Takto stanovená hodnota je  $Rz \geq 6,3$  [ $\mu\text{m}$ ]. Přepočítání bylo provedeno dle tabulky v příloze 3. Ekvivalent Rz je v grafech zobrazen zelenou čarou.

Vystružovací nástroj HAM-FINAL dosahoval drsnosti Ra pod požadovanou hodnotu s výjimkou jednoho bodu. Tento výsledek mohl být zaviněn zařízením břitu. Převážná část výsledků drsnosti splňuje požadovanou toleranci Ra. Hodnota drsnosti Ra však značně kolísala a to především při řezné rychlosti  $v_c = 170$  [ $\text{m}/\text{min}$ ], což by mohlo v reálné výrobě způsobit výrobu zmetkových otvorů a to především při větší délce stružení.

Hodnota drsnosti Rz již vykazuje větší kolísání hodnot a to především v horním pásmu tolerančního pole. Hodnoty se však drží pod hranicí dovoleného ekvivalentu a nástroj tedy vyhovuje.

Výstružník HNC od výrobce BECK dosahoval požadované drsnosti  $Ra \geq 0,8$  [ $\mu\text{m}$ ] a průměrná hodnota se držela okolo  $Ra = 0,5$  [ $\mu\text{m}$ ]. Tato hranice nebyla překročena ani při rychlosti  $v_c = 250$  [ $\text{m}/\text{min}$ ], při které došlo k destrukci nástroje.

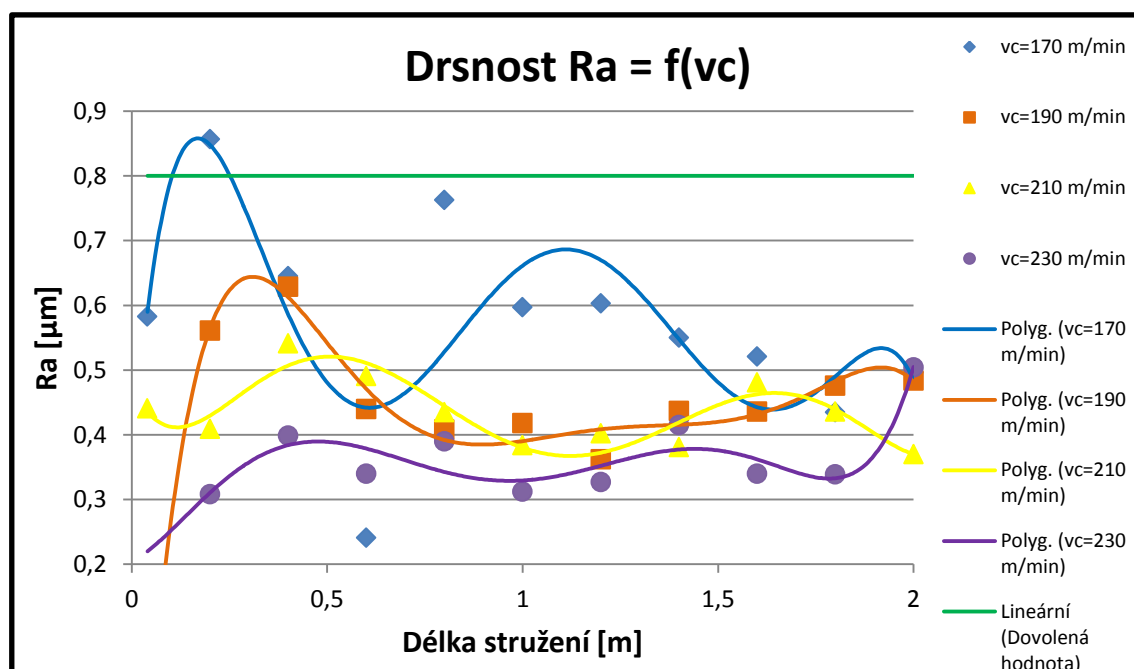
Obdobných výsledků drsnosti díry jako u parametru Ra dosahuje nástroj u parametru drsnosti Rz. Hodnoty sice více kolísají a to především u řezné rychlosti  $v_c = 200$  [ $\text{m}/\text{min}$ ], ale všechny měřené drsnosti jsou pod ekvivalentní požadovanou hodnotu, a nástroj proto až do destrukce splňoval hodnoty drsnosti.

Výstružník GÜHRING vyráběl všechny díry v požadované toleranci. Drsnost Ra lehce kolísala a to především u řezných rychlostí  $v_c = 275$  a  $300$  [ $\text{m}/\text{min}$ ]. Toto kolísání bylo ve velice úzkém poli hodnot a až na dvě výjimky nepřesáhla drsnost  $Ra = 0,4$  [ $\mu\text{m}$ ], což lze považovat za velice dobrý výsledek.

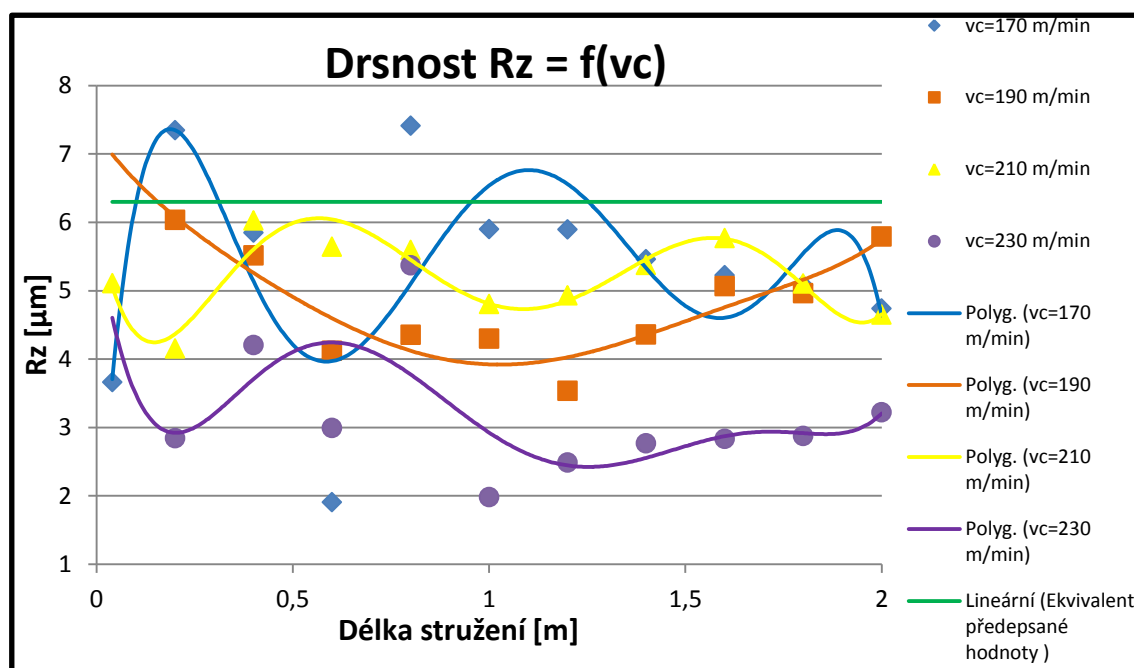
U drsnosti Rz byly u otvorů vyrobených nástrojem GÜHRING opět naměřeny hodnoty hluboko pod hranicí požadovaného ekvivalentu. I zde se projevilo mírné kolísání při řezných rychlostech  $v_c = 275$  a  $300$  [ $\text{m}/\text{min}$ ], ale drsnost nepřesáhla  $Rz = 3$  [ $\mu\text{m}$ ], což je opět velice dobrý výsledek.

Požadovanou hodnotu drsnosti splnily všechny nástroje, i když několik hodnot bylo mírně mimo toleranci a to především u nástroje HAM-FINAL. Vzhledem k vysokým řezným rychlostem u nástroje GÜHRING jsou jeho výsledky nad očekávání a nástroj vyráběl otvory s nejlepší kvalitou povrchu a to jak dle drsnosti Ra tak dle Rz.

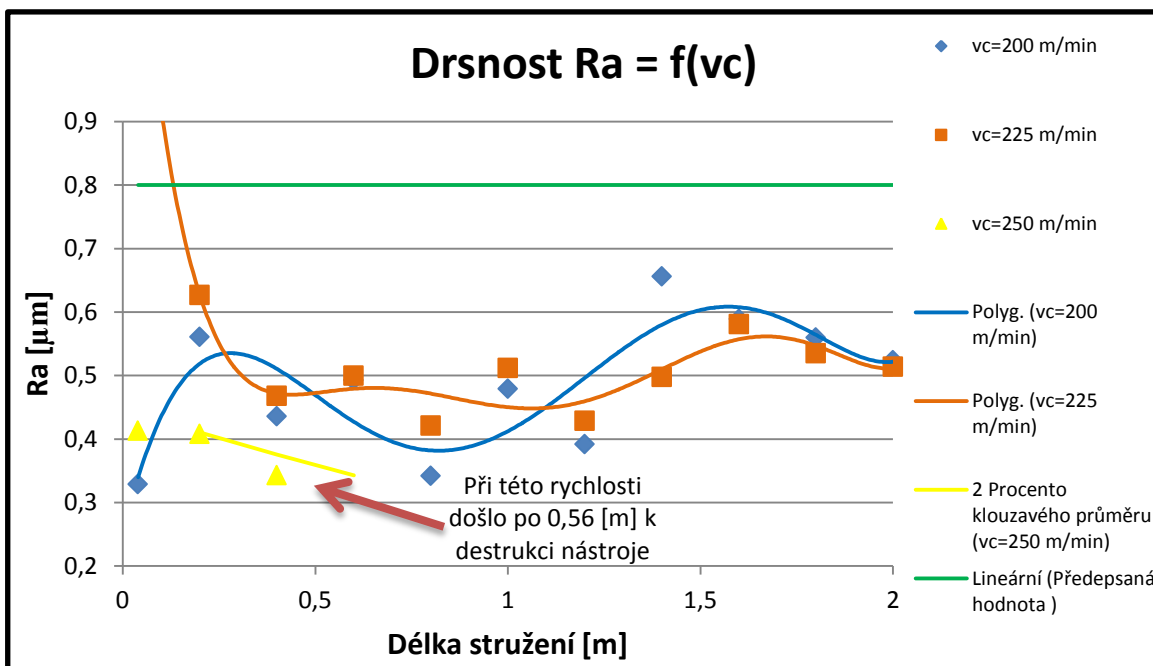




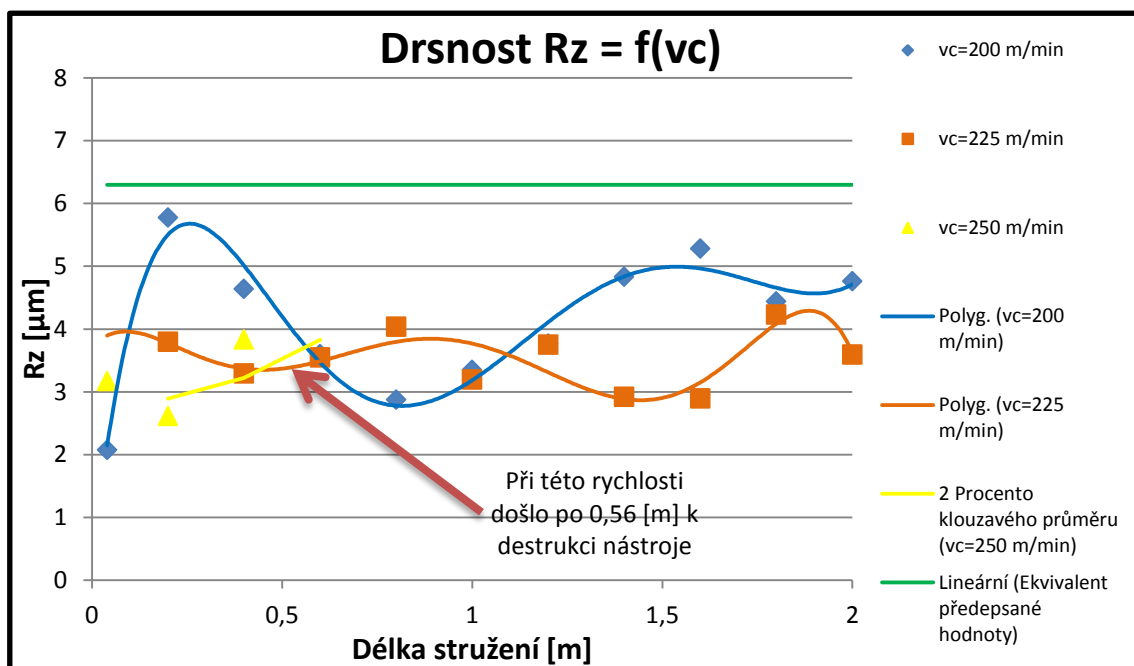
Obrázek 5.14 Vliv řezné rychlosti na profil drsnosti Ra obrobeného povrchu u nástroje HAM-FINAL



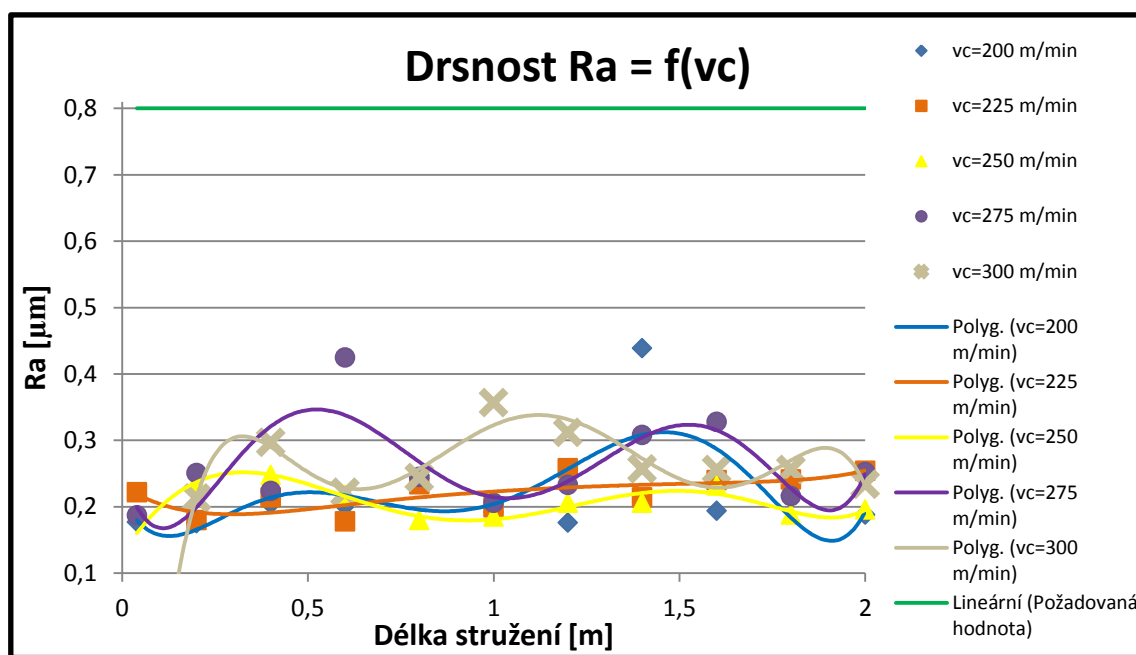
Obrázek 5.15 - Vliv řezné rychlosti na profil drsnosti Rz obrobeného povrchu u nástroje HAM-FINAL



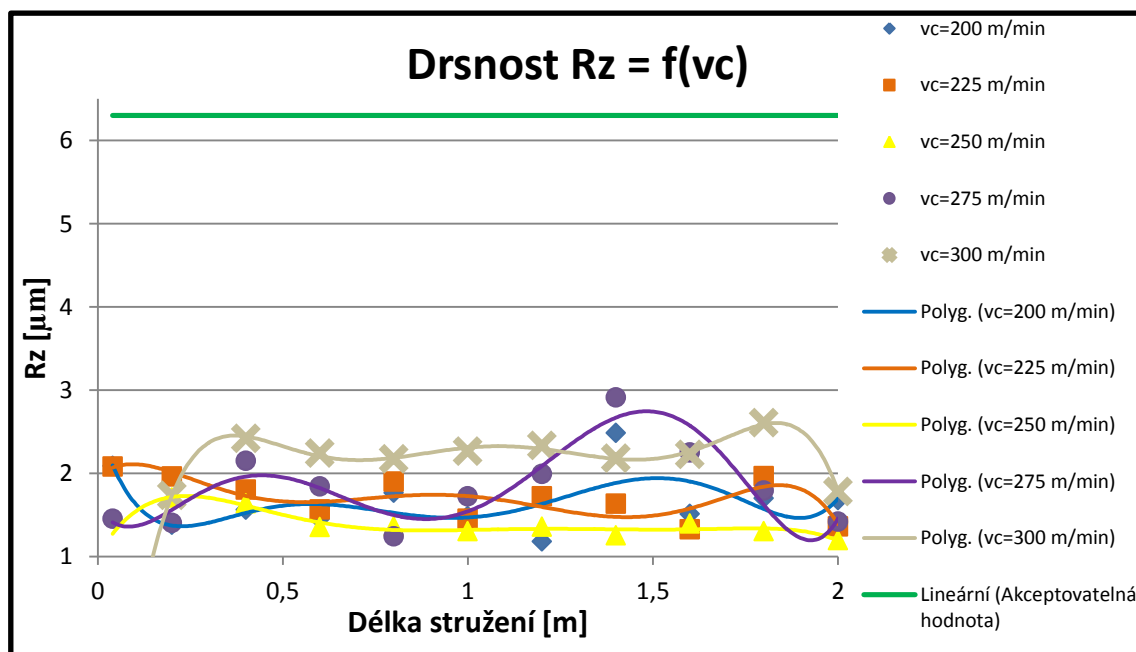
Obrázek 5.16 - Vliv řezné rychlosti na profil drsnosti Ra obroběného povrchu u nástroje BECK



Obrázek 5.17 - Vliv řezné rychlosti na profil drsnosti Rz obroběného povrchu u nástroje BECK



Obrázek 5.18 - Vliv řezné rychlosti na profil drsnosti Ra obroběného povrchu u nástroje GÜHRING



Obrázek 5.19 - Vliv řezné rychlosti na profil drsnosti Rz obroběného povrchu u nástroje GÜHRING

**Shrnutí:** Vyhodnocení výsledků naměřených hodnot na díře a na nástroji nám ukazuje, že nástroje zvolené k experimentu splňují požadavky předepsané na výkresu. Přidaný parametr válcovitosti, jak vyplývá z vyhodnocení, nespĺňuje většina měřených děr. Pokud bychom chtěli docílit požadované hodnoty válcovitosti, bylo by zapotřebí většího počtu testů s rozdílnými řeznými podmínkami a to nejen řezné rychlosti ale také posuvu.

V experimentu byly testovány tři nástroje od různých výrobců a to při stoupajících řezných rychlostech. Test nebylo možné vzhledem k malému počtu obrobků 2x opakovat a výsledky proto nebyly plnohodnotně statisticky vyhodnoceny. Přesto nám ukazují jisté funkční závislosti a je možné z nich vyvozovat závěry.

## 6 Technicko-ekonomické hodnocení

### 6.1 Hodnocení variant z ekonomického hlediska

Úkolem technicko-ekonomického hodnocení je snaha o vybrání nejvýhodnější varianty z hlediska funkčních ale i ekonomických parametrů. V současných ekonomických podmínkách je pro každou společnost stále obtížnější získat konkurenční výhodu a tím dosáhnout větších zisků než jiní výrobci. Abychom větších zisků dosáhli, je možné postupovat dvěma způsoby. Prvním z nich je snižování nákladů při udržení technické úrovně výroby. Tím druhým je naopak zvyšování technické úrovně výroby za udržení nákladů. [6]

Při každé výrobě je možné zvolit několik výrobních variant, kterými lze výrobní proces zefektivnit. Všechny tyto varianty mohou vést k požadovanému výsledku, ale každá z nich má jiné technické a ekonomické nároky a tedy i hospodárnost procesu. Díky velkému spektru parametrů by byl výběr kritérií pro vystružovací nástroj velice složitý. [6]

V této diplomové práci byly otestovány tři nástroje. Jak vyplývá z experimentů, použitím těchto nástrojů by mělo dojít ve společnosti GTW BEARINGS k zvýšení kvality výroby za snížení výrobních nákladů. Tento fakt je způsoben lepšími dosahovanými výsledky z hlediska kvality a větší životností nástroje, což je průnik mezi dvěma základními přístupy k zefektivňování výroby.

Hodnocení bylo provedeno pomocí párové analýzy a multikriteriálního hodnocení. Nejdříve provedeme ekonomické hodnocení. Dále vybereme technicko-ekonomická hodnotící kritéria. Těm poté přiřadíme váhu dle toho, které kritérium je pro nás nejdůležitější. Nakonec tyto hodnoty použijeme v multikriteriálním hodnocení a z navržených nástrojů vybereme ten nevhodnější.

### 6.2 Ekonomické hodnocení nákladů na základě vlastních nákladů výroby

Při porovnání vlastních nákladů výroby je důležité zvolit jednici (kus, dávka a další), ke které vztahujeme kalkulaci jednotlivých technologických variant. V našem případě byla použita cena na výrobu jedné díry.

Při vyčíslení nákladů bylo vycházeno z experimentu. Prvním položkou je hodinová sazba stroje. Jelikož budeme hodnotit celkovou cenu na díru, je potřeba zahrnout jak technologie výroby, tak technologie dokončování díry. Tento náklad je variabilní a závisí na délce výroby jednotlivého nástroje. Jako fixní náklady máme cenu nástrojů, tedy vrtáku a vystružníku. Cena srážecí nebyla započtena neboť opotřebení nástroje vlivem vystružování, nebylo takřka žádné. Základní cena vrtáku je podělena počtem nástrojů, protože vrták byl použit pro celý experiment pouze jeden.

Hodinová sazba stroje	800 [Kč/h]
Náklady na vrták	1530 [Kč]

$$N = FN + VN [Kč]$$

N	Náklady spojené s programováním při dané variantě
FN	Fixní náklady jsou brány jako náklady, které jsou spotřebovány na programování
VN	Variabilní náklady jsou brány jako náklady spojené délkou provozu stroje

Vlastní náklady výroby pro jednotlivé nástroje jsou vyčísleny v následujících tabulkách. Náklady se vztahují pouze na provedení experimentu a nejedná se o náklady pro nasazení v reálné výrobě.

### 6.2.1 Náklady výroby s nástrojem HAM-FINAL

Hodnota vlastních nákladů je vyčíslena v tabulce 6.1. Náklady na výstružník, doba trvání experimentu a počet obrobeneých děr, jsou uvedeny níže.

Doba trvání experimentu nástrojem HAM-FINAL	7 [hod]
Náklady na výstružník HAM-FINAL	5160 [Kč]
Vyrobený počet otvorů	200 [ks]

Tabulka 6.1 - Vlastní náklady výstružníku HAM-FINAL

Ukazatel	Původní stav
Fixní náklady (FN) [Kč]	$510 + 5\,160 = 5\,670$
Variabilní náklady (VN) [Kč]	$7 * 800 = 5\,600$
Celkové vlastní náklady [Kč]	$5\,670 + 5\,600 = 11\,270$
Vlastní náklady výroby na jednu díru [Kč]	$11\,270 / 200 = 56,35$

### 6.2.2 Náklady výroby s nástrojem BECK

Vlastní náklady výroby pro tento nástroj nalezeme v tabulce 6.2. Nad tabulkou je uvedena doba trvání experimentu, náklady na vystružovací nástroj a počet obrobeneých kusů.

Doba trvání experimentu nástrojem BECK	4 [hod]
Náklady na výstružník BECK	4 989 [Kč]
Vyrobený počet otvorů	120 [ks]

Tabulka 6.2 - Vlastní náklady výstružníku BECK

Ukazatel	Původní stav
Fixní náklady (FN) [Kč]	$510 + 4\,989 = 5\,499$
Variabilní náklady (VN) [Kč]	$4 * 800 = 3\,200$
Celkové vlastní náklady [Kč]	$5\,499 + 3\,200 = 8\,699$
Vlastní náklady výroby na jednu díru [Kč]	$8\,699 / 120 = 72,49$

### 6.2.3 Náklady výroby s nástrojem GÜHRING

Vlastní náklady výroby pro tento nástroj nalezeme v tabulce 6.2. Nad tabulkou je uvedena doba trvání experimentu, náklady na vystružovací nástroj a počet obrobeneých kusů.

Doba trvání experimentu nástrojem GÜHRING	7 [hod]
Náklady na výstružník GÜHRING	4 102 [Kč]
Vyrobený počet otvorů	270 [ks]

Tabulka 6.3 - Vlastní náklady výstružníku GÜHRING

Ukazatel	Původní stav
Fixní náklady (FN) [Kč]	$510 + 4\,102 = 4\,612$
Variabilní náklady (VN) [Kč]	$7 * 800 = 5\,600$
Celkové vlastní náklady [Kč]	$4\,612 + 5\,600 = 10\,212$
Vlastní náklady výroby na jednu díru [Kč]	$10\,212 / 270 = 37,82$

## 6.3 Procesní zhodnocení

V této části bude provedeno samotné technicko-ekonomické hodnocení jednotlivých výrobních variant. Úkolem procesního hodnocení je snaha vzájemně porovnat technické a ekonomické parametry z kapitoly 6.2.

Ukazatele slouží k popisu jednotlivých procesů tak, aby bylo jasné, podle jakých kritérií je daný proces hodnocen. Každý ukazatel má své jednoznačné jméno a náplň, která je definována jako veličina ukazatele, hodnoty a jednotky. Důležitým bodem je, že každý ukazatel musí mít určitou vypovídací hodnotu. [6]

Prvním krokem je výběr hodnotících ukazatelů. Ty poté vyhodnotíme dle důležitosti pomocí párové analýzy. Nakonec tyto hodnoty použijeme v multikriteriálním hodnocení a vyhodnotíme nejlepší z navržených variant.

### 6.3.1 Výběr hodnotících ukazatelů

Jako kritérium je možné zvolit takřka jakýkoliv aspekt daného problému. Kritéria neboli ukazatele mohou být z pohledu ekonomického, technického, bezpečnostního nebo designu. V našem případě byly zvoleny následující ukazatele.

**ŘEZNÁ RYCHLOST** – jeden z parametrů produktivity je řezná rychlost, která určuje spolu s posuvovou rychlostí čas výroby jednoho otvoru. Protože při testování se rychlost u nástrojů měnila, byla zvolena nejvyšší řezná rychlost, při které se dá proces označit za spolehlivý.

**OTÁČKOVÝ POSUV** – druhý parametr určující čas výroby je posuv na otáčku. Také zde jsou použité hodnoty posuvu, při kterých byl proces spolehlivý.

**DOSAŽENÁ DRSNOST  $R_a$**  – při dokončovací operaci je parametr drsnosti vždy důležitý. Protože byly průběhy drsnosti kolísavé, byla vyhodnocena průměrná drsnost  $R_a$

**DOSAŽENÁ DRSNOST  $R_z$**  – stejným způsobem byla vyhodnocena také drsnost  $R_z$ . Jako druhý parametr kvality povrchu.

**DOSAŽENÁ PŘESNOST** – jedná se o rozměrovou přesnost otvoru, kterou byl nástroj schopný udržet po dobu experimentu. Vyhodnocená bylo provedeno dle kapitoly 5.2.

**VÁLCOVITOST** – tento ukazatel nám udává geometrickou kvalitu obrobené díry. Byla vyhodnocena dle dat z grafu v kapitole 5.3.

**VLASTNÍ NÁKALDY VÝROBY** – jedná o jediný ekonomický ukazatel. Toto kritérium však postihuje nejen cenu nástrojů ale především efektivitu vystružování a je tedy pro naši práci zcela zásadní. Hodnoty vychází z ekonomického hodnocení z kapitoly 6.2.

**SPOLEHLIVOST** – tento ukazatel vyjadřuje míru spolehlivosti při experimentu. Jestliže jeden nástroj nevydržel celý experiment, bylo třeba zahrnout tento ukazatel pro objektivitu hodnocení.

### 6.3.2 Párová analýza

Nástroj, který použijeme pro seřazení ukazatelů, je párová analýza. Takto seřazeným ukazatelům přiřadíme váhy, které se používají pro hodnocení výrobních variant. Všechna kritéria se vzájemně porovnají a u každé dvojice se rozhodne, která je pro nás důležitější, ta získá číselnou hodnotu 1 a naopak.

Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

Po vyplnění celé tabulky se v každé řádce sečtou hodnoty v políčkách. Tímto nám vznikne seřazená skupina kritérií od nejdůležitějšího až po kritérium, které je pro nás nejméně důležité.

**Tabulka 6.4 - Párová analýza ukazatelů**

	Řezná rychlost	Otáčkový posuv	Drsnost Ra	Drsnost Rz	Dosažená přesnost	Válcovitost	Vlastní náklady	Spolehlivost	Pořadí	Váha
Řezná rychlost	X	1	1	1	0	1	0	0	4	5
Otáčkový posuv	0	X	1	1	0	1	0	0	5	4
Drsnost Ra	0	0	X	0	0	1	0	0	7	2
Drsnost Rz	0	0	1	X	0	1	0	0	6	3
Dosažená přesnost	1	1	1	1	X	1	0	1	2	7
Válcovitost	0	0	0	0	0	X	0	0	8	1
Vlastní náklady	1	1	1	1	1	1	X	1	1	8
Spolehlivost	1	1	1	1	0	1	0	X	3	6

### 6.3.3 Multikriteriální hodnocení variant

Abychom byli schopni vybrat variantu, která je z technicko-ekonomického pohledu nejvhodnější, bylo provedeno multikriteriální hodnocení variant. Hodnoty jednotlivých ukazatelů pro konkrétní nástroje jsou uvedeny v následující tabulce 6.5.

**Tabulka 6.5 – Hodnocení kritérií pro jednotlivé varianty.**

	HAM-FINAL	BECK	GÜHRING
Řezná rychlost [m/min]	230	225	300
Otáčkový posuv [ot/min]	0,5	1,2	1,2
Drsnost Ra [μm]	0,462	0,459	0,235
Drsnost Rz [μm]	4,648	3,622	1,794
Dosažená přesnost	dobrá	dobrá	velmi dobrá
Válcovitost [μm]	11,6	14	15,2
Vlastní náklady [K4]	56,35	72,49	37,82
Spolehlivost [%]	100	50	100

Pro dané kritérium se každé variantě přiřadí hodnota od 10 do 100 bodů dle hodnot z tabulky 6.5. Tyto hodnoty se poté vynásobí váhou kritéria. Výsledná hodnota užitečnosti je dána součtem bodového hodnocení vynásobené váhou každého kritéria.

Pro lepší přehlednost výsledků se uvádí hodnota relativní užitečnosti. Tedy užitečnost vydělená hodnotou ideální varianty, která má maximální hodnotu. Toto číslo vynásobíme 100 a máme procentuální hodnotu relativní užitečnosti.

Tabulka 6.6 - Vyhodnocení nástrojů pomocí multikriteriální analýzy

Kritéria	Pořadí	Váha	HAM-FINAL		BECK		GÜHRING	
			prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota	prostá hodnota	vážená hodnota
Řezná rychlost	4	5	70	350	60	300	100	500
Otáčkový posuv	5	4	40	160	100	400	100	400
Drsnost Ra	7	2	70	140	70	140	95	190
Drsnost Rz	6	3	65	195	80	240	95	285
Dosažená přesnost	2	7	75	525	75	525	90	630
Válcovitost	8	1	100	100	70	70	50	50
Vlastní náklady	1	8	55	440	35	280	85	680
Spolehlivost	3	6	100	600	50	300	100	600
Výsledná hodnota užítivosti	Celkem: $36 * 100 = 3600$		2510		2255		3335	
Relativní užítivost variant [%]			69,72		62,63		92,63	

**Shrnutí:** Jak je patrné z výsledků multikriteriální analýzy, efektivnějším nástrojem, který byl testován v rámci experimentu, je výstružník GÜHRING. Tento výsledek je zapříčiněn především nízkými vlastními náklady a vysokými řeznými podmínkami. Jako druhý nástroj experimentu vyšel výstružník HAM-FINAL s relativní užítivostí cca 70%. Zde jsou nižší hodnoty řezných podmínek a nástroj také dosahoval horších výsledků u kvality povrchu než nástroj GÜHRING, ale spolehlivost nástroje a také válcovitost díry je velice dobrá. I tak je výsledek výstružníku HAM-FINAL nadprůměrný. Nejhuře z multikriteriální analýzy vychází vystružovací nástroj BECK, který dosáhl sice obdobných výsledků drsnosti jako výstružník HAM-FINAL, ale spolehlivost nástroje byla značně snížena vzhledem k destrukci.

Všechny testované nástroje splnily předpoklady co se týče přesnosti a kvality obrobene díry. Dá se předpokládat, že při nasazení ve společnosti GTW BEARINGS by došlo použitím jednoho z testovaných nástrojů k zefektivnění operace vystružování. Tento předpoklad by bylo nutné ověřit praktickým testem, na který bohužel v rámci magisterského studia nebyl dostatek času.



## 7 Závěr

V předložené diplomové práci je řešena problematika moderního efektivního vystružování a to především z pohledu použitého nástroje. Tato osová operace s jednodušší kinematikou a definovanou geometrií břitu není, zcela triviální. Obzvláště pokud požadujeme vysokou kvalitu a produktivitu práce.

Diplomová práce je rozdělena na dvě základní části. V první části jsou teoretické znalosti procesu vystružování. Tento proces je rozebírán především z pohledu nástroje a dalších vlivů, které ovlivňují soustavu S-N-O-P a to především ze strany nástroje. V druhé kapitole je teoreticky rozebráno efektivní vystružování a také okruh jeho největšího uplatnění.

V praktické části práce byla analyzována díra v tělese ložiska, vyráběné ve společnosti GTW BEARINGS. Dále byl, na základě výsledků z měření díry ve společnosti GTW BEARINGS, navrhnout experiment se třemi produktivními nástroji od renomovaných výrobců. Pro experiment byly zvoleni výrobci BECK, GÜHRING a HAM-FINAL. Test byl proveden, změřen a vyhodnocen, na základě výsledků. Bylo provedeno technicko-ekonomické hodnocení zvolených nástrojů.

V úvodu byly stanoveny cíle, kterých jsme se při vypravování práce snažily dosáhnout. Splněné cíle jsou uvedeny v následující výčtu:

- ✓ rozbor vystružovacího nástroje a konstrukčních řešení
- ✓ rozbor přímých vlivů, které ovlivňují proces obrábění.
- ✓ rozboru moderních výstružníků, jejich konstrukčními typy a předními světovými výrobci.
- ✓ zmapovat současný stav výroby daného otvoru a vyhodnotit výsledky výchozí technologie.
- ✓ naplánovat a provést experiment,
- ✓ vyhodnotit výsledky experimentu a vyhodnotit efektivitu zvolených nástrojů

Vzhledem k nedostatku času nebyl splněn následující cíl:

X odzkoušet testované nástroje v reálné výrobě.

Každý z testovaných nástrojů by měl pro obrábění ve společnosti GTW BEARINGS určitý přínos. Všechny nástroje dodržují požadovanou přesnost a u nástrojů BECK a GÜHRING došlo k podstatnému zmenšení rozptylu naměřených průměrů. Testované nástroje podstatně zvýšily kvalitu povrchu a to nejen parametr Ra ale především drsnost Rz. Výrazně by se také zvýšila produktivita vystružování a to při užití všech třech nástrojů. Výstružníky GÜHRING a HAM-FINAL také dosáhli daleko lepší životnosti.

Jediný měřený parametr, který nástroje nespĺnily jen válcovitost. Tento parametr měl nejlepší výstružník od HAM-FINAL. Tento parametr ovšem není při výrobě GTW BEARINGS hodnocen a nebylo tedy možné porovnat, zda došlo k nějaké změně výsledků oproti výchozímu stavu.

Na základě vyhodnocení uvedenému v této diplomové práci by bylo nejvýhodnějším řešením použití nástroje GÜHRING, který nejlépe splňoval jak kvalitu povrchu tak produktivitu a také ekonomiku procesu. Ostatní nástroje v některých parametrech nedosahují zmíněného nástroje GÜHRING. Všechny nástroje by zvýšily kvalitu a produktivitu, ale jednotlivá řešení by bylo nutné ověřit praktickými testy, na které při této diplomové práci nebyl dostatek času.

## 8 Literatura:

- [1] SOVA, František. *Technologie obrábění a montáže*. Vyd. 2. Plzeň: Západočeská univerzita, Strojní fakulta, 1998, 273 s. ISBN 80-708-2449-2.
- [2] Elektronické informační zdroje dostupné z [www.knihovna.zcu.cz](http://www.knihovna.zcu.cz)
- [3] Internetové stránky spol. HAM-FINAL [online]. 2012 [cit. 2014-5-27]. Dostupné z: <http://www.ham-final.cz/>
- [4] TECHNIK, Radim. *VYSTRUŽOVACÍ NÁSTROJE S BRITY Z CERMETU A*. Brno, 2009. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/9340>. Diplomová práce. VÚT v Brně. Vedoucí práce Ing. Karel KOUŘIL, Ph.D.
- [5] KOMET GROUP GMBH. *Katalog nástrojů: Vystružovací nástroje*. [online]. 2008 [cit. 2014-05-28] Besigheim Dostupné z: <http://www.kometgroup.com/pdf/dihart-cz.pdf>
- [6] KLEINOVÁ, Jana. *Ekonomické hodnocení výrobních procesů*. 1. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2005, 88 s. ISBN 80-704-3364-7
- [7] Internetové stránky spol. AUGUST BECK GMBH & CO. KG. [online]. 2014 [cit. 2013-12-04]. Dostupné z: <http://www.august-beck.de/>
- [8] TUMLIKOVO. Metal cutting technologies [online]. 2010. vyd. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/geometrie-nastroju/geometrie-vystruzniku/>
- [9] SANDVIK Coromant, Sandviken: Technická příručka obrábění, dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/>
- [10] Katalog nástrojů *HR 500: GUHRING* [online]. 2013 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://www.guhring.com/Documents/Catalog/Reamers/HR500.pdf>
- [11] ING. AMBROŽ, Pavel. Upínače stopkových nástrojů. [online]. 2008 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/upinace-stopkovych-nastroju.html>
- [12] WINTER SERVIS. Princip silově deformačního upínače - Tribos [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: [http://www.winter-servis.cz/index.php?page=schunk/n\\_tribos](http://www.winter-servis.cz/index.php?page=schunk/n_tribos)
- [13] Katalog Presentation RB03, RB08. spol BECK 2009 [CD-ROM]
- [14] NEPRÁŠEK, Martin. Technologie výroby vysoce přesných otvorů vystružováním. Plzeň, 2013. Dostupné z: [https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/10247/DP\\_Neprasek\\_Technologie%20vyroby%20vysoce%20presnych%20otvoru%20vystruzovanim.pdf?sequence=1](https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/10247/DP_Neprasek_Technologie%20vyroby%20vysoce%20presnych%20otvoru%20vystruzovanim.pdf?sequence=1). Diplomová práce. ZČU v Plzni. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan ŘEHOŘ, Ph.D.
- [15] Katalog nástrojů: Mehrschneidenreibahlen und Senker. AUGUST BECK GMBH & CO. KG. 2012. vyd. Winterlingen.
- [16] Internetové stránky spol. SANDVIC COROMANT. [online]. 2014 [cit. 2014-5-27]. Dostupné z: [http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/products/reamer\\_830/Pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/products/reamer_830/Pages/default.aspx)
- [17] Internetové stránky spol. MAPAL. [online]. 2013 [cit. 2014-5-27]. Dostupné z: <http://www.mapal.com/cz>
- [18] Internetové stránky spol. KOMET GROUP. [online]. 2011 [cit. 2014-5-27]. Dostupné z: <http://www.kometgroup.com/kometgroup/dihart.html>
- [19] Internetové stránky spol. SECO TOOLS. [online]. 2013 [cit. 2014-5-27]. Dostupné z: <http://www.secotools.com/>

Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

[20] Internetové stránky spol. GÜHRING. [online]. 2013 [cit. 2014-5-27]. Dostupné z: <http://www.guhring.cz/>

[21] *Vyvrtávání*. [online] AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. Main catalogue 2009, [cit.5.5.2009]. Dostupné z: <[http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/MC\\_2009\\_Klick\\_CZE\\_F.pdf](http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/MC_2009_Klick_CZE_F.pdf)>.

[22] Internetové stránky spol. SENDVIC COROMANT. [online]. 2012 [cit. 2014-5-27]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/pages/default.aspx?country=cz>

[23] Katalog nástrojů BAYO T-REAM spol. ISCAR .[online]. 2014[cit. 2014-05-28]. Dostupné z:<http://www.iscar.cz/Products.aspx/CountryId/6/ProductId/64>

[24] ŘEHOŘ, Jan, Karel KOUŘIL, Luboš KROFT a Josef SKLENIČKA. *Trendy v konstrukci výstružníků, 2014*.

[25] KOVAŘÍK. *Vyvažování rotačních nástrojů*. Plzeň, 2011. <http://theses.cz/id/yb68da/?furl=%2Fid%2Fyb68da%2F;lang=en> Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Miroslav Zetek, Ph.D.

[26] FIALA, Stanislav, KOUŘIL, Karel, ŘEHOŘ, Jan., a kol. Výzkum a vývoj vysoce přesných produktivních řezných nástrojů nové generace s využitím inovativních technologií a progresivních materiálů. Průběžná zpráva k projektu TA02010236 za rok 2012, HAM-FINAL s.r.o., Brno, 2012

[27] BOHDAN BOLZANO S.R.O. [online]. 2014. vyd. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z:<http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-zuslechtovani-podle-en-10083-1/prehled-vlastnosti-oceli-c45>

[28] ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE PŘI VUT BRNO. [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z:[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze\\_modelu\\_soubory/ocel\\_12050.3.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_12050.3.pdf)

[29] RAUSCHER, Michael. Mit neuer Sortiments- und Service- Strategie näher am Kunden. Dostupné z: [http://www.industrie-schweiz.ch/html/komet-dihart\\_reibwerkzeuge.html](http://www.industrie-schweiz.ch/html/komet-dihart_reibwerkzeuge.html)

[30] HEADLAND. Horizontal, Vertical and 5-axis CNC Machining Centres. [online]. [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://www.headland.com.au/machinery/cnc-machine-tools/machining-centres/>

[31] Katalog MAHR .Praktické a přesné přístroje pro mobilní měření drsnosti: 2014. Dostupné z: [www < http://www.micrates.cz/Mahr/drsnomery-Ma.pdf](http://www.micrates.cz/Mahr/drsnomery-Ma.pdf)

[32] MAHR. Electrical Length Measuring Instruments:2005. Dostupné z: <http://www.mahr.com/scripts/relocateFile.php?ContentID=1210&NodeID=5873&FileID=3259&ContentDataID=1504&save=0>

[33] Katalog nástrojů spol. OSG. [online]. 2011[cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://www.clarkson.cz/files/vrtaky%20osg.pdf>

[34] Gühring VHM-Reibahle HR 500 GUSS. [online]. 2012 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://www.io-journal.de/guehring-vhm-reibahle-hr-500-guss/>

[35] DVOŘÁK, Luděk. Nástroje pro vystružování otvorů. [online]. 2008 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nastroje-pro-vystruzovani-otvoru.html>

[36] QUALITY CONTROL TECHNOLOGY LTD. *LK G90C 876 CNC Co-ordinate Measuring Machine*. 2009. Dostupné z: <http://www.cmmsales.co.uk/documents/LK%20G90C%20876.pdf>

**PŘÍLOHY DIPLOMOVÉ PRÁCE**  
**Produktivní vystružování moderními výstružníky I.**

## Obsah:

Příloha č. 1	Výrobní výkres zadané součásti .....	volná příloha
Příloha č. 2.	Záznam z měření v GTW BEARINGS .....	P3
Příloha č. 3.	Převodová tabulka mezi hodnotami drsností Ra a Rz. ....	P6
Příloha č. 4.	Vzduchový měřicí přístroj Milipneu S 1840 .....	P8
Příloha č. 5.	Drsnoměr Marsurf M300 od MAHR.....	P10
Příloha č. 6.	Dílenský mikroskop Multicheck PC 500.....	P12
Příloha č. 7.	MAKINO A51NX .....	P14
Příloha č. 8.	MCV 750A .....	P16
Příloha č. 9.	Detailní rozbor chemického složení a mechanických a technologických vlastností u zvolených obráběných materiálů .....	P18
Příloha č. 10.	Výkres návrhu experimentu .....	P21
Příloha č. 11.	Hodnoty díry obrobené nástrojem HAM-FINAL .....	P23
Příloha č. 12.	Hodnoty díry obrobené nástrojem BECK.....	P28
Příloha č. 13.	Hodnoty díry obrobené nástrojem GÜHRING .....	P32
Příloha č. 14.	Obrazový záznam z měření nástrojů používaných ve společnosti GTW .	P36
Příloha č. 15.	3D měřicí stroj LK G-90c .....	P39

## **PŘÍLOHA č. 2**

### **Záznam z měření v GTW BEARINGS**

Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

- Výkres viz příloha 1
- Otvor je vyroben dle následujícího technologického předpisu:
  1. Vrtání monolitní vrtákem z SK o průměru  $\varnothing 9,8$  [mm]. Vrtá se do hloubky 15,5 [mm], bez vyplachování. Nástroj má otáčky  $n = 3000$  ot/min a posuvovou rychlost  $v_f = 450$  mm/min. Chladicí kapalina je přiváděna středem nástroje.
  2. Výroba zahloubení  $\varnothing 17$  [mm] do hloubky 7 [mm]. K zahloubení je použita fréza ze slinutého karbidu  $\varnothing 10$  mm. Použité řezné podmínky: otáčky  $n = 3000$  [ot/min], posuvová rychlost  $v_f = 300$  [mm/min]. Nástroj je chlazen z vnějšku.
  3. Následnou operací je sražení hran  $0,5 \times 45^\circ$ . K této operaci je použit srážecí hran z SK o průměru  $\varnothing 16$  [mm]. Použitá posuvová rychlost  $v_f = 150$  [mm/min] při otáčkách  $n = 3000$  [ot/min]. Srážení je prováděno za vnějšího chlazení.
  4. Konečnou operací výroby je vystružení otvoru  $\varnothing 10H7 \times 8,5$  [mm] je vystružování. Zde je použit monolitní výstružník z rychlořezné oceli. Nástroj má 6 zubů a řezné podmínky jsou: otáčky  $n = 200$  [ot/min], posuvová rychlost  $v_f = 50$  [mm/min]. Vystružování je prováděno za vnějšího chlazení a bez výplachu.



Obrázek P.1 - Těleso ložiska a tryska

Číslo testu	Průměr díry + tolerance		Typ výstružníku		Číslo součásti/počet
	10 H7 (0;+015)		Šesti-břity monolitní výstružník z HSS		Součásti
Číslo díry	Hloubka 5,5 [mm]		Aritmetický průměr	Ra	Rz
Součást 1	$D_{1min}$	$D_{1max}$			
1	10,014	10,017	10,0155	2,575	13,25
2	10,012	10,012	10,012	2,006	12,4
3	10,006	10,008	10,007	0,299	3,4
4	10,001	10,003	10,002	0,474	4,71
5	10,004	10,006	10,005	1,686	12,53
Součást 2	X	X	X	X	X
1	10,004	10,007	10,0055	1,321	10,92
2	10,005	10,006	10,0055	0,586	3,851
3	10,003	10,005	10,004	0,393	2,726
4	10,008	10,010	10,009	1,049	6,870

## Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

5	10,005	10,007	10,006	0,519	4,113
Součást 3	X	X	X	X	X
1	10,005	10,006	10,0055	0,692	5,810
2	10,004	10,005	10,0045	0,847	6,665
3	10,004	10,005	10,0045	0,830	7,818
4	10,005	10,006	10,0055	0,617	14,02
5	10,003	10,005	10,004	0,867	7,338
Součást 4	X	X	X	X	X
1	10,005	10,006	10,0055	1,312	8,256
2	10,003	10,006	10,0045	1,620	14,69
3	10,005	10,006	10,0055	1,397	9,046
4	10,005	10,007	10,006	0,850	6,072
5	10,005	10,006	10,0055	0,872	6,594
Součást 5	X	X	X	X	X
1	10,004	10,006	10,005	0,588	11,61
2	10,015	10,019	10,017	2,159	11,95
3	10,015	10,016	10,0155	1,786	9,325
4	10,013	10,018	10,0155	1,968	10,65
5	10,004	10,006	10,005	0,627	2,569
Součást 6	X	X	X	X	X
1	10,015	10,018	10,0165	2,040	15,25
2	10,014	10,016	10,015	1,956	9,566
3	10,008	10,009	10,0085	1,215	6,791
4	10,008	10,010	10,009	1,423	6,959
5	10,011	10,013	10,012	1,589	8,887
Součást 7	X	X	X	X	X
1	10,026	10,028	10,027	1,577	13,24
2	10,024	10,029	10,0265	2,002	19,77
3	10,026	10,028	10,027	2,218	16,49
4	10,014	10,021	10,0175	1,932	16,10
5	10,017	10,026	10,0215	1,694	13,75
Součást 8	X	X	X	X	X
1	10,013	10,024	10,0185	1,603	9,63
2	10,011	10,015	10,013	1,137	8,94
3	10,012	10,016	10,014	0,882	8,252
4	10,003	10,004	10,0035	0,511	6,25
5	10,004	10,006	10,005	0,518	8,887

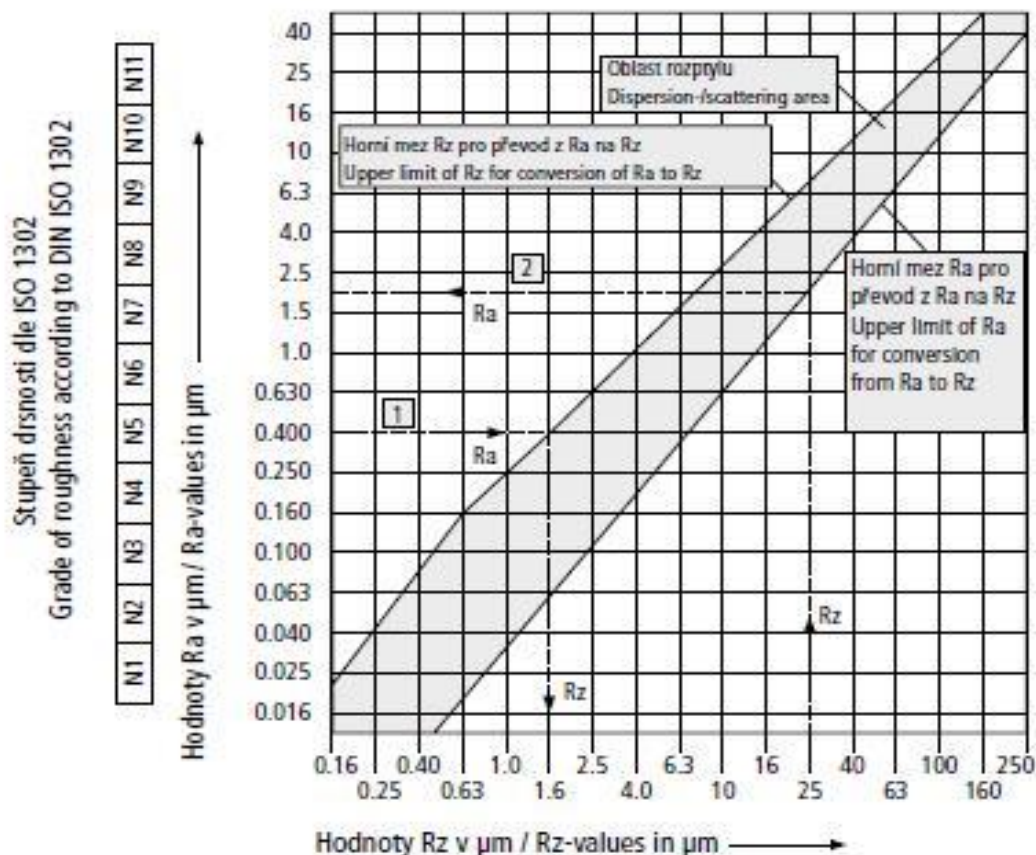


### **PŘÍLOHA č. 3**

## **Převodová tabulka mezi hodnotami drsností Ra a Rz.**

Tabulka je použita ze zdroje [5].

### Vztahy pro přepočty mezi Ra a Rz podle DIN 47 Conversion-relations between Ra and Rz according to DIN 47



**Příklad odečítání: 1**

Má-li být střední úchyłka profilu Ra = 0,4 μm převedena na srovnatelnou průměrnou hloubku drsnosti Rz, tak lze předpokládat, že hodnotě Ra = 0,4 μm odpovídá Rz = 1,6 μm.

**Reading example: 1**

If the middle roughness value Ra = 0,4 μm has to be converted into a comparable average rime depth Rz, it can be assumed that Rz = 1,6 μm corresponds with the value of Ra = 0,4 μm.

**Příklad odečítání: 2**

Má-li být naproti tomu průměrná hloubka drsnosti Rz = 25 μm převedena na srovnatelnou střední úchyłku profilu Ra, lze předpokládat, že hodnotě Rz = 25 μm odpovídá Ra = 2 μm.

**Reading example: 2**

If, however, the average rime depth Rz = 25 μm has to be converted into a comparable middle roughness value Ra, it can be assumed that Ra = 2 μm corresponds with the value of Rz = 25 μm.

## **PŘÍLOHA č. 4**

### **Vzduchový měřicí přístroj Milipneu S 1840**



Obrázek P.2 - Milipneu S 1840 [32]

<b>Analogový ukazatel</b>	101 LED kontrolky, 3 barvy
<b>Zobrazení měřené hodnoty</b>	7-mi místný LCD
<b>Rozsahy zobrazení</b>	±10,30, 100, 300, 1000, 3000, 10000 [μm]
<b>Zobrazení tolerance</b>	změnou barvy analogového ukazatele
<b>Doba odezvy:</b>	
<b>Měřená hodnota</b>	0,008 s
<b>Analogový ukazatel</b>	0,02 s
<b>Výstupy</b>	0,02 s
<b>Mezní chyby:</b>	
<b>Desítkový stupnicový ukazatel</b>	1% (101 LED)
<b>Číslicový ukazatel</b>	1% (101 LED)
<b>Teplotní koeficient</b>	±0,005% /°C
<b>Rozsah provozní teploty</b>	0°C až 45°C
<b>Parametry měřidla:</b>	
<b>Rozměry</b>	cca 487 x 47 x 144 mm
<b>Hmotnost</b>	cca 1,4 kg



Obrázek P.3 - Měření rozměru vzduchovým kalibrem

## **PŘÍLOHA č. 5**

### **Drsnoměr Marsurf M300 od MAHR**



Obrázek P.4 – Drsnomě MAHR [31]

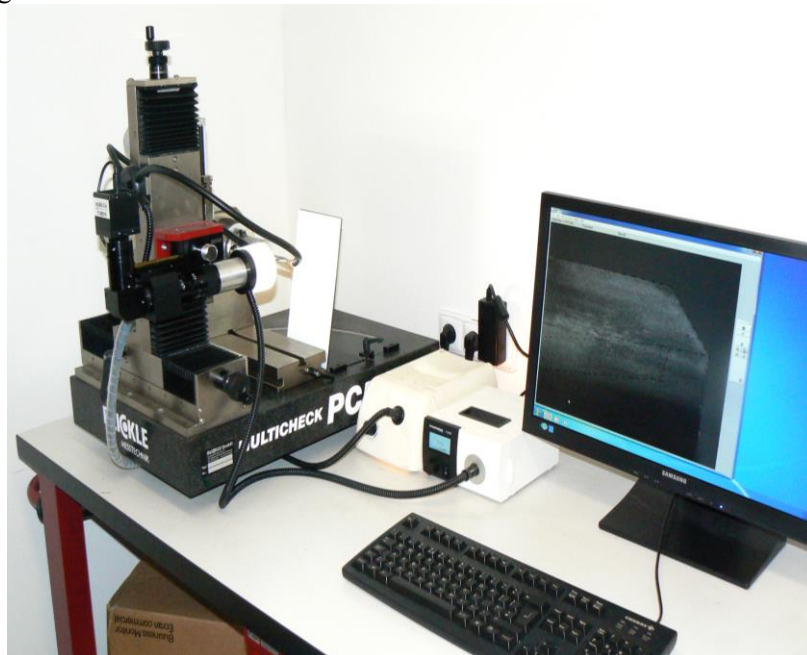
Měřicí princip:	profilová metoda
Rychlost snímání:	0,5 mm/s
Rozsah měření:	350 $\mu\text{m}$
Rozlišení profilu:	90 $\mu\text{m}$ 180 $\mu\text{m}$ 350 $\mu\text{m}$ (aut. přepnutí)
Snímané délky dle DIN/ISO/ASME/JIS:	75 mm, 5,6 mm, 17,5 mm
Parametry:	Ra, Rq, Rz, Rmax, Rp, Rpk, Rk, Rvk, Rv
Teplotní rozsah pro práci:	+5C° až +40C°
Teplotní rozsah pro skladování:	-15C° až + 55C°
Rozměry(d x š x v):	190 x 70 x 75 mm
Hmotnost:	cca 1 kg



Obrázek P.5 - Měření drsnosti drsnoměrem A 300

## **PŘÍLOHA č. 6**

### **Dílenský mikroskop Multicheck PC 500**



Obrázek P.6 - Multicheck PC 500

Rozsah v ose x	0 – 150 mm
Rozsah v ose y	0 – 150 mm
Počet vyměnitelných objektivů	4
Zvětšení vyměnitelných objektivů	10x, 30x, 75x, 150x
Hodnocení měřených veličin	software WMS



**PŘÍLOHA č. 7**

**MAKINO A51NX**



**Obrázek P.7 - Horizontální centrum Makino A51NX [30]**

- Výrobce stroje:	Makino
- Typ stroje:	A51NX
- Výkon motoru [N]:	302
- Rozsah otáček n [ot/min]:	14 000
- Rozsah pracovních posuvů [mm/min]:	50 000
- Poloha vřetene:	Horizontální
- Upínací kužel:	HSK63A
- Přívod chladicí kapaliny:	Vnitřní + vnější
- Tlak vnitřního chlazení [bar]	20

**PŘÍLOHA č. 8**

**MCV 750A**



Obrázek P.8 - Výrobní stroj MCV 750A

- Druh	Vertikální obráběcí centrum
- Typ	MCV 750A
- Počet NC řízených os	3
- Jmenovitý výkon vřetena [kW]	16
- Rozsah otáček [ot/min]	20 – 13000
- Pojezd v ose X, Y, Z	plynulá
- Rozměry upínacího stolu [mm]	750, 500, 500
- Pracovní posuv v ose X, Y, Z [mm/min]	1 – 15000
- Rychloposuv v ose X, Y, Z [mm/min]	25000
- Řídicí systém	Heidenhain TNC 426
- Tlak vnitřního chlazení [bar]	17

## **PŘÍLOHA č. 9**

### **Detailní rozbor chemického složení a mechanických a technologických vlastností u zvolených obráběných materiálů**

Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

**GG25** – je označení pro šedou lupínkovou litinu. Dle normy DIN EN 1561 se materiál označuje jako EN-GJL-250. Jedná se o litinu s dobrou kombinací pevnosti a tvrdosti. Materiál velmi dobře tlumí chvění je dobře obrobiteľný, ale obtížně se svařuje. Univerzálně použitelný materiál pro strojní součásti jako jsou válce motoru, ozubená kola nebo lože obráběcích strojů.

Chemické složení: C = 2,9 – 3,3%; Si = 1,2 – 2,9%; Mn = 0,4 – 1,2%; P ≤ 0,3%; S ≤ 0,1% a další jako Cr; Ni.

Mechanické vlastnosti:

- Tvrdost = 150 – 250 HB
- Mez pevnosti v tahu  $R_m = 250 – 350$  [MPa]
- Tažnost A = 0,3 – 0,8 %

Technologické vlastnosti:

- Obrobiteľnost – dobrá
- Svařitelnost – obtížná
- Odolnost proti opotřebení - velmi dobrá

**GGG60** – tvárná litina která se dle normy DIN EN 1561 označuje jako EN-GJS-600. Materiál se ztíženou obrobiteľností, vysokou otěruvzdorností a velmi dobrou leštitelností je nejvíce používán k výrobě dynamicky a otěrem namáhaných součástí jako klikové a vačkové hřídele nebo pístní kroužky.

Chemické složení: C = 3,4 – 3,85%; Si = 2,3 – 3,1%; Mn = 0,1 – 0,35%; P ≤ 0,05%; S ≤ 0,01%; Cu = až 0,8%; Mg = 0,045 – 0,065%.

Mechanické vlastnosti:

- Tvrdost = až 260 HB
- Mez pevnosti v tahu  $R_m = 600 – 750$  [MPa]
- Mez pevnosti v tahu  $R_{p0,2} = 370 – 480$  [MPa]
- Tažnost A = 3 – 8 %

Technologické vlastnosti:

- Obrobiteľnost – středně obrobiteľná
- Svařitelnost – velmi obtížná (pouze se speciálními elektrodami)
- Odolnost proti opotřebení – dobrá

**11 373.1** – konstrukční uhlíková ocel ve stavu normalizačně žíhaném. Materiál je možné také najít pod označením dle DIN jako USt37-2 nebo dle EN 10027 jako 1.0036. Neušlechtilá konstrukční ocel obvyklé jakosti vhodná pro staticky a mírně dynamicky namáhané součásti jako jsou potrubí nebo svařované konstrukce.

Chemické složení: C = max 0,17%; P = max 0,035%; S = max 0,035% a Ni = max 0,007%.

Mechanické vlastnosti:

- Tvrdost = až 235 HB
- Mez pevnosti v tahu  $R_m = 510$  [MPa]
- Mez pevnosti v tahu  $R_e = 220$  [MPa]
- Tažnost A = 26%
-

Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

Technologické vlastnosti:

- Obrobitelnost – velmi dobrá
- Svařitelnost – zaručená
- Odolnost proti opotřebení - nízká

**15 246** – slitinová chrom – molybden – vanadová ocel. Dle DIN se označuje jako 30CrMoV9. Ocel vhodná ke kalení a popouštění se používá především v automobilovém průmyslu a klikové hřídele a jiné namáhané součásti. Také je možné je materiál použít na vysokotlaké trubky, součásti parních turbín a jiné součásti namáhané a tepla.

Chemické složení: C = 0,27 - 0,34%; Si = max 0,40 %; Cr = 2,3 – 2,7%; Mo = 0,15 – 0,25%; V = 0,10 – 0,20%

Mechanické vlastnosti:

- Tvrdost = až 248 HB
- Mez pevnosti v tahu  $R_m$  = max 1450 [MPa]
- Mez pevnosti v tahu  $R_{p0,2}$  = min 1050 [MPa]
- Tažnost A = min 9 %

Technologické vlastnosti:

- Obrobitelnost – vcelku dobrá
- Svařitelnost – zaručená
- Odolnost proti opotřebení – vysoká

**17 240** – austenitická korozivzdorná ocel s označením dle DIN jako x5CrNi 18 – 10. Patří do skupiny nepoužívanějších korozivzdorných ocelí a to zejména díky své vysoké korozní odolnosti. Používají se např. na nádoby pro cementaci ocelí, součásti sklářských pecí, atd.

Chemické složení: C = 0,07%; Cr = 17 - 19%; Ni = 8 - 10 %; Mn = max 2%; Si = max 1%; P = max 0,045%; S = max 0,015%; N = max 0,11%

Mechanické vlastnosti (ve stavu normalizačně žíhaném):

- Tvrdost = až 215 HB
- Mez pevnosti v tahu  $R_m$  = 540 – 750 [MPa]
- Mez pevnosti v tahu  $R_{p0,2}$  = min 215 [MPa]
- Tažnost A = min 45 %

Technologické vlastnosti:

- Obrobitelnost – těžko obrobitelná
- Svařitelnost – středně obtížná
- Odolnost proti opotřebení - vysoká

**19 312** – nízkolegovaná mangan – chrom – vanadová nástrojová ocel označovaná dle normy DIN jako 90MnCrV8. Materiál má kromě zlepšené houževnatosti také velmi dobrou rozměrovou stálost. Nízko legovaná ocel vhodná ke kalení v oleji. Materiál je primárně určen pro nástroje pracující za studena, jako jsou formy pro lisování umělých hmot, závitorezech nástrojů nebo měřidla.

Chemické složení: C = 0,75-0,85%; Mn = 1,85 – 2,15%; Si = 0,15-0,35% ; Cr = max 0,25%; Ni = max 0,35%; V = 0,1 – 0,2%; P = max 0,03%; S = max 0,035%;

Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

Mechanické vlastnosti:

- Tvrdost = max 230 HB
- Tvrdost po zušlechtění 62 HRC
- Mez pevnosti v tahu  $R_m = \min 735$  [MPa]
- Mez pevnosti v tahu po zušlechtění  $R_m = \min 2450$  [MPa]

Technologické vlastnosti:

- Obrobitelnost – dobrá
- Svařitelnost – zaručená
- Odolnost proti opotřebení – dobrá

**42 4230 - Al-Si 12** – jedná se o siluminovou eutektickou slitinu hliníku, křemíku a dalších přísadových prvků. Dle DIN je materiál označován jako EN AW-4047A. Materiál je vhodný pro použití v leteckém a automobilovém průmyslu.

Chemické složení: Si = 12%; Fe = 0,6%; Mn = 0,15%; Cu = 0,05%; Ti = max. 0,15%; a další prvky dle konkrétní normy.

Mechanické vlastnosti:

- Mez pevnosti v tahu  $R_m = 125 - 180$  [MPa]
- Mez pevnosti v tahu  $R_{p0,2} = 70 - 85$  [MPa]
- Tažnost A = 15 – 30 %

Technologické vlastnosti:

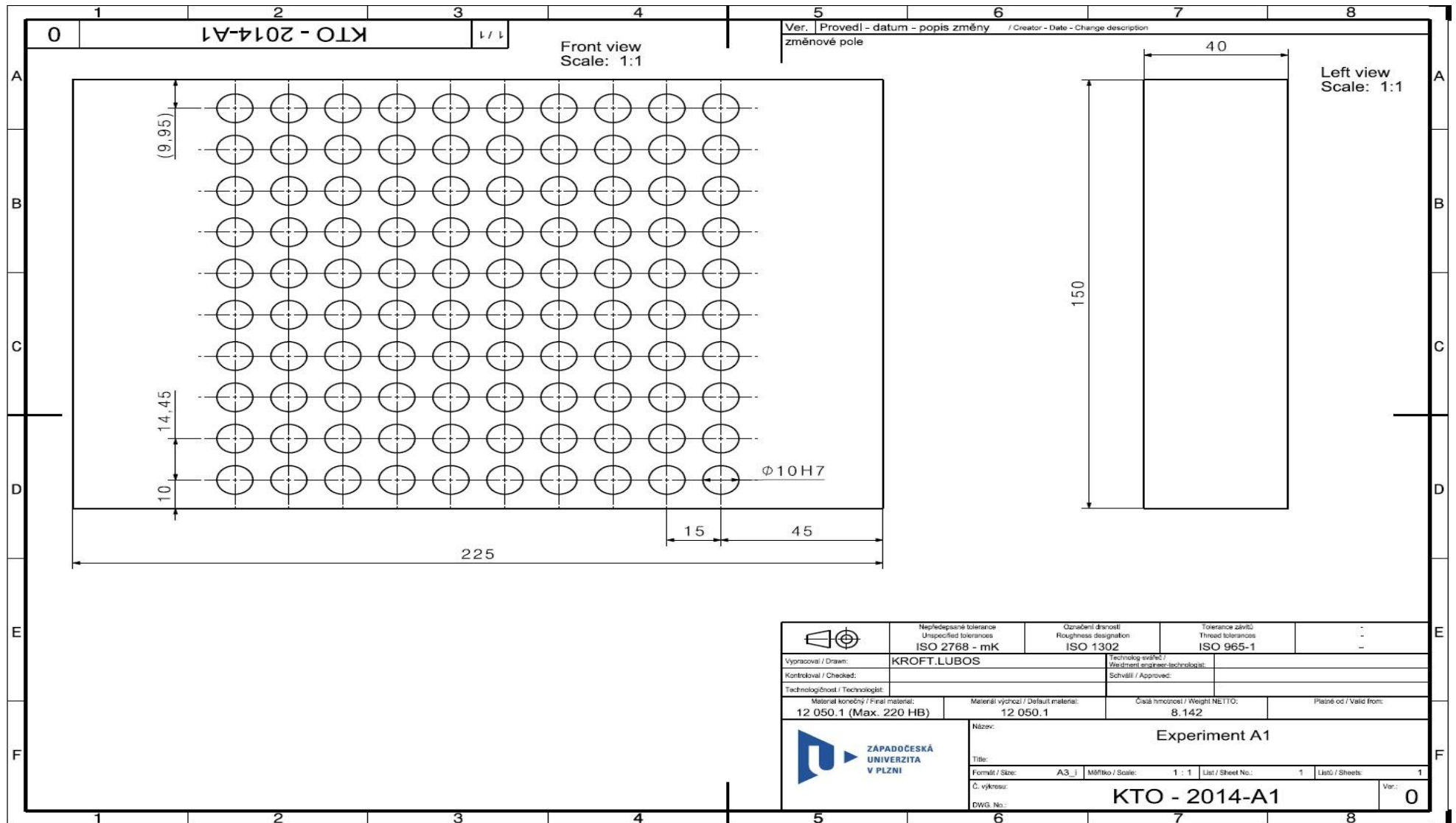
- Obrobitelnost – dobrá
- Svařitelnost – obtížná

Odolnost proti opotřebení – střední



## **PŘÍLOHA č. 10**

### **Výkres návrhu experimentu**



## **PŘÍLOHA č. 11**

### **Hodnoty díry obrobené nástrojem HAM-FINAL**

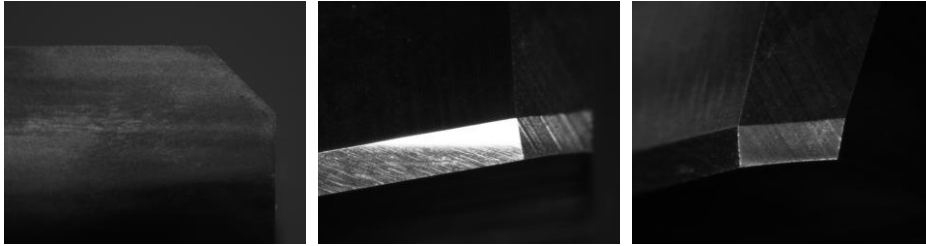
Číslo testu	Průměr díry + tolerance	Typ výstružníku	Číslo součásti/počet
A1 - 2014	10 H7 (0;+015)	HAM-FINAL – monolit z SK s hlavičkou z cermetu	Kostky A a B

Číslo díry	Hloubka 8(5)mm		Hloubka 40 (37) mm		Ra	Rz	Měření z CMM	
	D <sub>1min</sub>	D <sub>1max</sub>	D <sub>2min</sub>	D <sub>2max</sub>			Průměr	Válcovitost
Kostka A 1	10,0066	10,0235	10,0095	10,0197	0,583	3,663	10,014	011
5	10,0143	10,0163	10,0139	10,0182	0,857	7,346	X	X
10	10,0127	10,0170	10,0123	10,0158	0,645	5,846	10,013	007
15	10,0137	10,0170	10,0124	10,0151	0,241	1,908	X	X
20	10,0114	10,0160	10,0151	10,0158	0,763	7,412	10,012	016
25	10,0134	10,0170	10,0123	10,0163	0,597	5,899	X	X
30	10,0106	10,0169	10,0120	10,0143	0,603	5,895	10,013	007
35	10,0145	10,0160	10,0123	10,0164	0,550	5,457	X	X
40	10,0139	10,0150	10,0145	10,0162	0,521	5,226	10,014	005
45	10,0158	10,0169	10,0120	10,0170	0,435	5,081	X	X
50	10,0118	10,0148	10,0135	10,0148	0,496	4,740	10,013	008
55	10,0140	10,0159	10,0131	10,0148	0,561	6,033	X	X
60	10,0146	10,0151	10,0135	10,0152	0,629	5,517	10,014	006
65	10,0141	10,0160	10,0141	10,0162	0,440	4,119	X	X
70	10,0145	10,0156	10,0139	10,0163	0,408	4,354	10,013	005
75	10,0141	10,0159	10,0142	10,0162	0,418	4,296	X	X
80	10,0143	10,0155	10,0142	10,0164	0,362	3,535	10,014	005
85	10,0141	10,0160	10,0144	10,0162	0,437	4,359	X	X
90	10,0142	10,0154	10,0142	10,0164	0,436	5,064	10,014	006
95	10,0140	10,0158	10,0140	10,0163	0,476	4,964	X	X
100	10,0137	10,0154	10,0147	10,0160	0,484	5,790	10,014	005
Kostka B 101	10,0116	10,0167	10,0155	10,0157	0,441	5,109	10,011	014
105	10,0132	10,0154	10,0144	10,0171	0,409	4,151	X	X
110	10,0140	10,0142	10,0136	10,0169	0,541	6,026	10,011	025
115	10,0136	10,0154	10,0147	10,0171	0,491	5,640	X	X
120	10,0134	10,0142	10,0136	10,0175	0,435	5,595	10,010	020
125	10,0137	10,0150	10,0141	10,0175	0,384	4,804	X	X
130	10,0132	10,0140	10,0131	10,0175	0,402	4,931	10,009	020
135	10,0137	10,0144	10,0139	10,0172	0,381	5,374	X	X
140	10,0136	10,0140	10,0124	10,0180	0,481	5,767	10,010	021
145	10,0140	10,0146	10,0140	10,0180	0,436	5,103	X	X
150	10,0122	10,0136	10,0114	10,0174	0,370	4,650	10,011	019
155	10,0128	10,0150	10,0141	10,0161	0,308	2,843	X	X
160	10,0137	10,0143	10,0146	10,0169	0,399	4,203	10,013	014
165	10,0131	10,0149	10,0145	10,0167	0,340	2,990	X	X
170	10,0132	10,0141	10,0134	10,0166	0,390	5,372	10,012	013
175	10,0128	10,0143	10,0144	10,0168	0,312	1,979	X	X
180	10,0141	10,0145	10,0151	10,0172	0,327	2,488	10,014	011
185	10,0131	10,0148	10,0145	10,0166	0,415	2,767	X	X
190	10,0135	10,0147	10,0156	10,0174	0,340	2,835	10,013	011
195	10,0139	10,0152	10,0151	10,0172	0,339	2,875	X	X
200	10,0133	10,0150	10,0156	10,0174	0,504	3,222	10,012	008

Katedra Technologie Obrábění  
Opotřebení nástroje BECK:

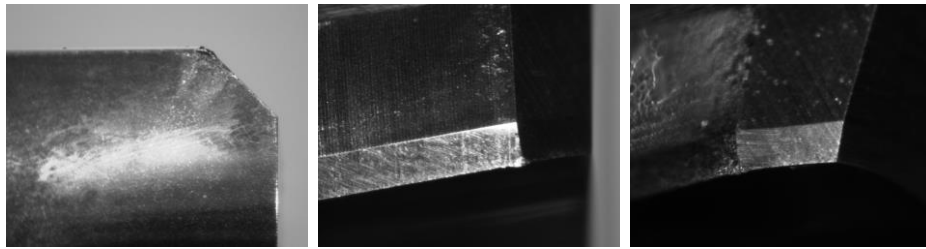
Bc. Luboš Kroft

Břit č. 1 nový nástroj:

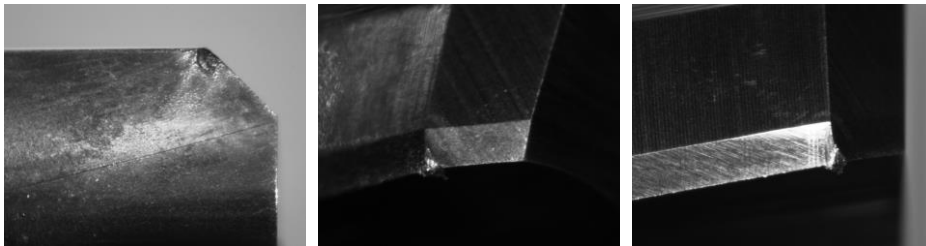


Snímky prvního břítu, zleva: čelo; vedlejší hřbet; hlavní hřbet

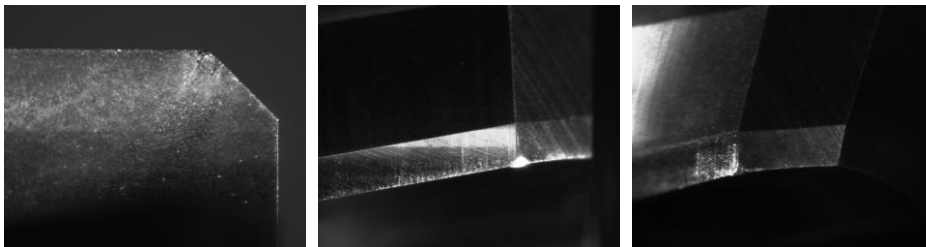
Břit č. 2 po 2 metrech:

Snímky druhého břítu, zleva: čelo; vedlejší hřbet nárůstek 77 [μm]; hlavní hřbet  $VB_B = 32$  [μm]

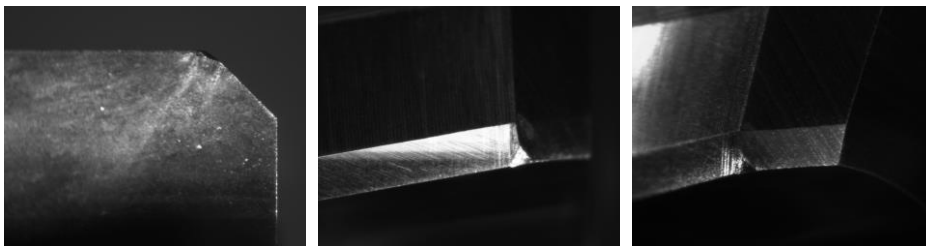
Břit č. 5 po 2 metrech:

Snímky pátého břítu, zleva: čelo  $KB = 28$  [μm]; vedlejší hřbet  $VB_B = 37$  [μm]; hlavní hřbet  $VB_B = 30$  [μm]

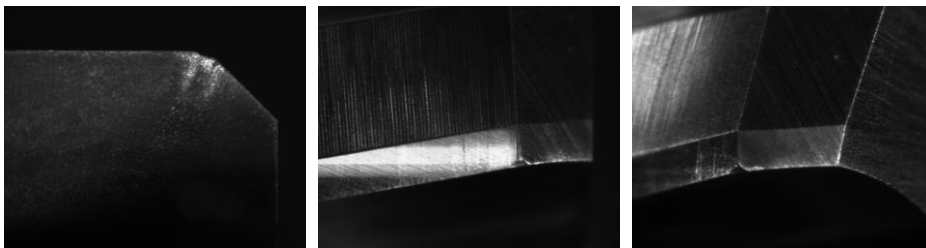
Břit č. 2 po 4 metrech:

Snímky druhého břítu, zleva: čelo  $KB = 44$  [μm]; vedlejší hřbet  $VB_B = 74$  [μm]; hlavní hřbet  $VB_B = 71$  [μm]

Břit č. 5 po 4 metrech:

Snímky pátého břítu, zleva: čelo  $KB = 79$  [μm]; vedlejší hřbet  $VB_B = 150$  [μm]; hlavní hřbet  $VB_B = 105$  [μm]

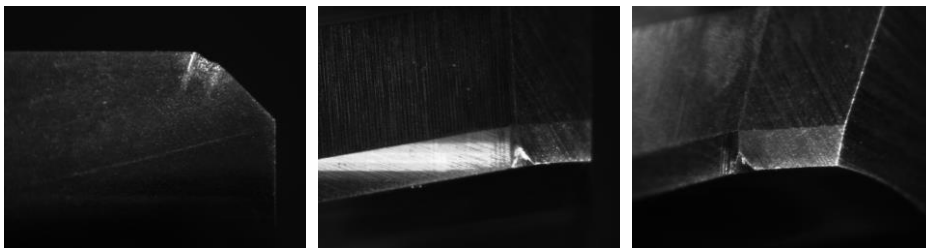
Břit č. 2 po 6 metrech:

Snímky druhého břitu, z leva: čelo  $KB = 79 \text{ } [\mu\text{m}]$ ; vedlejší hřbet  $VB_B = 47 [\mu\text{m}]$ ; hlavní hřbet  $VB_B = 44 \text{ } [\mu\text{m}]$ 

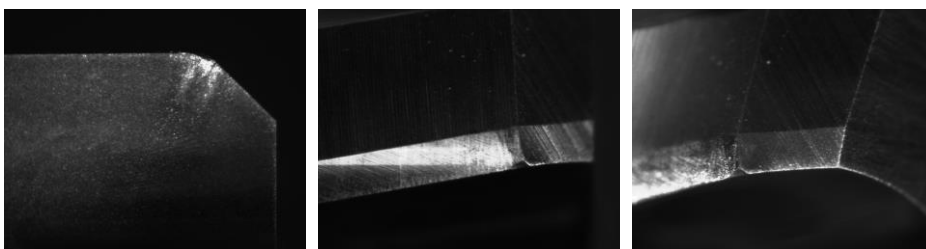
Břit č. 4 po 6 metrech:

Snímky čtvrtého břitu, z leva: čelo  $KB = 42 \text{ } [\mu\text{m}]$ ; vedlejší hřbet  $VB_B = 61 \text{ } [\mu\text{m}]$ ; hlavní hřbet  $VB_B = 80 \text{ } [\mu\text{m}]$ 

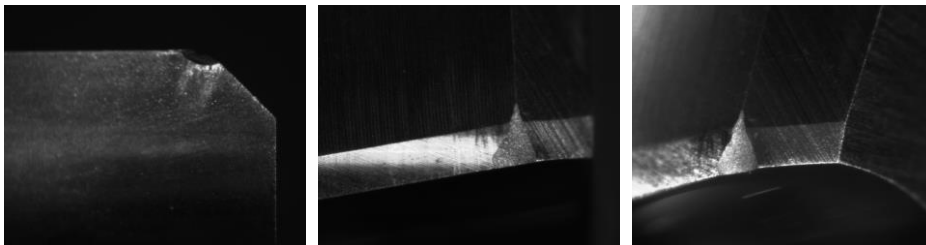
Břit č. 5 po 6 metrech:

Snímky pátého břitu, z leva: čelo  $KB = 80 \text{ } [\mu\text{m}]$ ; vedlejší hřbet  $VB_B = 139 \text{ } [\mu\text{m}]$ ; hlavní hřbet  $VB_B = 152 \text{ } [\mu\text{m}]$ 

Břit č. 2 po 8 metrech:

Snímky druhého břitu, z leva: čelo  $KB = 95 \text{ } [\mu\text{m}]$ ; vedlejší hřbet  $VB_B = 48 \text{ } [\mu\text{m}]$ ; hlavní hřbet  $VB_B = 62 \text{ } [\mu\text{m}]$ 

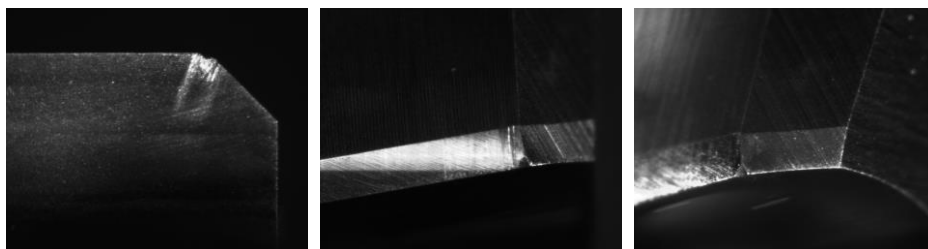
Břit č. 3 po 8 metrech:

Snímky třetího břitu, z leva: čelo  $KB = 153 \text{ } [\mu\text{m}]$ ; vedlejší hřbet  $VB_B = 436 \text{ } [\mu\text{m}]$ ; hlavní hřbet  $VB_B = 462 \text{ } [\mu\text{m}]$

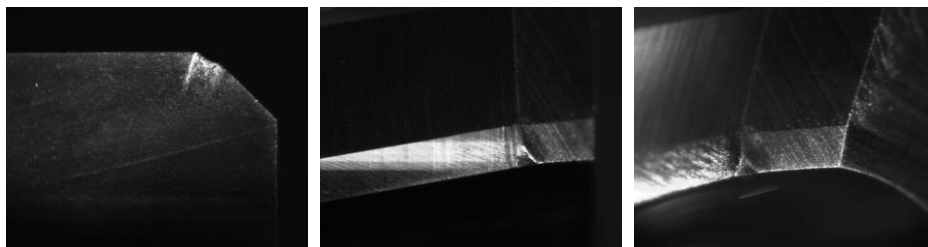
Katedra Technologie Obrábění

Bc. Luboš Kroft

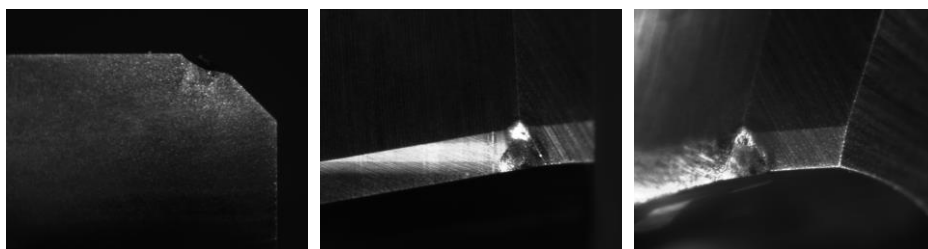
Břit č. 4 po 8 metrech:

Snímky čtvrtého břitu, z leva: čelo KB = 56 [μm]; vedlejší hřbet VB<sub>B</sub> = 80 [μm]; hlavní hřbet VB<sub>B</sub> = 80 [μm]

Břit č. 5 po 8 metrech:

Snímky pátého břitu, z leva: čelo KB = 123 [μm]; vedlejší hřbet VB<sub>B</sub> = 166 [μm]; hlavní hřbet VB<sub>B</sub> = 161 [μm]

Břit č. 6 po 8 metrech:

Snímky šestého břitu, z leva: čelo KB = 160 [μm]; vedlejší hřbet VB<sub>B</sub> = 376 [μm]; hlavní hřbet VB<sub>B</sub> = 375 [μm]

## **PŘÍLOHA č. 12**

### **Hodnoty díry obrobené nástrojem BECK**



Číslo testu	Průměr díry + tolerance	Typ výstružníku	Číslo součásti/počet
A1 - 2014	10 H7 (0;+015)	BECK – monolit z SK s povlakem TiAlN	Kostky C a D

Číslo díry	Hloubka 8(5)mm		Hloubka 40(37) mm		Ra	Rz	Měření z CMM	
	D <sub>1min</sub>	D <sub>1max</sub>	D <sub>2min</sub>	D <sub>2max</sub>			Válcovitost	Průměr
1	10,0093	10,0129	10,0128	10,0132	0,329	2,072	006	10,010
5	10,0113	10,0143	10,0126	10,0138	0,561	5,773	X	X
10	10,0103	10,0121	10,0119	10,0138	0,436	4,638	010	10,009
15	10,0107	10,0124	10,0114	10,0130	0,493	3,599	X	X
20	10,0097	10,0124	10,0104	10,0128	0,342	2,871	018	10,005
25	10,0096	10,0134	10,0114	10,0129	0,479	3,347	X	X
30	10,0089	10,0123	10,0114	10,0134	0,392	3,765	014	10,006
35	10,0095	10,0140	10,0114	10,0136	0,656	4,834	X	X
40	10,0082	10,0123	10,0092	10,0144	0,589	5,278	015	10,008
45	10,0093	10,0142	10,0112	10,0135	0,560	4,440	X	X
50	10,0069	10,0150	10,0075	10,0174	0,524	4,758	017	10,006
55	10,0111	10,0127	10,0116	10,0138	0,627	3,794	X	X
60	10,0111	10,0114	10,0121	10,0133	0,468	3,290	017	10,006
65	10,0113	10,0125	10,0114	10,0133	0,500	3,546	X	X
70	10,0112	10,0118	10,0113	10,0138	0,421	4,038	013	10,008
75	10,0113	10,0120	10,0117	10,0131	0,512	3,193	X	X
80	10,0112	10,0116	10,0114	10,0132	0,429	3,749	015	10,007
85	10,0108	10,0122	10,0119	10,0133	0,498	2,918	X	X
90	10,0108	10,0113	10,0114	10,0133	0,581	2,896	008	10,009
95	10,0100	10,0111	10,0106	10,0128	0,535	4,232	X	X
100	10,0099	10,0115	10,0112	10,0130	0,514	3,594	039	10,005
Kostka D	X	X	X	X	X	X	X	X
101	10,0096	10,0129	10,0172	10,0188	0,413	3,170	011	10,010
103	10,0110	10,0131	10,0125	10,0129	0,433	2,693	X	X
105	10,0100	10,0136	10,0165	10,0185	0,408	2,611	X	X
107	10,0114	10,0122	10,0172	10,0201	0,452	3,595	X	X
108	10,0120	10,0122	10,0387	10,0417	0,377	2,665	X	X
109	10,0160	10,0210	10,0145	10,0180	0,197	1,250	X	X
110	10,0176	10,0186	NEMĚRITELNÉ		0,343	3,831	011	10,031
111	10,0268	10,0293	NEMĚRITELNÉ		0,403	4,420	010	10,037
112	10,0648	10,0689	NEMĚRITELNÉ		0,472	5,583		
113	10,0156	10,0176	NEMĚRITELNÉ		0,298	1,825	005	10,010
114	10,0560	10,0581	NEMĚRITELNÉ		5,404	40,20		

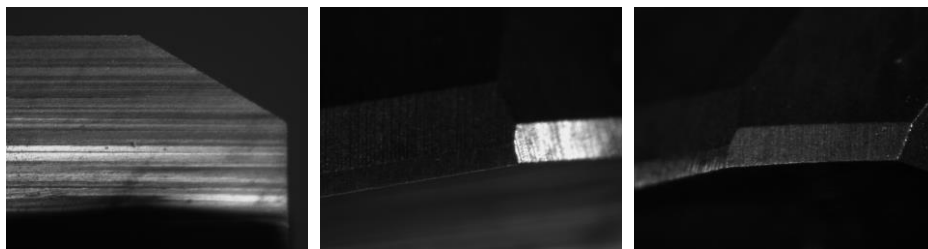
Problematický otvor – u otvoru 50 byla naměřena 0,01 rozdílu mezi min a max->byla provedena kontrolní měření na okolních otvorech

48	10,0090	10,0140	10,0106	10,0161				
49	10,0070	10,0142	10,0070	10,0176				
<b>50</b>	<b>10,0069</b>	<b>10,0150</b>	<b>10,0075</b>	<b>10,0174</b>				
51	10,0101	10,0126	10,0129	10,0132				
52	10,0102	10,0130	10,0119	10,0128				

Katedra Technologie Obrábění  
Opotřebení nástroje BECK:

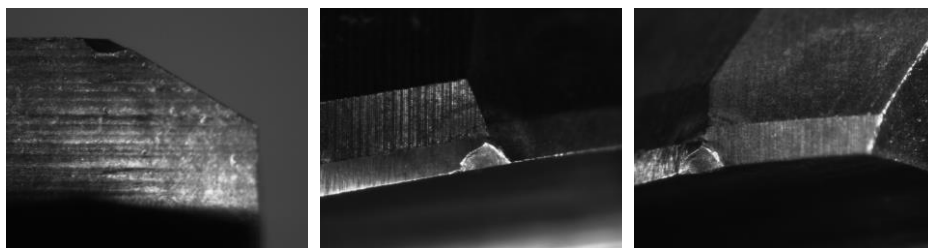
Bc. Luboš Kroft

Břit č. 1 nový nástroj:



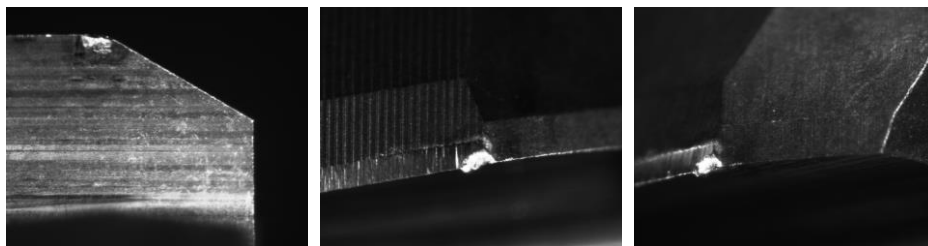
Snímky prvního břitu, z leva: čelo; vedlejší hřbet; hlavní hřbet

Břit č. 4 po 2 metrech:



Snímky čtvrtého břitu, z leva: čelo  $KB = 144 \text{ [}\mu\text{m]}$ ; vedlejší hřbet  $VB_B = 201 \text{ [}\mu\text{m]}$ ; hlavní hřbet  $VB_B = 190 \text{ [}\mu\text{m]}$

Břit č. 1 po 4 metrech:



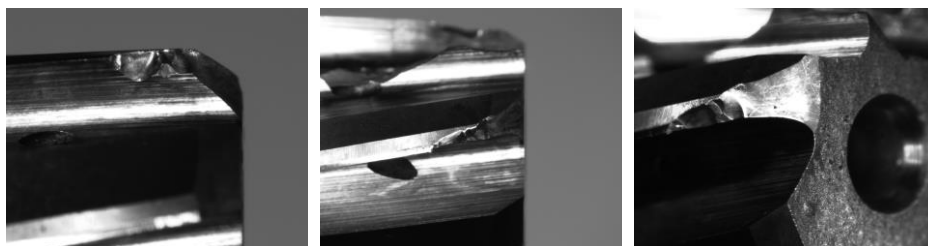
Snímky prvního břitu s opotřebením a nárůstkem, z leva: čelo  $KB = 149 \text{ [}\mu\text{m]}$ ; vedlejší hřbet  $VB_B = 103 \text{ [}\mu\text{m]}$ ; hlavní hřbet  $VB_B = 89 \text{ [}\mu\text{m]}$

Břit č. 4 po 4 metrech:



Snímky čtvrtého břitu s opotřebením a nárůstkem, z leva: čelo  $KB = 176 \text{ [}\mu\text{m]}$ ; vedlejší hřbet  $VB_B = 204 \text{ [}\mu\text{m]}$ ; hlavní hřbet  $VB_B = 163 \text{ [}\mu\text{m]}$

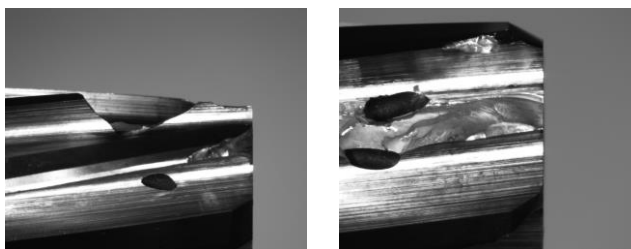
Destrukce břit č 1 po 4,8 metru:



Snímky destrukce prvního břitu, z leva: čelo; vedlejší hřbet; hlavní hřbet

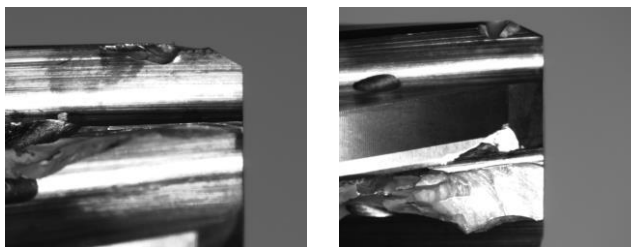
Katedra Technologie Obrábění  
Destrukce břit č 2 po 4,8 metru:

Bc. Luboš Kroft



Snímky destrukce druhého břítu, z leva: čelo; vedlejší hřbet

Destrukce břit č 3 po 4,8 metru:



Snímky destrukce třetího břítu, z leva: čelo; vedlejší hřbet

Destrukce břit č 4 po 4,8 metru:



Snímky destrukce čtvrtého břítu, z leva: čelo; vedlejší hřbet; hlavní hřbet

## **PŘÍLOHA č. 13**

### **Hodnoty díry obrobené nástrojem GÜHRING**

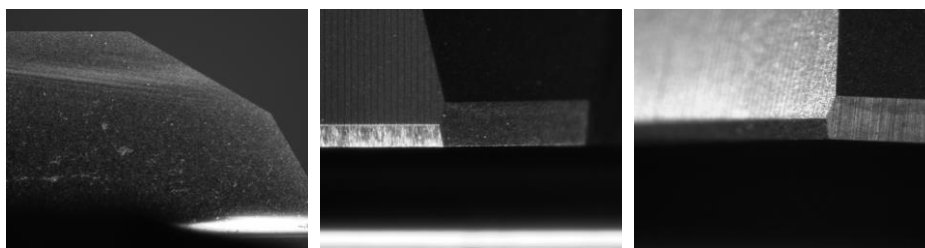
Číslo testu	Průměr díry + tolerance	Typ výstružníku	Číslo součásti/počet
A1 - 2014	10 H7 (0;+015)	GÜHRING – monolit z SK s povlakem TiAlN	Kostky D, E a F

Číslo díry	Hloubka 8(5)mm		Hloubka 40(37) mm		Ra	Rz	Z CMM	
	D <sub>1min</sub>	D <sub>1max</sub>	D <sub>2min</sub>	D <sub>2max</sub>			válcovitost	průměr
Kostka D - 1	10,0091	10,0127	10,0176	10,0188	0,177	2,092	013	10,009
5	10,0108	10,0122	10,0115	10,0126	0,175	1,383		
10	10,0104	10,0109	10,0095	10,0130	0,204	1,563	014	10,008
15	10,0099	10,0108	10,0105	10,0124	0,201	1,451		
20	10,0101	10,0108	10,0088	10,0132	0,242	1,768	010	10,010
25	10,0094	10,0108	10,0110	10,0129	0,192	1,488		
30	10,0099	10,0114	10,0078	10,0138	0,176	1,182	007	10,010
35	10,0102	10,0112	10,0108	10,0120	0,439	2,487		
40	10,0100	10,0108	10,0101	10,0120	0,194	1,512	011	10,008
45	10,0097	10,0110	10,0113	10,0120	0,217	1,700		
50	10,0098	10,0106	10,0100	10,0122	0,188	1,679	011	10,010
55	10,0097	10,0111	10,0108	10,0122	0,222	2,083		
60	10,0102	10,0112	10,0108	10,0127	0,180	1,965	004	10,011
65	10,0097	10,0115	10,0110	10,0129	0,214	1,804		
70	10,0096	10,0107	10,0102	10,0122	0,178	1,567	018	10,008
75	10,0095	10,0109	10,0102	10,0123	0,234	1,902		
80	10,0094	10,0108	10,0103	10,0122	0,199	1,455	007	10,009
Kostka E - 85	10,0109	10,0115	10,0108	10,0118	0,214	1,637		
90	10,0103	10,0114	10,0103	10,0118	0,240	1,327	006	10,010
95	10,0107	10,0114	10,0107	10,0112	0,241	1,969		
100	10,0105	10,0112	10,0104	10,0116	0,254	1,364	019	10,008
101	10,0106	10,0112	10,0101	10,0125	0,258	1,725	009	10,009
105	10,0108	10,0118	10,0110	10,0116	0,237	1,711		
110	10,0107	10,0115	10,0104	10,0115	0,248	1,639	006	10,010
115	10,0107	10,0117	10,0107	10,0110	0,218	1,357		
120	10,0109	10,0112	10,0106	10,0114	0,180	1,364	006	10,010
125	10,0108	10,0113	10,0107	10,0116	0,185	1,306		
130	10,0102	10,0118	10,0105	10,0114	0,206	1,359	041	10,001
135	10,0107	10,0114	10,0106	10,0115	0,206	1,257		
140	10,0101	10,0113	10,0103	10,0110	0,232	1,398	013	10,008
145	10,0111	10,0117	10,0106	10,0112	0,188	1,305		
150	10,0104	10,0116	10,0104	10,0114	0,196	1,198	039	10,002
155	10,0113	10,0118	10,0108	10,0117	0,187	1,455		
160	10,0113	10,0118	10,0109	10,0114	0,251	1,406	006	10,009
165	10,0111	10,0119	10,0107	10,0115	0,224	2,152		
170	10,0109	10,0115	10,0106	10,0114	0,425	1,846	026	10,004
175	10,0108	10,0120	10,0105	10,0115	0,245	1,245		
180	10,0105	10,0115	10,0105	10,0110	0,206	1,725	033	10,003
Kostka F- 181	10,0089	10,0113	10,0114	10,0120	0,233	1,993		
185	10,0097	10,0116	10,0115	10,0130	0,308	2,914		
190	10,0101	10,0107	10,0110	10,0131	0,328	2,252	006	10,010

195	10,0098	10,0116	10,0118	10,0134	0,216	1,793		
200	10,0104	10,0108	10,0113	10,0134	0,252	1,422	028	10,005
205	10,0098	10,0118	10,0118	10,0134	0,213	1,736		
210	10,0107	10,0110	10,0112	10,0128	0,297	2,422		
215	10,0099	10,0117	10,0116	10,0139	0,222	2,244		
220	10,0105	10,0109	10,0112	10,0130	0,244	2,174		
225	10,0099	10,0119	10,0113	10,0133	0,357	2,268		
230	10,0106	10,0112	10,0115	10,0133	0,312	2,336		
235	10,0107	10,0119	10,0114	10,0134	0,257	2,181		
240	10,0104	10,0110	10,0113	10,0133	0,256	2,228		
245	10,0099	10,0116	10,0111	10,0130	0,256	2,610		
250	10,0104	10,0112	10,0110	110,0128	0,234	1,784		
255	10,0100	10,0117	10,0146	10,0158	0,183	2,156		
260	10,0104	10,0115	10,0115	10,0130	0,236	2,573		
265	10,0099	10,0115	10,0110	10,0132	0,245	2,125		
270	10,0104	10,0117	10,0110	10,0126	0,268	2,239		

## Opotřebení nástroje GÜHRING:

Břit č. 1 nový nástroj:

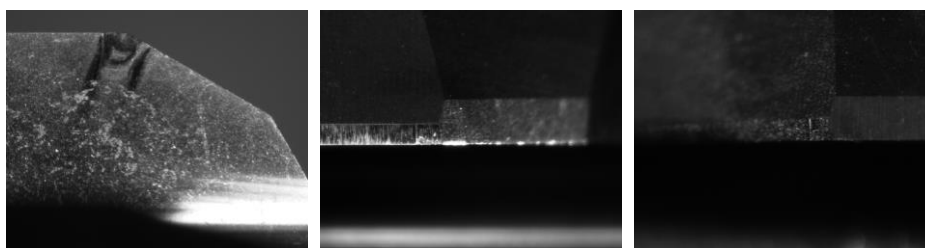


Snímky prvního břitu, zleva: čelo; vedlejší hřbet; hlavní hřbet

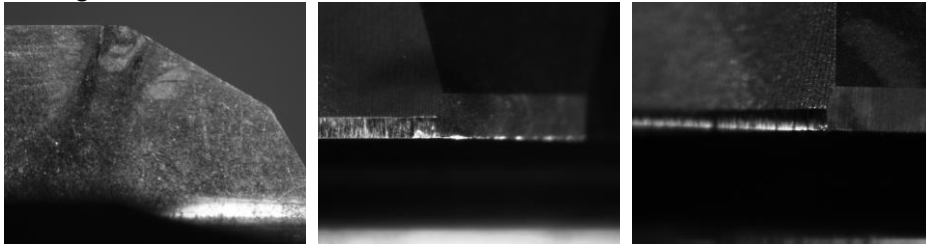
Břit č. 2 po 2 metrech

Snímky druhého břitu, zleva: čelo; vedlejší hřbet  $VB_B = 66 \text{ [}\mu\text{m]}$ ; hlavní hřbet

Břit č. 2 po 4 metrech

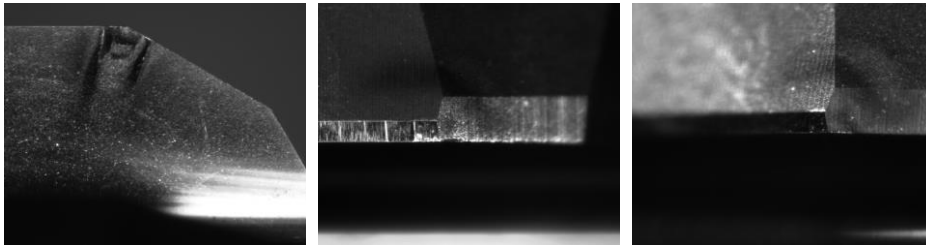
Snímky druhého břitu, zleva: čelo; vedlejší hřbet  $VB_B = 70 \text{ [}\mu\text{m]}$ ; hlavní hřbet

Břit č. 2 po 6 metrech



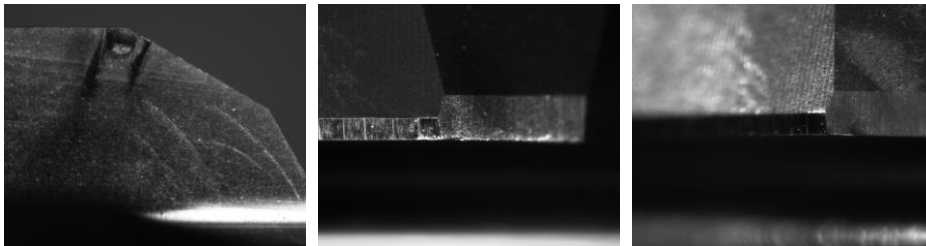
Snímky druhého břítu, z leva: čelo  $KB = 38$  [ $\mu\text{m}$ ]; vedlejší hřbet  $VB_B = 70$  [ $\mu\text{m}$ ]; hlavní hřbet  $VB_B = 7$  [ $\mu\text{m}$ ]

Břit č. 2 po 8 metrech



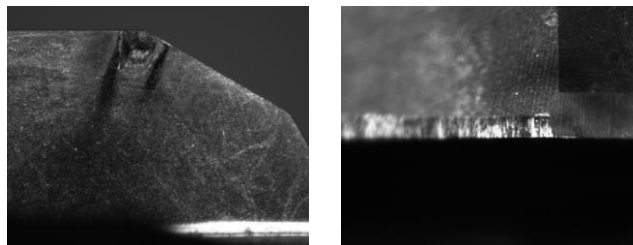
Snímky druhého břítu, z leva: čelo  $KB = 33$  [ $\mu\text{m}$ ]; vedlejší hřbet  $VB_B = 69$  [ $\mu\text{m}$ ]; hlavní hřbet  $VB_B = 10$  [ $\mu\text{m}$ ]

Břit č. 3 po 8 metrech



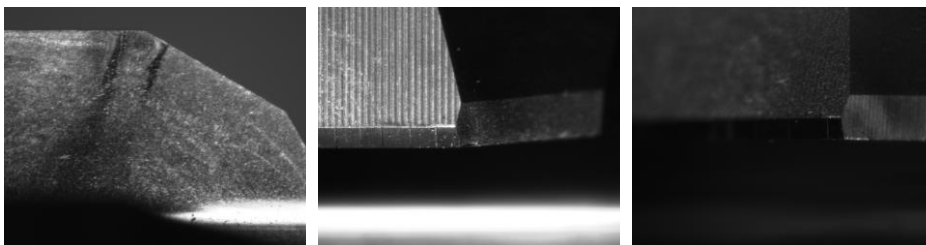
Snímky třetího břítu, z leva: čelo; vedlejší hřbet  $VB_B = 38$  [ $\mu\text{m}$ ]; hlavní hřbet

Břit č. 2 po 10,8 metrech



Snímky druhého břítu, z leva: čelo; vedlejší hřbet  $VB_B = 148$  [ $\mu\text{m}$ ]; hlavní hřbet  $VB_B = 11$

Břit č. 3 po 10,8 metrech



Snímky třetího břítu, z leva: čelo; vedlejší hřbet  $VB_B = 40$  [ $\mu\text{m}$ ]; hlavní hřbet

## **PŘÍLOHA č. 14**

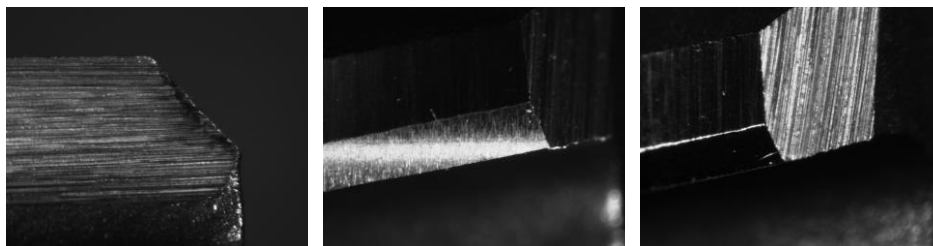
### **Obrazový záznam z měření nástrojů používaných ve společnosti GTW**



Katedra Technologie Obrábění  
Poškození nového nástroje:

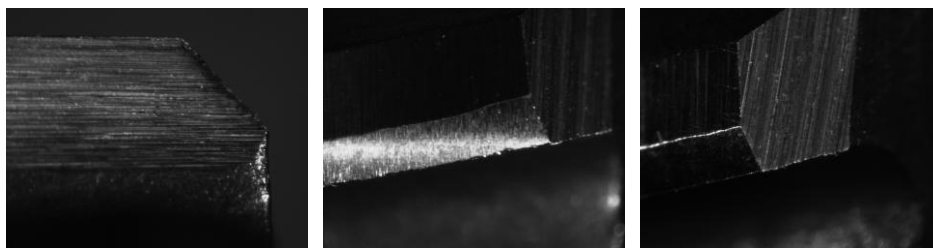
Bc. Luboš Kroft

Břit č. 1



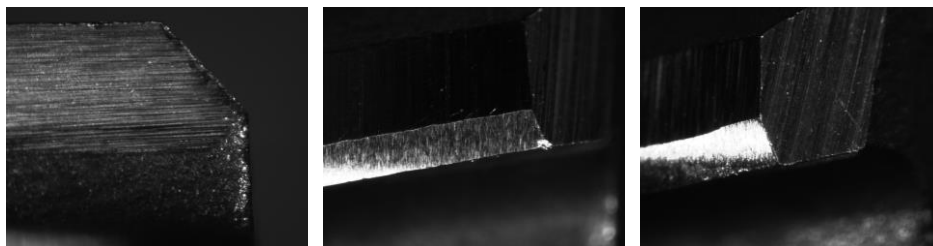
Snímky prvního břitu s poškozením, zleva: čelo  $KB = 17 \text{ [}\mu\text{m]}$ ; vedlejší hřbet; hlavní hřbet  $VB_B = 24 \text{ [}\mu\text{m]}$

Břit č. 2



Snímky druhého břitu s poškozením, zleva: čelo; vedlejší hřbet  $VB_B = 33 \text{ [}\mu\text{m]}$ ; hlavní hřbet

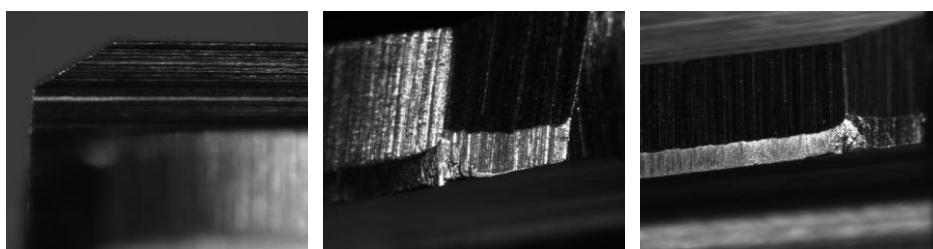
Břit č. 3



Snímky třetího břitu s poškozením, zleva: čelo  $KB = 54 \text{ [}\mu\text{m]}$ ; vedlejší hřbet  $VB_B = 67 \text{ [}\mu\text{m]}$ ; hlavní hřbet

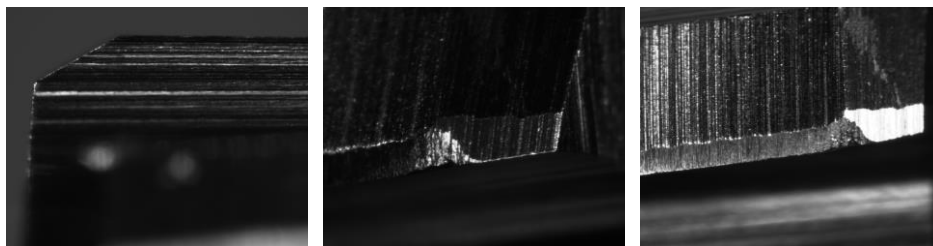
Opotřebení a poškození použitého nástroje:

Břit č. 1



Snímky prvního břitu s opotřebením, zleva: čelo; hlavní hřbet  $VB_B = 460 \text{ [}\mu\text{m]}$ ; vedlejší hřbet  $VB_B = 350 \text{ [}\mu\text{m]}$ ;

Břit č. 2

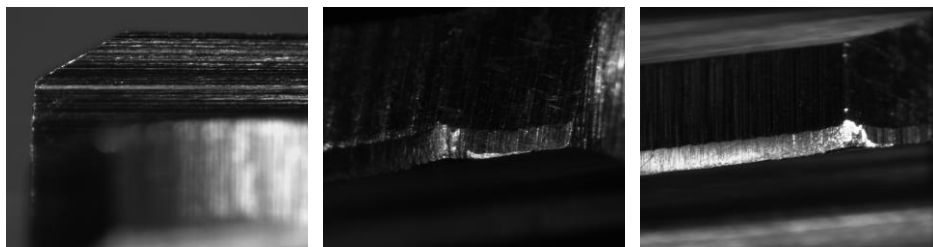


Snímky druhého břitu s opotřebením, zleva: čelo; hlavní hřbet  $VB_B = 352 \text{ [}\mu\text{m]}$ ; vedlejší hřbet  $VB_B = 290 \text{ [}\mu\text{m]}$ ;

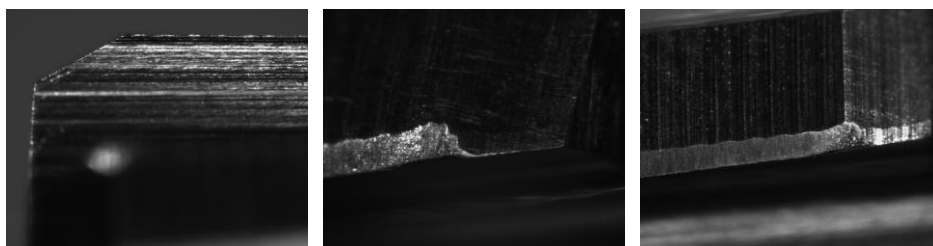
Břit č. 3

Snímky třetího břitu s opotřebením, zleva: čelo; hlavní hřbet  $VB_B = 240$  [ $\mu\text{m}$ ]; vedlejší hřbet  $VB_B = 290$  [ $\mu\text{m}$ ];

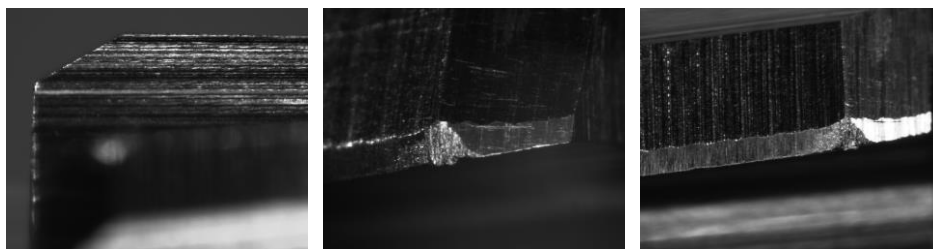
Břit č. 4

Snímky čtvrtého břitu s opotřebením, zleva: čelo; hlavní hřbet  $VB_B = 347$  [ $\mu\text{m}$ ]; vedlejší hřbet  $VB_B = 310$  [ $\mu\text{m}$ ];

Břit č. 5

Snímky pátého břitu s opotřebením, zleva: čelo; hlavní hřbet  $VB_B = 380$  [ $\mu\text{m}$ ]; vedlejší hřbet  $VB_B = 320$  [ $\mu\text{m}$ ];

Břit č. 6

Snímky šestého břitu s opotřebením, zleva: čelo; hlavní hřbet  $VB_B = 329$  [ $\mu\text{m}$ ]; vedlejší hřbet  $VB_B = 370$  [ $\mu\text{m}$ ];

## **PŘÍLOHA č. 15**

### **3D měřicí stroj LK G-90c**



Obrázek P.9 - 3D LK G-90c [36]

- |                                     |                           |
|-------------------------------------|---------------------------|
| - Typ stroje                        | LK G-90C                  |
| - Měřicí rozsah [mm]                | x = 700; y = 800; z = 600 |
| - Přesnost měření [ $\mu\text{m}$ ] | 2,5 + L / 150             |
| - Celkové rozměry [mm]              | 1 425 x 1 465 x 2 800     |
| - Hmotnost [kg]                     | 1 350                     |