

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní zaměření: Strojírenská technologie-technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Produktivní vystružování moderními výstružníky II.

Autor: **Bc. Martin Šmejkal**

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

Akademický rok 2013/2014

Zadání diplomové práce

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, s.r.o. a HOFMEISTER, s.r.o. a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování za pomoc při řešení diplomové práce

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 touto cestou rád poděkoval všem, kteří mi byli k dispozici při vypracovávání mé diplomové práce. V první řadě bych rád poděkoval mému vedoucímu diplomové práce panu Doc. Ing. Janu Řehořovi, Ph.D., za poskytnuté rady a odborné vedení při řešení mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat své konzultantce ze ZČU slečně Ing. Jaroslavě Fulemové, za velmi odborné a profesionální rady při zpracování mé práce, zejména při realizaci experimentu a dalších nezbytných věcí pro realizaci této práce. Poděkování též patří dalším odborným asistentům ze ZČU.

Dále patří mé poděkování všem odborníkům z praxe, kteří se podíleli na realizaci této diplomové práce, jmenovitě pan Václav Volter z firmy HOFMEISTER, s.r.o. a pan Ing. Jiří Plíšek z firmy HAM-FINAL, s.r.o.

V neposlední řadě bych chtěl také poděkovat své rodině, která mě po celou dobu studia podporovala.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Šmejkal	Jméno Martin	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Strojírenská technologie-technologie obrábění“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing.Řehoř, Ph.D.	Jméno Jan	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrt- něte
NÁZEV PRÁCE	Produktivní vystružování moderními výstružníky II.		

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	90	TEXTOVÁ ČÁST	43	GRAFICKÁ ČÁST	46
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Tato diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část je věnována rozdělení rezných materiálů pro výstružníky a praktická část se věnuje problematice vystružování hlubokých děr o průměru 8H6 na VDI držáku.
KLÍČOVÁ SLOVA	Výstružník, VDI držák, experiment, rezný materiál

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Šmejkal	Name Martin	
FIELD OF STUDY	B2301 „Manufacturing processes – Technology of Metal Cutting“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Řehoř, Ph.D.	Name Jan	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Productive reaming made by modern reamers II.		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Cutting technology	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	--------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	90	TEXT PART	43	GRAPHICAL PART	46
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This diploma thesis has theoretical and practical section. Theoretical part is focused on cutting materials which are used for reamers. The practical part is focused on reaming deep holes with diameter 8mm which has to be produced in tolerance H6. These deep holes are placed on VDI holder.
KEY WORDS	Reamer, VDI holder, experiment, cutting material

Obsah.....	6
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek.....	11
Seznam použitých zkratk a symbolů	12
1. Úvod	14
2. Řezné materiály s ohledem pro vystružování.....	15
2.1. Požadavky kladené na řezné materiály	15
2.2. Základní rozdělení řezných materiálů	15
2.2.1. Rychlořezná ocel	16
2.2.2. Slinutý karbid	18
2.2.2.1. Nepovlakované slinuté karbidy.....	18
2.2.2.2. Povlakované slinuté karbidy	19
2.2.3. Cermet	20
2.2.4. Povlakované slinuté karbidy a cermety.....	22
2.2.5. Oxidická řezná keramika.....	24
2.2.6. Supertvrdé řezné materiály.....	25
2.2.6.1. Kubický nitrid boru	25
2.2.6.2. Diamant.....	26
2.2.6.3. Oblast použití super řezných materiálů.....	27
2.3. Řezné materiály vhodné pro vystružovací nástroje.....	28
2.3.1. Popis jednotlivých materiálů	28
3. Rozbor současného stavu technologie výroby dané tolerované díry	30
3.1. Úvod.....	30
3.2. Technologický postup	32
3.3. Výsledky počátečního měření ve firmě HOFMEISTER, s.r.o.....	34
3.4. Shrnutí problémů při současné výrobě.....	35
4. Návrh, realizace a charakteristika experimentálního testování zvolených výstružníků	36
4.1. Charakteristika experimentu	36
4.2. Charakteristika experimentálních zařízení	36

4.2.1.	Obráběcí stroj	36
4.2.2.	Vzduchový měřicí přístroj Mahr – Millipneu S 1840	37
4.2.3.	Dílenský mikroskop Multicheck PC 500	37
4.2.4.	Drsnoměr Mahr – Marsurf M300	37
4.2.5.	3D souřadnicový měřicí stroj LK G-90C	38
4.2.6.	Testovaný materiál	39
4.2.7.	Použité nástroje	39
4.2.8.	Použité upínače	39
4.2.9.	Zkušební kostka.....	40
4.2.10.	Upnutí obrobku ve stroji	42
4.3.	Technologické postupy	42
4.4.	Průběh experimentu.....	46
4.5.	Průběh měření	46
5.	Vyhodnocení naměřených výsledků	47
5.1.	Vyhodnocení po vystružení délky 2m.....	47
5.1.1.	Hodnocení průměru vystružené díry na v hloubce 4,5 a 40 mm.....	47
5.1.2.	Hodnocení válcovitosti.....	49
5.1.3.	Hodnocení drsnosti povrchu parametrů Ra a Rz.....	49
5.2.	Vyhodnocení po vystružení délky 4m.....	51
5.2.1.	Hodnocení průměru vystružené díry v hloubce 4,5 a 40 mm	51
5.2.2.	Hodnocení válcovitosti.....	53
5.2.3.	Hodnocení drsnosti povrchu parametrů Ra a Rz.....	53
5.3.	Vyhodnocení po vystružení délky 6,5 m.....	55
5.3.1.	Hodnocení průměru vystružené díry v hloubce 4,5 a 40 mm	55
5.3.2.	Hodnocení válcovitosti.....	55
5.3.3.	Hodnocení drsnosti povrchu parametrů Ra a Rz.....	55
5.4.	Hodnocení opotřebení na břitech nástroje.....	58
5.5.	Hodnocení časové náročnosti.....	60
5.6.	Hodnocení třísek nástrojů.....	60
5.7.	Shrnutí experimentálního měření	61
6.	Technicko-ekonomické hodnocení	62

7. Závěr	64
Seznam použité literatury	65
Přílohy k diplomové práci	67

Seznam obrázků

Obr. 1.1. Rozdělení vystružovacích nástrojů	14
Obr. 2.1. Materiály pro řezné nástroje.....	15
Obr. 2.2. Vliv teploty na tvrdost řezných materiálů	16
Obr. 2.3. Mikrostruktura rychlořezné oceli	16
Obr. 2.4. (a) Nástrčný výstružník HSS se zuby ve šroubovici (b) kuželový ruční výstružník.....	17
Obr. 2.5. Schéma výroby slinutých karbidů	18
Obr. 2.6. Jednotlivé vrstvy v materiálu	20
Obr. 2.7. Mikrostruktura cermetu	20
Obr. 2.8. Výstružník s cermetovými břity	21
Obr. 2.9. Srovnání trvanlivosti cermetu a slinutého karbidu	21
Obr. 2.10. Řez povlakovaným nástrojem	22
Obr. 2.11. Výstružníky monolitní a s pájenými břity	23
Obr. 2.12. Břitové destičky třídy GC1115.....	24
Obr. 2.13. Změna hexagonální mřížky na kubickou.....	25
Obr. 2.14. Břitové destičky z CNB CBN050C.....	26
Obr. 2.15. Změna hexagonální mřížky na kubickou.....	26
Obr. 2.16. Diamantová břitová destička	27
Obr. 3.1. VDI držák	30
Obr. 3.2. Mikrostruktura oceli 12050.3.....	31
Obr. 3.3. Upnutí obrobku	32
Obr 3.4.(a) Měření radiální házivosti, (b) měření drsnosti povrch	32
Obr. 3.5. Porovnání průměrů v hloubce 13 mm.....	34
Obr. 3.6. Porovnání průměrů v hloubce 40 mm.....	34
Obr. 3.7. Porovnání drsnosti Ra	35
Obr. 4.1. Vertikální obráběcí centrum MCV 750A	36
Obr. 4.2. Vzduchový měřicí přístroj.....	37
Obr. 4.3. Optický mikroskop Multicheck PC500	37
Obr. 4.4. Drsnoměru Marh-Marsurf M300	38

Obr. 4.5. 3D souřadnicový měřicí stroj LK-G90C	38
Obr. 4.6. Mikrostruktura oceli 12050.3 – testovaný materiál	39
Obr. 4.7. Rastr pro obrábění – rozložení děr.....	41
Obr. 4.8. Upnutí obrobku na stroji.....	42
Obr. 5.1. Skuteční průměr díry v hloubce 4,5 mm.....	48
Obr. 5.2 Skutečný průměr díry v hloubce 40 mm.....	48
Obr. 5.3. Naměřená válcovitost.....	49
Obr. 5.4. Drsnost povrchu Ra	50
Obr. 5.5. Drsnost povrchu Rz.....	50
Obr. 5.6. Skutečný průměr díry v hloubce 4,5 mm.....	52
Obr. 5.7. Skutečný průměr v hloubce 40 mm	52
Obr. 5.8. Naměřená válcovitost.....	53
Obr. 5.9. Drsnost povrchu Ra	54
Obr. 5.10. Drsnost povrchu Rz.....	54
Obr. 5.11. Skutečný průměr díry	56
Obr. 5.12. Naměřená válcovitost.....	56
Obr. 5.13. Drsnost povrchu Ra	57
Obr. 5.14. Drsnost povrchu Rz.....	57
Obr. 5.15. Opotřebenění na čele břitu nástroje.....	59
Obr. 5.16. Opotřebenění na hlavním hřbetu břitu nástroje.....	59
Obr. 5.17. Opotřebenění na vedlejším hřbetu břitu nástroje.....	59
Obr. 5.18. Třísky (a) po nástroji HOFMEISTER (b) po nástroji HAM-FINAL	60

Seznam tabulek

Tab. 2.1. Doporučené řezné podmínky pro výstružníky z HSS	17
Tab. 2.2. Výhody a nevýhody PVD povlaků	23
Tab. 2.3. Řezné podmínky pro výstružníky VRV firmy HAM-FINAL	23
Tab. 2.4. Přehled řezných materiálů	28
Tab. 3.1. Požadavky na opracování	30
Tab. 3.2. Chemické složení oceli 12050.3.....	31
Tab. 4.2. Chemické složení oceli 12050.3 – testovaný materiál	39
Tab. 4.3. Seznam použitých nástrojů.....	40
Tab. 5.1. Časová náročnost na výrobu jedné díry	60

Seznam použitých zkratk a symbolů

Značka veličiny, Symbol	Jednotka	Název - Popis
D	[mm]	Průměr
f	[mm/ot]	posuv
h	[mm]	Hloubka
H6	[μ m]	Toleranční pole
n	[ot/min]	Otáčky
Vc	[m/min]	Řezná rychlost
Vf	[mm/min]	Posuvová rychlost

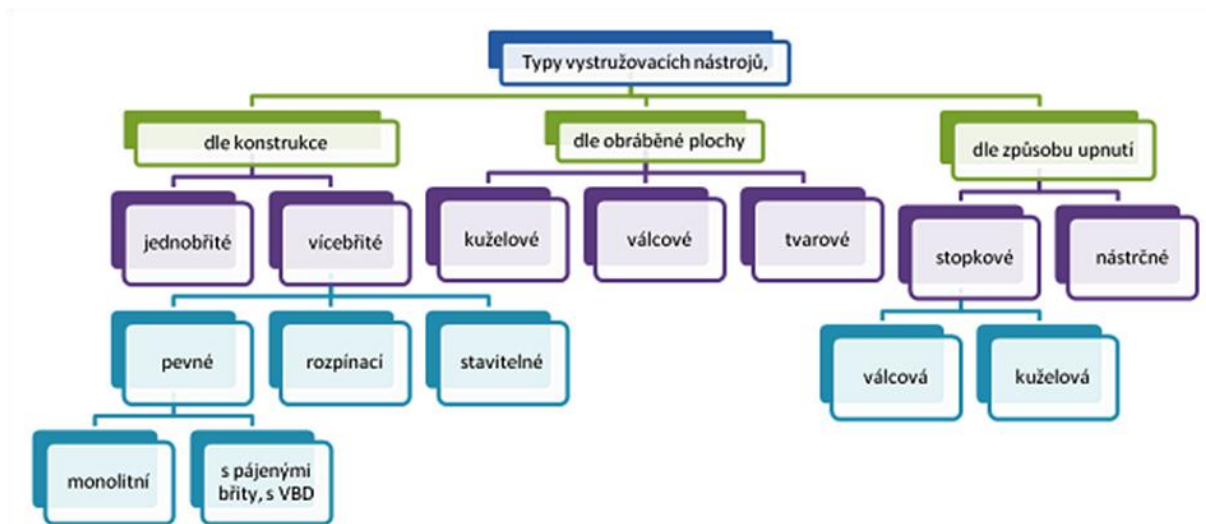
Zkratka	Popis
12050.3	Druh oceli
Al2O3	Druh povlaku
C	Uhlík
CA	Čistá oxidická keramika
CBN	Kubický nitry boru
CM	Směsná oxidická keramika
Co	Kobalt
Cr	Chrom
Cr2C3	Karbid chromu
Cu	Měď
CVD	Chemické povlakování
ČSN	Česká státní norma
DMR	Dolní mezní rozměr
E2 52 40 08	Označení VDI držáku
HMR	Horní mezní rozměr
HSS	Rychlořezná ocel
ISO	Norma
IT	Stupeň přesnosti
KB	Značka opotřebení
KTO	Katedra technologie obrábění
Mn	Mangan
Mo	Molybden
N	Dusík
NbC	Karbid niobu
P	Fosfor
P, M, K, N, S, H	Skupiny slinutých karbidů
PKD	Polykrystalický diamant
PVD	Fyzikální povlakování

Ra, Rz	Parametry drsnosti povrchu
S	Síra
Si	Křemík
SiC	Karbid křemíku
SK	Slinutý karbid
TaC	Karbid tantalu
TiAlN	Druh povlaku
TiC	Karbid titanu
TiCN	Druh povlaku
TiN	Druh povlaku
V	Vanad
VBD	Vyměnitelná břitová destička
VBmax	Značka opotřebení
VC	Karbid vanadu
W	Wolfram
WC	Karbid wolframu
ZČU	Západočeská univerzita

1. Úvod

Nedílnou součástí strojírenské technologie je výroba děr. Tato diplomová práce je zaměřena na testování výstružníků. Vystružování se řadí mezi dokončovací metody třískového obrábění, většinou se jedná o poslední operaci při obrábění, ale může nastat případ, kdy je vyžadováno ještě větších požadavků na kvalitu obráběné díry, potom ještě následují operace jako je honování, lapování, broušení, válečkování atd.

Technologie výroby vystružování je relativně jednoduchá metoda obrábění z pohledu kinematiky procesu, avšak složitost této technologie nastává při výrobě tvarově složitých vystružovacích nástrojů, které jsou vyrobeny z různých druhů materiálů: rychlořezná ocel, slinitý karbid, cermet, kubický nitrid boru a diamant.



Obr. 1.1. Rozdělení vystružovacích nástrojů[3]

V dnešní době je nastolen trend, kdy je požadováno vyrobit součást v co nejkratší době za minimální náklady. U výrobců řezných nástrojů panuje velká konkurence a všichni se předhánějí se vstupem na trh s novým nebo optimalizovaným řezným nástrojem.

Cílem této diplomové práce je na základě analýzy a hodnocení zefektivnit výrobu vystružované díry o průměru 8H6 na VDI držáku a to nejdříve v laboratorních podmínkách na půdě ZČU a následně v reálné výrobě ve firmě HOFMEISTER, s.r.o.

2. Řezné materiály s ohledem pro vystružování

2.1. Požadavky kladené na řezné materiály[1, 2]

Každý řezný materiál má své specifické vlastnosti, které se významně liší. Zatím však není řezný materiál, který by splňoval kritéria pro univerzální použití.

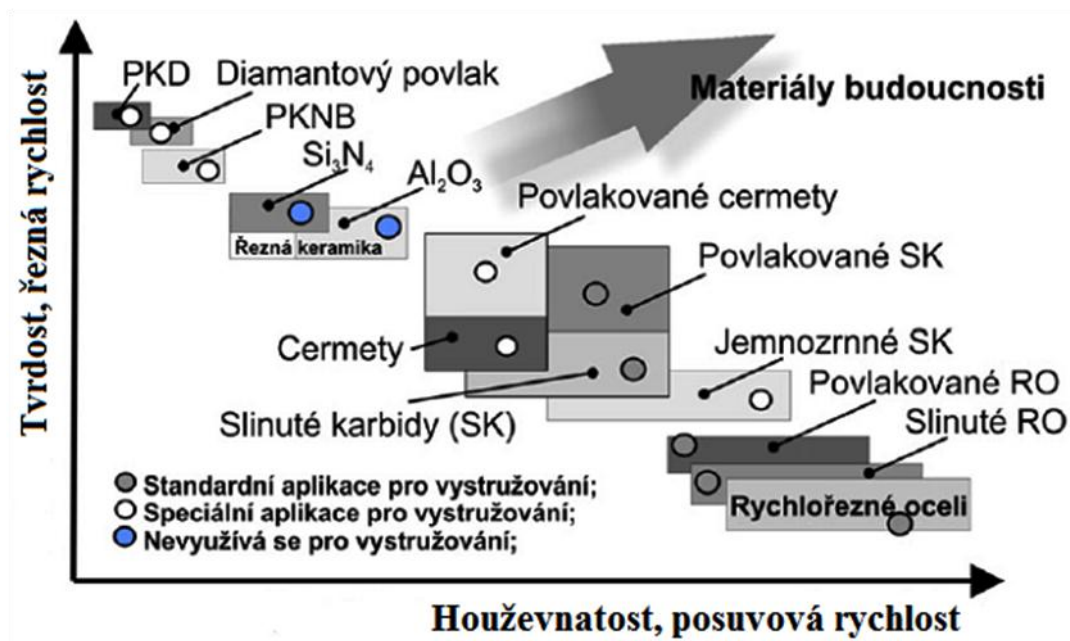
Požadavky:

- Dostatečná tvrdost a pevnost,
- Dostatečná houževnatost a pevnost v ohybu,
- Vysoká řezivost,
- Odolnost proti teplotním rázům,
- Odolnost proti otěru,
- Chemická stálost,
- Chemická neutralita vůči obráběnému materiálu.

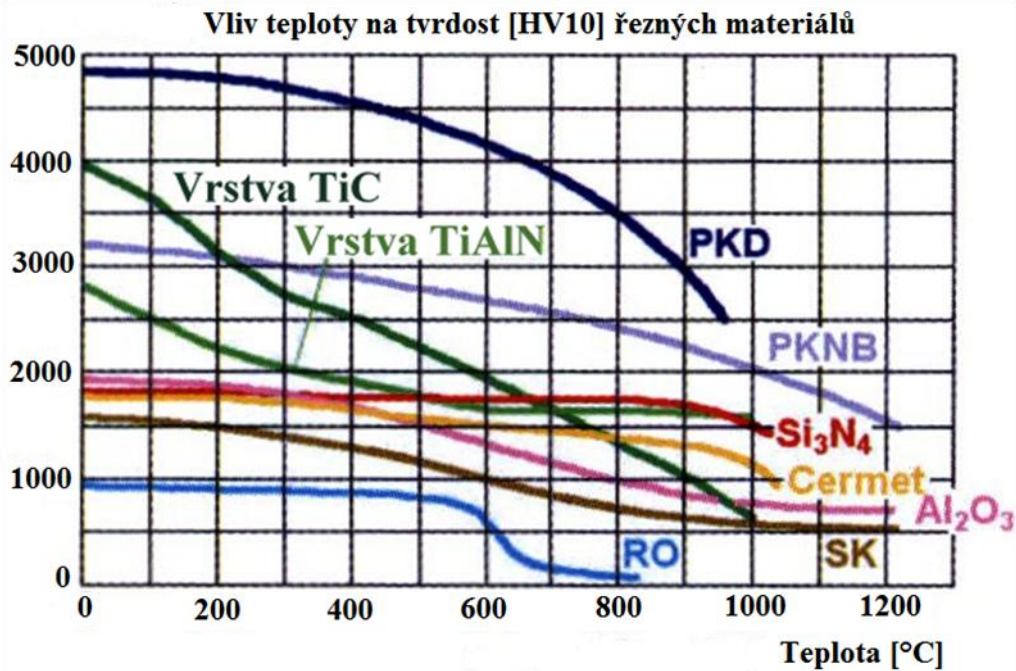
Ovlivňující činitele pro volbu řezného materiálu:

- Konstrukce nástroje,
- Trvanlivost a požadovaný výkon nástroje,
- Namáhání břitu i nástroje jako celku,
- Dostupnost zvoleného materiálu,
- Dostupnost pro tepelné nebo chemicko-tepelné zpracování,
- Cena materiálu.

2.2. Základní rozdělení řezných materiálů



Obr. 2.1. Materiály pro řezné nástroje [3]

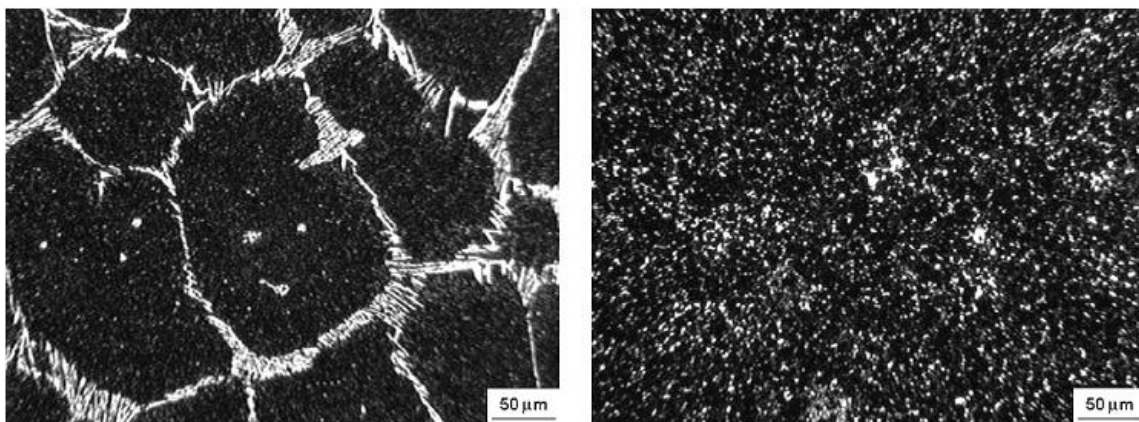


Obr. 2.2. Vliv teploty na tvrdost řezných materiálů[13]

2.2.1. Rychlořezná ocel [4]

Tento materiál se v první řadě vyznačuje výjimečnou stálostí za tepla, tvrdost nad 60 HRC se zachovává do teploty okolo 650°C, dále vysokou pevností v ohybu 3500 až 4000MPa. Rychlořezná ocel má 0,7 až 1,3% uhlíku. Hlavními přísadami jsou W, Cr a V, tyto přísady zaujímají v celkovém objemu okolo 15 až 22%. Jejich karbidy, které jsou stálé do vysokých teplot, jsou příčinou tvrdosti a řezivosti za tepla. Nejznámější rychlořezné oceli mají typické složení 18% W, 4% Cr, 1% V. Oceli se stále vyvíjejí a směřuje se k snižování obsahu W (10 až 12%) a naopak zvyšování V (až 5%) a to za současného zvyšování obsahu uhlíku.

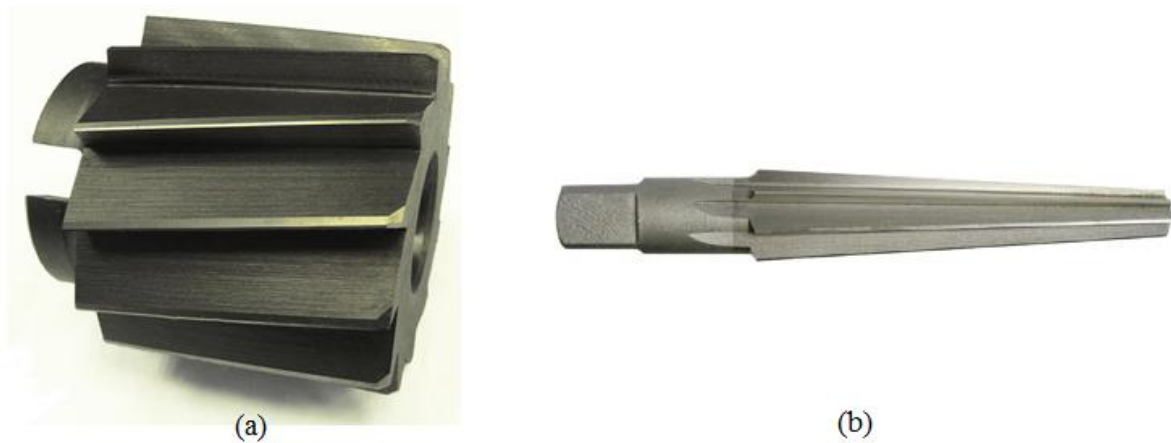
Rychlořezné oceli, které jsou určeny pro vysoké výkony, mají ještě přísadu kobaltu do 10%, který působí disperzní vytvrzení intermetalickými fázemi a tím dále zvyšuje tvrdost oceli za vyšších teplot. U některých druhů rychlořezných ocelí je wolfram částečně nahrazen molybdenem.



Obr. 2.3. Mikrostruktura rychlořezné oceli[5]

Maximální rozpustnost uhlíku v austenitu je u tohoto druhu ocelí jen 0,7%, a proto mají většinou částečně ledeburitickou strukturu. Jestliže tvoří ledeburitické karbidy hrubé řádky, je rychlořezná ocel docela křehká a obzvláště při nepříznivém průběhu řádků vzhledem k namáhání nástroje je nebezpečí lomu. Z tohoto důvodu je snaha ovlivnit rozložení karbidů již při krystalizaci oceli i úpravou postupu kování polotovárů.

Nástroje z rychlořezných ocelí se v dnešní době už moc nepoužívají z důvodu zvýšených technicko-ekonomických hledisek (zvýšené požadavky na kvalitu povrchu, produktivita procesu vystružování, životnost nástroje a neposlední řadě náklady na výrobu). Jsou nahrazovány lepšími materiály, jako je slinutý karbid nebo cermet.



Obr. 2.4. (a) Nástrčný výstružník HSS se zuby ve šroubovici[6](b) kuželový ruční výstružník[17]

Tab. 2.1. Doporučené řezné podmínky pro výstružníky z HSS[16]

Platí pro výstružníky dle ČSN 221429, 221430, 221431, 221432, 221435, 221445, 221446, 221447, 221452, 221458

MATERIÁL	Pevnost [MPa]	Chlazení	Řezná rychlost v [m/min]	Posuv s [mm/ot] pro ØD výstružníku [mm]							
				5	10	18	25	40	63	80	100
Nelegovaná ocel	<500	E	9÷7	0,12	0,22	0,32	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00
	<700	E	8÷5	0,12	0,22	0,32	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00
	<900	E	6÷4	0,10	0,18	0,22	0,32	0,40	0,50	0,60	0,80
Legovaná ocel	<800	E	6÷4	0,12	0,22	0,32	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00
	<1000	E	4÷3	0,10	0,18	0,22	0,32	0,40	0,50	0,80	0,80
Korozivzdorná ocel	<850	O	4÷2	0,10	0,18	0,22	0,32	0,40	0,50	0,60	0,80
Sedá litina	<200 HB	E/L	8÷6	0,12	0,15	0,20	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
	>200 HB	E/L	5÷3	0,12	0,15	0,20	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
Temperovaná litina	<300 HB	E	8÷6	0,16	0,22	0,30	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
Titan a jeho slitiny	<850	O	4÷3	0,08	0,12	0,15	0,20	0,25	0,35	0,50	0,60
Al a jeho slitiny - tvářené	<450	E	15÷10	0,20	0,25	0,32	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20
Al pro odlévání	<10%Si	E	10÷8	0,10	0,25	0,32	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20
	>10%Si	E	8÷6	0,20	0,25	0,32	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20
Elektrolyt. měď Cu>99%	<400	E/O	8÷4	0,12	0,15	0,20	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
Mosaz	- krátká tříska	E	15÷11	0,16	0,22	0,30	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	- dlouhá tříska	E	11÷6	0,16	0,22	0,30	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
Bronz	<600	E/O	6÷4	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,70	1,00
Umělá hmota	- termoset	L	6÷3	0,20	0,30	0,40	0,50	0,70	0,90	1,20	1,50
	- termoplast	L	10÷6	0,10	0,30	0,40	0,50	0,70	0,90	1,20	1,50

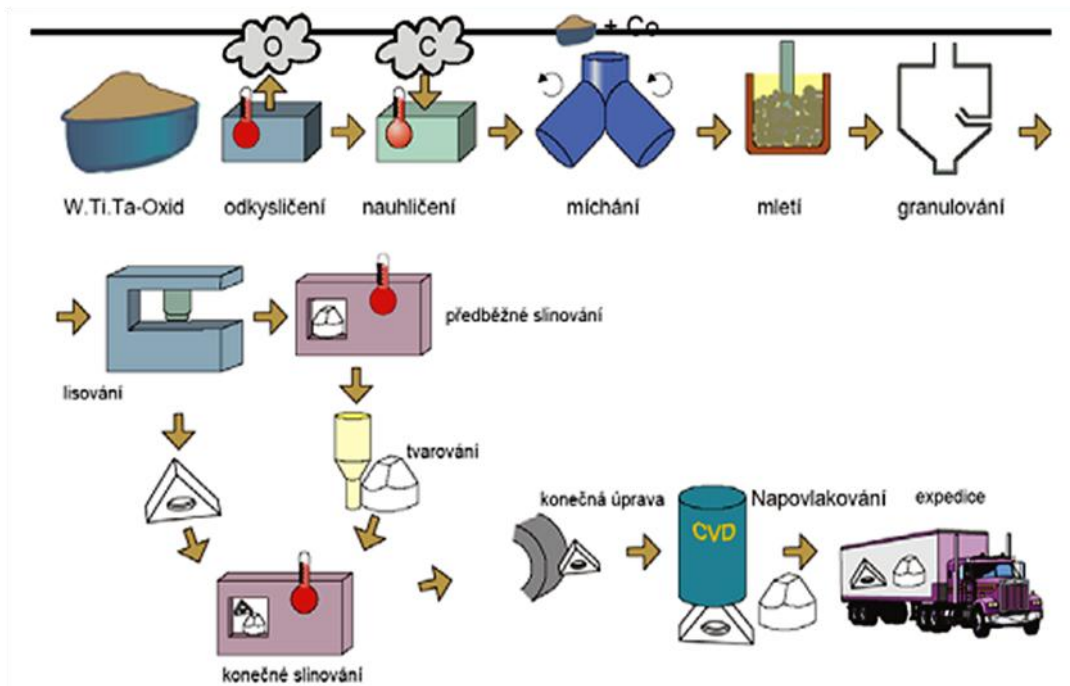
Chlazení: E - emulze, vrtací oleje
O - olej řepkový
L - vzduch

2.2.2. Slinutý karbid[7,8,9]

2.2.2.1. Nepovlakované slinuté karbidy

Slinuté karbidy jsou výrobkem práškové metalurgie a jejich základní charakteristikou je, že jsou to směsi karbidických fází jednotlivých karbidů a kovového pojiva, kterým bývá kobalt. Fáze karbidů jsou tvořeny z velice tvrdých karbidů kovů s vysokou teplotou tavení, patří sem: Karbid wolframu WC, titanu TiC, tantalu TaC, niobu NbC, chromu Cr₃C₂, vanadu VC. Nejvýznamnějším z těchto karbidů je karbid wolframu WC.

Z hlediska použití mají největší podíl VBD, ale zároveň roste procento využívání monolitních nástrojů (vrtáky, výstružníky, kulové frézy) a díky vysokým tlumícím schopnostem se tyto materiály využívají i v oblasti držáků.



Obr. 2.5. Schéma výroby slinutých karbidů [7]

Slinuté karbidy se rozdělují do šesti základních skupin podle normy ISO na P, M, K, N, S a H, z důvodu lepšího odlišení se každá skupina označuje jinou barvou. Každá skupina těchto slinutých karbidů se používá na obrábění jiných materiálů.

1. Skupina P – modrá barva: Pro obrábění oceli, které tvoří dlouhou třísku. Při obrábění dochází ke značnému opotřebení nástroje z důvodu působení velkých řezných sil.
2. Skupina M – Žlutá barva: Tato skupina karbidů slouží pro obrábění feritických, chromových, chromniklových a austenitických ocelí. Při obrábění se tvoří středně dlouhá tříska. Tento karbid má vysokou houževnatost a je vhodný pro použití při hrubovacích operacích.
3. Skupina K – Červená barva: Tyto slinuté karbidy se používají pro obrábění materiálu, který tvoří krátkou třísku, to jsou všechny druhy litiny.
4. Skupina N – Zelená barva: Zejména pro obrábění nekovových a neželezných materiálů (slitiny hliníku a mědi).
5. Skupina S – oranžová barva: Slouží pro obrábění žáropevných a žáruvzdorných materiálů, které jsou na bázi titanu, niklu a kobaltu.
6. Skupina H – Šedivá barva: Používají se na obrábění kalené oceli a tvrzené litiny.

Jednotlivé materiály, které jsou obsaženy ve slinutých karbidech, značně ovlivňují vlastnosti a to technologické a provozní.

- Karbid wolframu WC – zaručuje odolnost proti abrazivnímu opotřebení a zvyšuje pevnost řezného klínu.
- Karbid titanu TiC – zvětšuje odolnost proti vylámaní částicek řezného materiálu z čela nástroje, avšak snižuje houževnatost, pevnost v ohybu.
- Karbid tantalu TaC a karbid niobu NbC – zvyšuje odolnost proti opotřebení za vysokých teplot ve spojení s karbidem wolframu WC. Také zvyšuje houževnatost a odolnost proti tepelným rázům, ale méně než karbid titanu TiC.
- Kobalt Co – zajišťuje funkci pojíciho materiálu.

Dalšími ovlivňujícími faktory jsou: Velikost a typ jednotlivých zrn (jemné, středně hrubé a hrubé), obsah pojíciho kovu (Co), množství a velikost strukturních vad, pórovitost a kvalita procesu výroby a vstupních surovin.

2.2.2.2. *Povlakované slinuté karbidy*

První povlak, který byl nanesený na břitové destičky je datován k 60. letům minulého století. Jednalo se o povlak TiC. Postupem času se vyvíjely další povlaky, jako jsou TiN, TiCN, Al₂O₃ a byly nanášeny metodou CVD - chemické napařování. Dále byla objevena metoda PVD – fyzikální napařování.

Dříve stačilo jen několik druhů povlaků z hlediska s porovnání s jinými nástrojovými materiály. V dnešní době je každý rok vyvinut nebo zdokonalen nespočet nových druhů povlakovaných slinutých karbidů. Jednotlivé řezné materiály jsou různé z hlediska typu a tloušťkou povlaku, kombinací vrstev, metodou nanášení a substrátem.

Vývojové stupně povlakovaných slinutých karbidů:

1. *Generace*

Do této skupiny patří jednovrstvý povlak (pouze TiC) s tloušťkou okolo 6 μm. Dochází zde k nesoudržnosti podkladu a povlaku, tato nedokonalost byla způsobena špatnou technologií výroby, vznikala zde křehký eta-karbid. Docházelo zde k odlupování povlaku.

2. *Generace*

Ve druhé generaci je jednovrstvý povlak (TiC, TiCN, TiN), který měl zdokonalenou technologii výroby a nevyskytoval se zde křehký eta-karbid mezi podkladem a povlakem. Byla zde docílena větší tloušťka vrstvy (do 10 μm). Jsou zde zahrnuty povlakované slinuté karbidy od společnosti Pramet, např. typ 015 P, 020 P.

3. *Generace*

Do této generace spadá vícevrstvý povlak (dvě i více vrstev), který ostře ohraničené přechody mezi jednotlivými vrstvami. V řazení jednotlivých vrstev je určitý systém, jednotlivé vrstvy se na sebe skládají podle určitých vlastností. Jako první se nanáší vrstva s lepší přilnavostí k podkladu, ale naopak může mít nižší odolnost proti opotřebení. Následně se nanáší vrstvy, které mají vysokou tvrdost, lepší odolnost proti opotřebení a oxidaci za vysokých teplot. Nejčastější řazení vrstev je následující: TiC-Al₂O₃, TiC-TiN, TiC-TiCN-TiN, TiC-Al₂O₃-TiN.



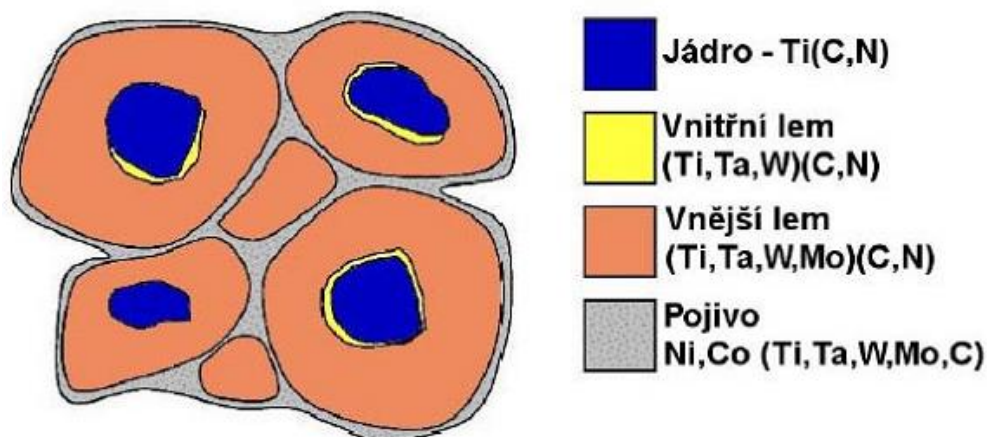
Obr. 2.6. Jednotlivé vrstvy v materiálu [7]

4. Generace

U této generace se jedná o tzv. speciální multivrstvý povlak, který má většinou více než deset vrstev a mezivrstev. Jsou zde použity vrstvy ze stejných materiálů jako u předchozí generace povlaků. Tyto vrstvy jsou vyráběné za použití metody CVD za pomoci cíleného řízení atmosféry v svlakovacím zařízení a u metody PVD odpařováním různých typů tarotů. Mezi velké výhody těchto vrstev patří schopnost zpomalovat šíření trhlin k substrátu. Patří sem povlaky diamantové, nanokompozitní, gradientní, supermřížkové a inteligentní, v budoucnosti je doplní povlaky z kubického nitridu boru.

2.2.3. Cermet [7, 8]

Název tohoto materiálu vznikl složením prvních tří hlásek dvou slov a to CERamics a METal, tento materiál je složen kombinací tvrdosti keramiky a houževnatosti kovu. Tvrdé části materiálu jsou tvořeny u cermetů karbidem titanu TiC, karbonitridem titanu TiCN, nitridem titanu TiN, mohou zde být i složky z karbidu tantalu TaC, karbidu wolframu WC a nitridu tantalu TaN. U cermetů je pojivem nikl Ni, molybden Mo, kobalt Co. Cermety jsou produktem práškové metalurgie a postup výroby je stejný jako u slinutých karbidů.



Obr. 2.7. Mikrostruktura cermetu [7]

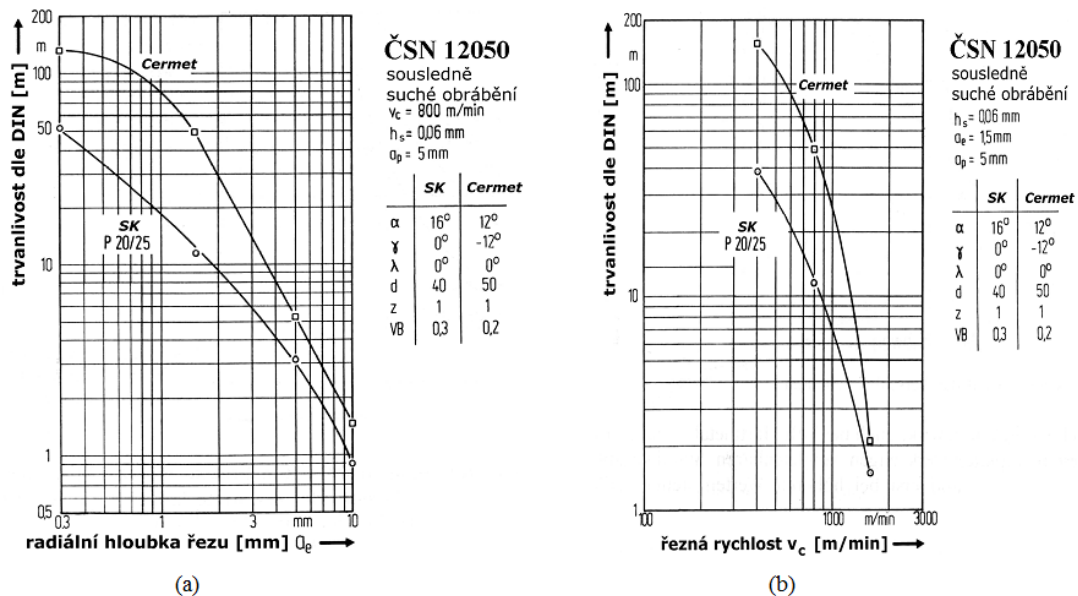
Ve srovnání se slinutými karbidy umožňují vyšší řezné rychlosti, z toho vyplývá, že TiC je termochemicky stabilnější než WC. První generace cermetů (TiC-Mo-Ni a TiC-Mo₂C-Ni) je omezena na oblast lehkého obrábění. U druhé generace cermetů byly přidány TaC a WC a tím zlepšeny vlastnosti daného řezného materiálu, které měly za následek větší oblast použitelnosti, a to na soustružení středními rychlostmi a lehké frézování. Třetí generace se zakládá na složení TiC-TiN, měnil se obsah TiC na TiN nebo Ti(C, N). Dodáním nitridu titanu TiN se zvětšuje tvrdost a zmenšuje velikost zrna, ale stoupá zbytková pórovitost. Podaří-li se způsobem výroby zmenšit pórovitost, vytvoří se materiál vhodný pro použití při konkrétních řezných operacích, který má výrazně větší schopnost odolávat opotřebení a vydrolování bříty.



Obr. 2.8. Výstružník s cermetovými bříty [12]

Typické vlastnosti cermetů:

- Nízká měrná hmotnost,
- Vysoká tvrdost a křehkost, ale nižší houževnatost,
- Vysoká tvrdost za tepla,
- Vysoká odolnost proti abrazivnímu opotřebení na hřbetu,
- Výborná chemická stálost.



Obr. 2.9. Srovnání trvanlivosti cermetu a slinutého karbidu [7]

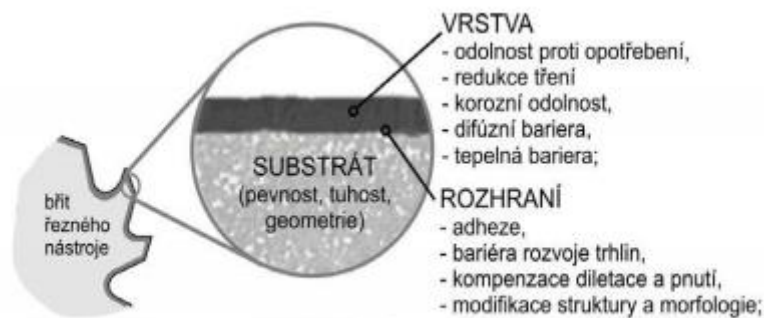
Cermety mají výborné výsledky při řezání vysokými reznými rychlostmi, malým posuvem a hloubkou řezu. Z důvodu pomalého průběhu opotřebovávání mají vyšší trvanlivost, ale při hrubování jsou omezeny křehkostí.

Změna velikosti zrna ovlivňuje mechanické vlastnosti. Velikost zrna ovlivňuje dusík (N), s větším obsahem dusíku se zmenšuje velikost zrna, naopak s nižším obsahem dusíku se zvyšuje pórovitost, která zhoršuje vlastnosti. To můžeme vyřešit slinováním cermetů v dusíkové atmosféře.

Stejně jako u slinutých karbidů můžeme vytvořit moderními metodami gradientní cermet s proměnlivou odlišností vlastností a to od houževnatého jádra až po tvrdou povrchovou vrstvu.

2.2.4. Povlakované slinuté karbidy a cermety [3, 8]

Stabilní tenká vrstva povlaku se nanáší na rezný materiál, který má určitou houževnatost a tvrdost pomocí povlakovacích PVD nebo CVD metod. Povlak je tenká vrstva, která má lepší vlastnosti než podkladový materiál např. otěruvzdornost, tvrdost, odolnost proti opotřebení. Při nanášení vrstev se musí brát v potaz nejenom samotná vrstva, ale i podkladový materiál, geometrie popřípadě mikrogeometrie nástroje. Protože jakmile bude u substrátu nebo geometrie nějaká chyba tak vrstva to nezachrání.



Obr. 2.10. Řez povlakovaným nástrojem [3]

Pro vystružovací nástroje se používá PVD metoda nanášení tenké vrstvy. Nanášení probíhá za teploty 400 – 600°C. Proces se skládá s odpařování kovu, který reaguje např. s dusíkem a tím vzniká na povrchu tvrdý nitridický povlak.

Hlavní složky PVD povlaků: [18]

PVD - TiN – nitrid titanu, má univerzální vlastnosti,

PVD - Ti(C, N) – karbonitrid titanu je tvrdší než TiN zvyšuje odolnost proti opotřebení,

PVD - (Ti, Al)N – titan aluminium nitrid má vysokou tvrdost, vysokou odpornost proti oxidaci,

PVD - Oxidický - je využíván vzhledem k jeho chemické netečnosti a zvýšené odolnosti proti opotřebení ve tvaru žlábků.

Tab. 2.2. Výhody a nevýhody PVD povlaků [3]

Výhody	Nevýhody
Vytváří tlaková zbytková napětí	Důkladnější příprava povrchu
Příznivý vliv na vlastnosti podkladu	Nemožnost napovlakování odvrácených míst
Schopnost povlakovat i ostré hrany	Tenčí vrstva povlaku (5 μ m)
Možnost přesných tloušťek vrstev	Menší možnosti výběru povlaku

Tab. 2.3. Řezné podmínky pro výstružníky VRV firmy HAM-FINAL[15, 19]

Posuv na otáčku: pro $\varnothing d < 8$ mm $\Rightarrow f = 0,2 - 0,4$ mm pro $\varnothing d > 8$ mm $\Rightarrow f = 0,3 - 0,6$ mm	Řezný materiál			
	Slinutý karbid	Slinutý karbid povlakovaný	Cermet	Cermet povlakovaný
Obráběný materiál	v_c [m·min ⁻¹]	v_c [m·min ⁻¹]	v_c [m·min ⁻¹]	v_c [m·min ⁻¹]
Ocel k zušlechtní např. 42CrMo4	12 až 20	18 - 24	90 – 170	110 - 190
Cementační ocel např. 16MnCr5	15 - 25	18 - 26	100 – 150	150 - 190
Automatová ocel např. 9SMn28k	22 – 30	28 - 40	110 - 150	150 - 240
Konstrukční ocel např. St37	22 - 30	30 - 45	120 - 200	140 - 240
Šedá litina GG např. GG25	28 - 48	110 - 170	nevhodné	160 - 250
Feritické tv. litiny GGG např. GGG40	20 - 38	38 - 80	110 - 190	140 - 240
CrNi-ocel např. X5CrNi 18 10	nevhodné	25 - 35	nevhodné	nevhodné
Hliník (Si < 9 %) např. AlSi7	40 - 110	nevhodné	nevhodné	nevhodné



Obr. 2.11. Výstružníky monolitní a s pájenými břity [20]

2.2.5. Oxidická řezná keramika [7, 10, 11]

Řezná keramika je zařazena mezi anorganické materiály. Vyznačuje se nízkou měrnou hmotností vysokou tvrdostí, tepelnou a chemickou stálostí a odolností proti opotřebením.

Mechanické vlastnosti řezné keramiky jsou ovlivněny především:

- Charakterem chemické vazby, u řezné keramiky je iontová a kovalentní, tím se výrazně ovlivňuje pohyb dislokací a má za následek křehkost řezné keramiky.
- S porovnáním s kovovými materiály má řezná keramika složitější krystalickou mřížku.
- Uspořádání částic v prostoru nestejných tvarů, fázi a rozměrů má za následek velký počet trhlin, defektů a pórů.

Čistá oxidická keramika (CA) – Tento druh řezné keramiky má obsah Al_2O_3 99,5%. Její vlastnosti jsou: vysoká tvrdost, otěruvzdornost, chemická odolnost a stabilita při vysokých teplotách. Naopak se vyznačuje nízkou odolností proti mechanickému a tepelnému rázovému zatížení a ohybové pevnosti. Tento druh řezné keramiky se používá pro jemné dokončovací operace.

Polosměsná oxidická keramika (disperzní keramika) – Obsahuje 15 až 20% ZrO_2 a také může obsahovat i jiné složky třeba CoO . Přísada ZrO_2 zmenšuje náchylnost proti lomu a zvětšuje houževnatost. Na rozdíl od čisté keramiky vykazuje větší pevnosti.

Směsná oxidická keramika (CM) – V tomto druhu keramiky se vyskytují složky TiN a TiC . Přísada TiC zvyšuje odolnost vůči tepelným rázům a přísada TiN taktéž vylepšuje odolnost proti tepelným rázům a zvyšuje pevnost.

Kompozitní oxidická keramika - Vyskytují se zde monokrystaly křemíku SiC , jinak řečeno whiskery v matici Al_2O_3 , které mají rovnoměrnou jemnozrnnou strukturu. Hlavní úkolem vláken z SiC , je zabraňovat mikrotrhlinám v základní matici. SiC vlákna mají průměr 0,1 až 1 μm a délku 5 až 100 μm . Tyto vlákna zvyšují tvrdost za tepla, ohybovou pevnost, odolnost proti lomu, otěruvzdornost a odolnost vůči tepelným rázům.



Obr. 2.12. Břitové destičky třídy GC1115 [10]

Výroba řezné keramiky je srovnatelná v jednotlivých oblastech jako prášková metalurgie. Skládá se z:

- Přípravy hmoty přesného složení,
- Tvarování,
- Lisování (za studena, za vysokých teplot nebo izostatické lisování za vysokých teplot),
- Finální opracování.

Závažným problémem u tohoto materiálu je velký vznik mikrotrhlin, které ještě za působení tepelného a mechanického namáhání mohou mít za následek nenadálé porušení břitové destičky. Z toho důvodu jsou hledány způsoby ochrany řezného klína:

- Změna množství přísad (ZrO_2 , TiN, TiC, TiCN) a vyztužení whiskery,
- Zlepšení technologie výroby,
- Snížení tepelného zatížení břitu nástroje,
- Jemnozrnnosti a malým výskytem materiálových defektů.

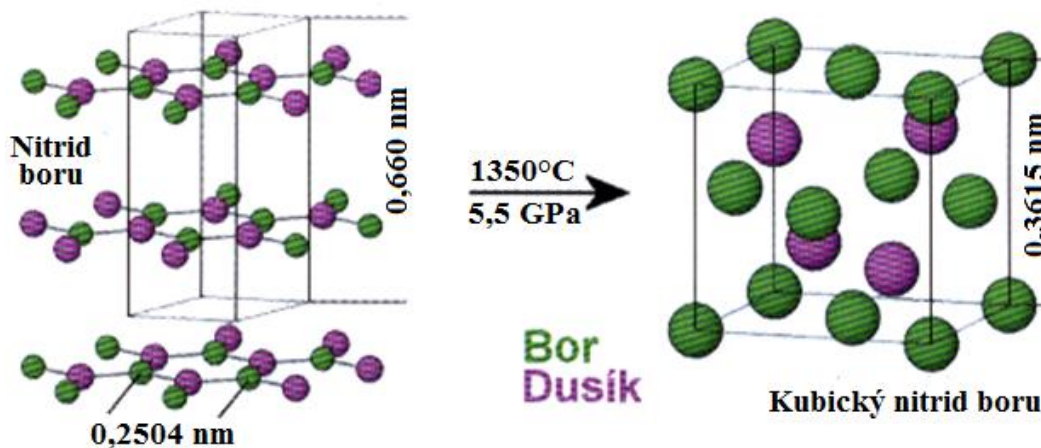
Řezná keramika se pro výrobu vystružovacích nástrojů zatím nepoužívá a to z několika důvodů:

- Vysoká křehkost keramiky – při najetí a vyjetí z místa řezu rázy na nástroj,
- Možnosti upínání pouze upínkami – větší rozměry nástrojů,
- Zatím není technologicky zvládnuto pájení břitových destiček.

2.2.6. Supertvrde řezné materiály [2, 3, 8, 13]

2.2.6.1. Kubický nitrid boru

Tento materiál se řadí do skupiny supertvrde řezné materiály, nevyskytuje se v přírodní formě. Je vyrobený synteticky z hexagonálního nitridu boru, tem má přibližně stejné vlastnosti jako grafit. Nitrid boru je složen z 56,4% dusíku a 43,6% boru.



Obr. 2.13. Změna hexagonální mřížky na kubickou[8]

Vlastnosti kubického nitridu boru:

- Má vysokou tvrdost srovnatelnou s diamantem,
- Vyznačuje se vysokou tepelnou vodivostí,
- Výborná teplotní stabilita až do 1500°C,
- Vysoká houževnatost, záleží na druhu CBN (umožňuje vyšší hloubky řezu),
- Při správné zacházení s nástrojem má mnohonásobně vyšší životnost než nástroje ze slinutého karbidu, řezné keramiky,
- Odolává difúzním a oxidačním změnám,
- Značná nevýhoda jsou pořizovací náklady, cena se pohybuje cca 10x výše než u SK.

Kubický nitrid boru se používá pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů, jako jsou žáruvzdorné materiály, bílé litiny, kalené oceli a další. Je zde dosaženo vysoké produktivity

obrábění. Vyskytuje se více druhů CBN, liší se podle procentního podílu CBN, druhu pojiva a struktury.

a) *Kubický nitrid boru s obsahem CBN 50 -65%*

Tento materiál s nižším obsahem CBN slouží pro tvrdé obrábění kalených ocelí do 65 HRC. Vyrábí se ve dvou variantách a to jako plné destičky nebo s napájenou řeznou hranou.

b) *Kubický nitrid boru s obsahem CBN 80 – 95%*

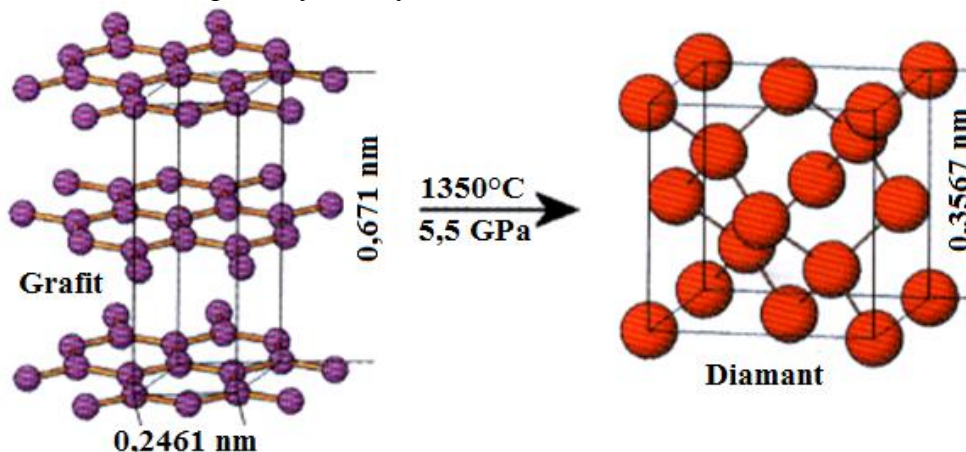
Tento druh má větší houževnatost a ořezuvzdornost. Jsou určeny pro obrábění tvrdých litin nebo kalených ocelí s velkými přídávky na obrábění. Vyskytují se pouze ve formě destiček z plného materiálu.



Obr. 2.14. Břitové destičky z CNB CBN050C[12]

2.2.6.2. *Diamant*

Vyskytuje se v přírodní nebo umělé formě. V oblasti obrábění se používá syntetický diamant, protože přírodní se vyskytuje v malém množství a je velmi drahý. Syntetický diamant se vyrábí přeměnou hexagonálního grafitu za pomoci rozpouštědla/katalyzátoru za vysoké teploty a tlaku. Diamanty jsou dostupné jako monokrystalický nebo polykrystalický diamant, CVD diamantové povlaky, vrstvy



Obr. 2.15. Změna hexagonální mřížky na kubickou[8]

Vlastnosti diamantů:

- Vysoká tvrdost,
- Dobrá tepelná vodivost,
- Nízký koeficient tření,
- Skvělá odolnost proti abrazivnímu opotřebení,
- Pracovní teplota do 700°C,
- Afinita k materiálům obsahující Fe a Ni,
- Vhodný pro obrábění neželezných kovů, plasty, dřevo, kompozitní materiály, keramika, kámen,
- Vysoká křehkost,
- Vysoká cena – dražší než CBN.



Obr. 2.16. Diamantová břitová destička[12]

Monokrystalický diamant

Tento druh diamantu se vyznačuje vynikajícími ostrými hranami, nízkým třením a dosahuje se s ním výborné kvality obrobeneho povrchu. Nevýhodou je jejich velká křehkost, snadno se lámou podél určitých krystalografických rovin. Rozhodující na trvanlivost nástroje je orientace krystalu vůči působícím silám.

Polykrystalický diamant

Tento diamant se skládá z krystalů diamantu a kobaltového pojiva. Vyznačují se nižší tvrdostí a vyšší houževnatostí. Díky kobaltu je náchylnější vůči korozi. Vhodný pro obrábění plastů, kompozitních materiálů, tvrdých materiálů atd.

CVD diamantové povlaky

Využívají se na nástrojích vyrobených ze slinutých karbidů. Výhodami jsou nízké tření, díky již vyrobenému utvářeči třisek se zvyšují řezné podmínky, jsou zde o poznání nižší ceny než nástroje nebo VBD s připájeným roubíkem. Povlaky se nanášejí metodou CVD.

2.2.6.3. Oblast použití super řezných materiálů[21]

Nástroje vyrobené z těchto materiálů se uplatňují především u automobilového průmyslu, kde dochází k vyššímu používání speciálních materiálů, jako jsou hliníkové a magnéziové slitiny (hlavy válců, klikové a vačkové hřídele, turbodmychadla, common-raily atd.). Aby mohlo dojít k plnému využití těchto řezných materiálů, jsou kladeny vysoké nároky na výrobce strojů. Musjí mít vysokou tuhost při vysokých hodnotách posuvu a otáček, co nejstabilnější upnutí obrobků, nesmí vznikat chvění, minimální házivost vřetena, vysoké tlaky při chlazení. Další oblast použití je letectví a kosmonautika, kde jsou používány speciální slitiny.

Příklad použití:

Vystružování vodící části pro ventil v hliníkové hlavě válců, která je osazena pouzdrem ze slitiny mědi.

- Nástroj: 6 břitý výstružník s napájenými PKD plátky
- Řezné podmínky: $v_c = 75$ m/min, $v_f = 1720$ mm/min, $n = 4775$ ot/min

2.3. Řezné materiály vhodné pro vystružovací nástroje

V této době existuje mnoho výrobců, kteří se zabývají výrobou materiálů pro řezné nástroje. Například se jedná o výrobce, jako jsou firmy Kyocera, Ceratizit, Extramet, Element Six, Diamond Innovations, Iljin Diamont.

Tab. 2.4. Přehled řezných materiálů[3, 22, 23, 24, 25, 26, 27]

<i>Typ řezného materiálu</i>	<i>Výrobce</i>	<i>Označení výrobce</i>
SK	Ceratizit	MG12, MG18
	Extramet	EMT100, EMT210
Cermet	Kyocera	TN30, TN60
	Ceratizit	TNC54
PKD	Element Six	CMT302
CBN	Diamond Innovations	BZN6000, BZN HTM 2100
	Iljin Diamont	SB50

2.3.1. Popis jednotlivých materiálů

MG12 – submikronový slinutý karbid se zrnitostí 0,5 – 0,8 μm s tvrdostí až 1790 HV30, podíl pojiva 6 %. Vhodný pro obrábění kompozitních materiálů, slitin hliníku, litin o malé tvrdosti. Vhodný na výrobu rotačních nástrojů.

MG18 - submikronový slinutý karbid se zrnitostí 0,5 – 0,8 μm s tvrdostí až 1660 HV30, podíl pojiva 10 %. Má vyšší houževnatost než MG12. Použití pro rotační nástroje. Vhodný pro obrábění korozivzdorných a žárupevných ocelí s obsahem Cr, Ni, Ti.

TNC54 – cermetový materiál pro vysoce výkonné nástroje s tvrdostí 1630 HV30, houževnatost je podobná jako u submikronového karbidu. Vhodný pro dokončovací nástroje.

EMT100 – jemnozrný slinutý karbid s velikostí zrna 0,8 μm s tvrdostí 1790 HV30. Obsahuje 93% WC, 6% pojiva a zbylé 1% jsou ostatní prvky. Vhodný pro obrábění neželezných kovů, popřípadě kompozitních materiálů.

EMT210 - – slinutý karbid s velikostí zrna 0,8 μm s tvrdostí 1600 HV30. Obsahuje 89% WC, 10% pojiva a zbylé 1% jsou ostatní prvky. Vhodný pro obrábění slitin hliníku a titanu a při nízkých úběr může obrábět i nerezové oceli.

TN30 – jedná se o cermet, který má jemnozrnnou strukturu. Má vysokou tvrdost a nízkou houževnatost. Vhodný pro obrábění tvárné a šedé litiny.

TN60 - jemnozrný cermet na bázi materiál TiCN + NbC, který má vysokou tvrdost ale i dostatečnou houževnatost. Tomuto materiálu nevadí přerušovaný řez při vysokých řezných rychlostech a hodí se pro obrábění uhlíkových, slitinových a austenitických ocelí ale i pro neželezné kovy.

CMT302 – jedná se o polykrystalický diamant, který má jedinečnou kombinaci pevnosti, kvalitě řezné hrany a odolnosti proti opotřebení. Má 2-30 μm velikost zrn. Vhodný pro obrábění slitin hliníku, které obsahují vysoké množství křemíku a také se hodí pro obrábění litin.

BZN6000 – Jedná se o velmi kvalitní krystaly CBN, které jsou náhodně orientované a silně spojené mezi sebou. Vrstva PCBN je spojena substrátem karbidu wolframu. Tento materiál má vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení. Dosahuje vynikajících vlastností při přerušované řezu.

BZN HTM 2100 - Vhodné pro kontinuální a mírně přerušované obrábění. Kombinace vysoké odolnosti proti otěru, dobré rázové houževnatosti a chemické stability umožňuje snížení ceny, dobrou povrchovou úpravu a delší životnost.

SB50 – Tento materiál obsahuje 50% CBN s velikostí zrn 2 μ m, kde pojivem je karbid titanu.

3. Rozbor současného stavu technologie výroby dané tolerované díry

3.1. Úvod

K řešení této diplomové práce byla oslovena firma HOFMESTER, s.r.o. V této firmě byla vytipována součást, kde se používá výrobní operace vystružování. Jedná se VDI držák, který slouží pro upínání řezných nástrojů do revolverové hlavy u soustruhu. Firma HOFMEISTER vyrábí hodně druhů těchto držáků, které se liší velikostí a průměrem vystružené díry. Do této diplomové práce byl vybrán VDI držák s označením E2 52 40 08, zde se jedná o vystružování díry o průměru 8H6 do hloubky 61 mm. Výrobní výkres je uveden v příloze (příloha č. 1.)



Obr. 3.1. VDI držák

Na obrázku (Obr. 3.1.) je znázorněn VDI držák. Operace vystružování je aplikovaná pouze pro prostřední díru, kde je posléze upnut řezný nástroj. Ostatní dvě díry se pouze vrtají a slouží pro přívod řezné kapaliny do místa řezu. Dále se bude hovořit jen o prostřední díře, další výrobní operace, které jsou prováděny na této součásti, jsou nad rámec této práce.

Jak již bylo uvedeno výše, jedná se o přípravek pro upínání nástrojů, z toho to důvodu jsou zde kladeny vysoké požadavky na přesnost obráběné díry.

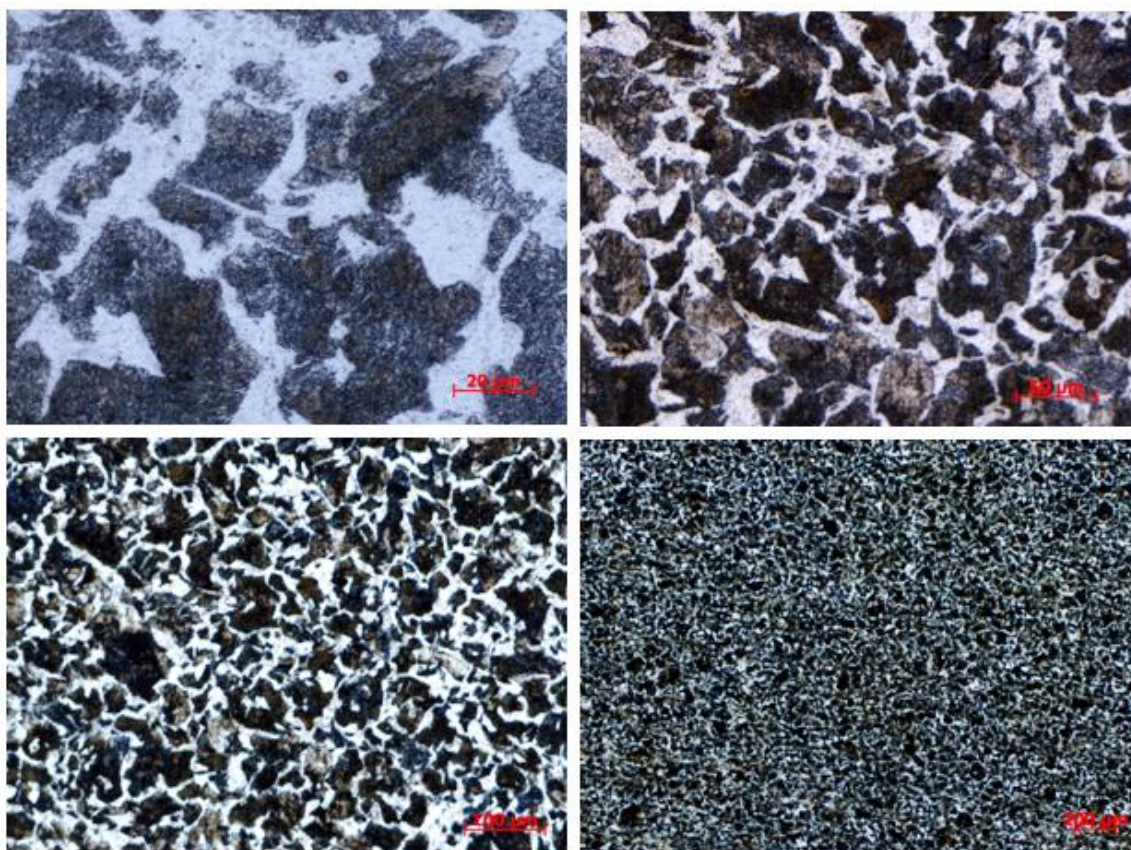
Tab. 3.1. Požadavky na opracování

Průměr	8 mm
Tolerance	H6
Předpracovaný průměr	7,8 mm
Způsob předpracování	vícebřítý nástroj
Hloubka díry	61 mm
Průchozí díra	ne
Osazená díra	ne
Přerušení řezu	ne
Drsnost povrchu Ra	0,8 μm
Házivost	do 0,05 mm

Materiál používaný pro výrobu VDI držáku je konstrukční ušlechtilá ocel 12050.3, která je žíhaná na měkko při 700°C/24 hod v peci. Jde o perliticko-feritickou strukturu s výrazným lamelárním perlitem a feritickým síťovým. V níže uvedené tabulce (Tab. 3.2) je znázorněno chemické složení, které bylo pořízeno ze vzorku materiálu z firmy HOFMEISTER.

Tab. 3.2. Chemické složení oceli 12050.3

Ocel 12050.3	Chemický prvek	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
	% látky	0,491	0,675	0,248	0,0106	0,0147	0,0524	0,0702	0,179



Obr. 3.2. Mikrostruktura oceli 12050.3

3.2. Technologický postup

Podmínky testu:

- Obráběný materiál: 12050.3
- Nástroj: VHM monolitní výstružník průměr 8H6 (výkres výstružníku viz příloha č. 4.)
- Obráběcí stroj: Frézovací centrum AXA-DBZ (parametry stroje viz příloha č. 2.)
- Chlazení: vnitřní – emulze CIMSTAR 620
- Upnutí obrobku v prizmatickém upínači (viz obr. 3.2.)

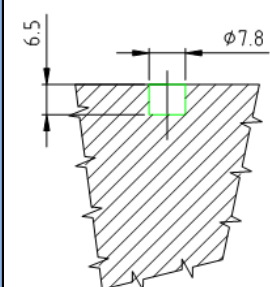
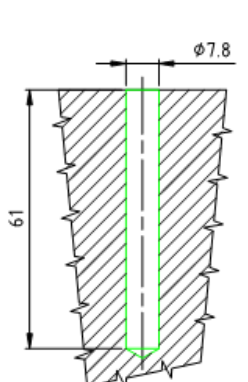
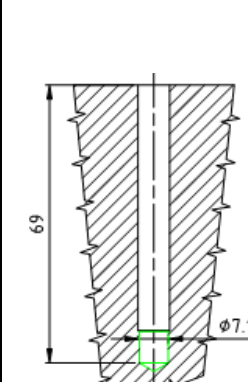
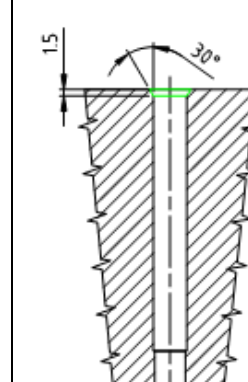
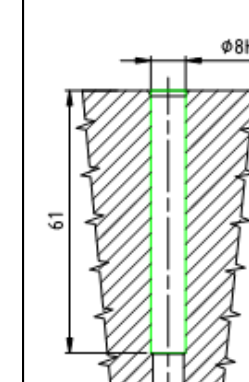


Obr. 3.3. Upnutí obrobku

Technologický postup je znázorněn na další stránce v tabulce (Tab. 3.3.). Každá vyrobená díra je kontrolována pomocí válečkového kalibru $\varnothing 8H6$ a následně je kontrovaná radiální házivost, která se kontroluje pomocí speciálního přípravku a číselníkového úchylkoměru (Obr. 3.4.a). U vybraných součástí je měřena drsnost povrchu vystružené díry (Obr. 3.4.b).

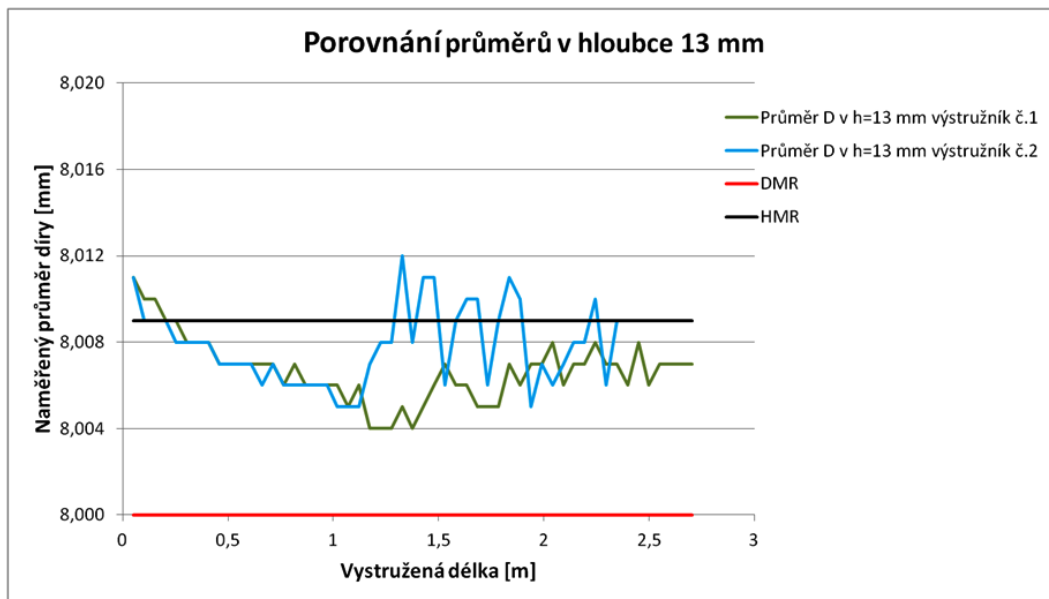


Obr 3.4.(a) Měření radiální házivosti, (b) měření drsnosti povrch

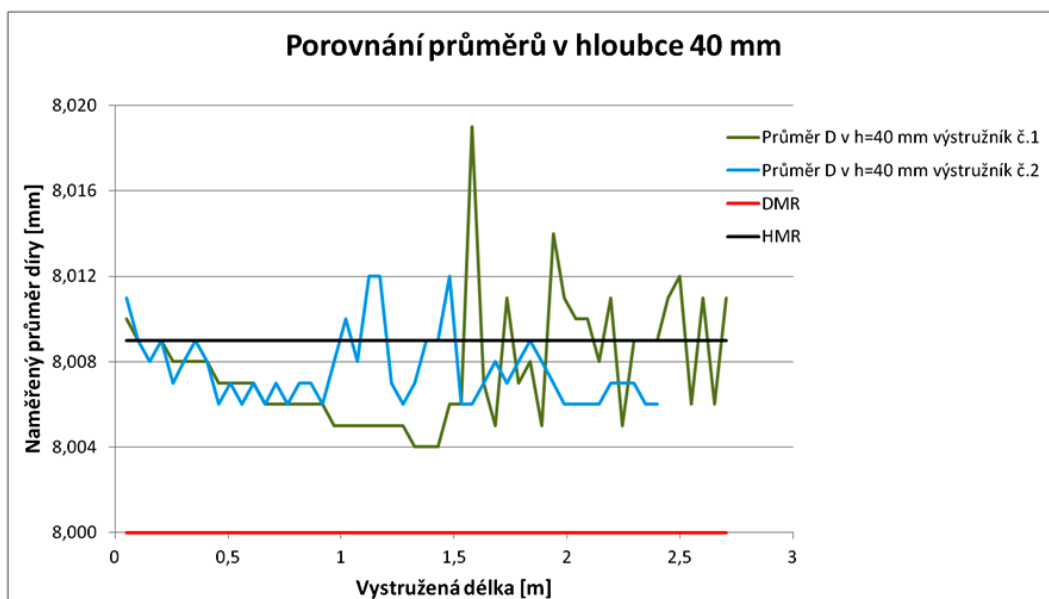
Název: Technologický postup - díra \varnothing 8H6					
Druh stroje		Vnitřní chlazení tlak		Materiál obrobku	Pevnost
AXA-DBZ		Emulze Cimstar 620, koncentrace 6 - 8% tlak max. 30 bar		12050.3	550 MPa
Výrobní operace	Navrtání h = 6,5 mm	Vrtání do h = 61 mm	Vrtání do h = 69 mm	Sražení hrany 60°	Výstružník do h = 61 mm
Nástroj	Č. válcová fréza \varnothing 7 mm	Š. vrták 8xD \varnothing 7,8 mm	Š. vrták 10xD \varnothing 7,1 mm	Tvarová fréza \varnothing 6mm	Výstružník 8xD \varnothing 8H6mm
Materiál nástroje	SK	SK - povlak TiAlN	SK - povlak TiAlN	SK	SK-povlak DARWIN
Upnutí nástroje	Kleština	Kleština	Kleština	Kleština	Hydroupínač
					
Počet zubů	2	2	2	4	6
Vc [m/min]	77	49	49	94	80
n [ot/min]	3500	2000	2000	5000	3200
f [mm/ot]	0,05	0,1	0,1	0,02	0,4
Vf [mm/min]	170	190	190	100	1280
Zpětný posuv [mm/min]	8000	8000	8000	8000	30000

3.3. Výsledky počátečního měření ve firmě HOFMEISTER, s.r.o.

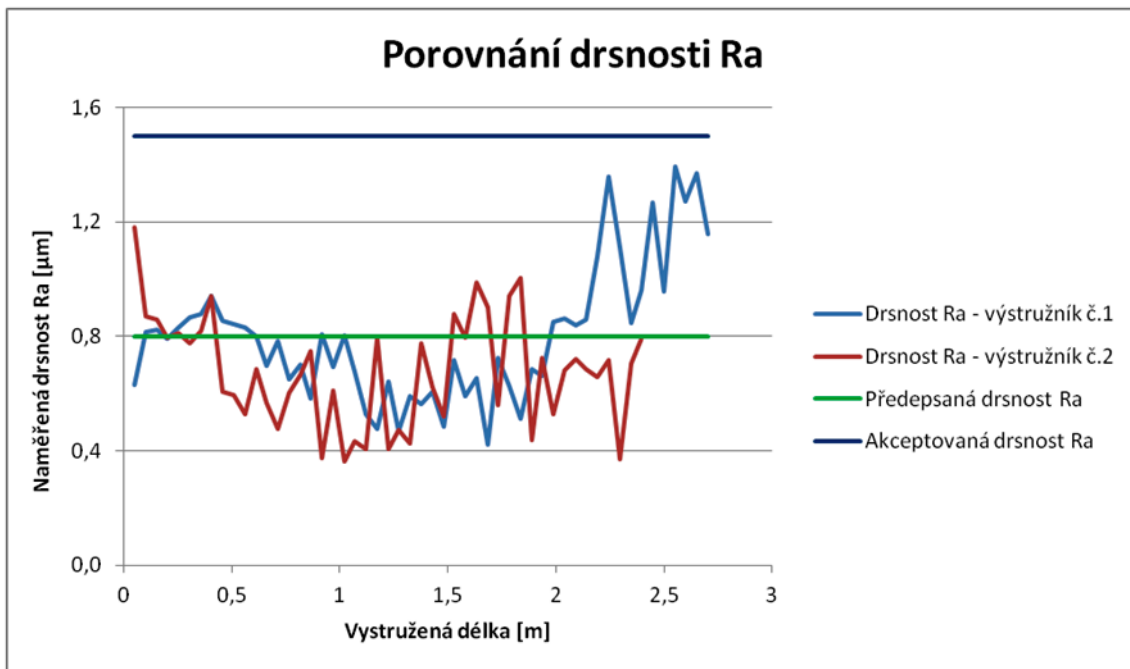
K celkovému zmapování současného stavu došlo ve firmě HOFMEISTER, s.r.o. k měření daných součástí, které jsou popsány v úvodu této kapitoly. Výroba probíhala za podmínek, které jsou uvedeny v technologickém postupu, jenom zde byla jiná vystružovaná délka. Místo stružení do hloubky 61 mm se vystružovalo do hloubky 51 mm. Ve výrobní dávce se vyrábělo 100 kusů součástí, na které byly použity dva vystružovací nástroje. Měřila se drsnost povrchu obrobene díry pomocí drsnoměru Mahr-Marsurf M300 (viz příloha č. 6) a dále se měřil průměr díry ve dvou hloubkách (13 a 40 mm) pomocí vzduchového měřicího přístroje Mahr-Millipneu (viz příloha č. 5). V této kapitole je uvedeno porovnání obou nástrojů z hlediska drsnosti a průměru v obou hloubkách. Celá zpráva z měření je uvedena v příloze č. 9.



Obr. 3.5. Porovnání průměrů v hloubce 13 mm



Obr. 3.6. Porovnání průměrů v hloubce 40 mm



Obr. 3.7. Porovnání drsnosti Ra

Pro obrábění 100 kusů VDI držáků byly použity dva výstružníky, z nichž výstružník č. 1 vyrobil 53 kusů (vystružená délka 2,7m) daných součástí a musel být vyměněn z důvodu nedodržování předepsané drsnosti Ra. Druhý výstružník vyrobil zbytek součástí, tedy 47 kusů (vystružená délka 2,4 m). Průběhy naměřených hodnot průměru a drsnosti Ra jsou znázorněny ve výše uvedených grafech (Obr. 3.5., 3.6., 3.7.).

3.4. Shrnutí problémů při současné výrobě

Firma HOFMEISTER, s.r.o. si pro výrobu této součásti vyrábí vystružovací nástroje sama. Dá se říci, že každá dávka nástrojů (většinou 3 kusy) jsou prototypy, které mají odlišnou geometrii a povlak.

Jeden z největších problémů je, že dochází ke kolísavé trvanlivosti nástrojů např. 50 – 300 kusů. Další nedokonalostí je nedodržování předepsané drsnosti povrchu na výkrese (R_a 0,8)

4. Návrh, realizace a charakteristika experimentálního testování zvolených výstružníků

4.1. Charakteristika experimentu

Cílem experimentu v této práci je najít řešení problémů, které jsou uvedeny v předchozí kapitole (kap. 3.4.). Prvním krokem experimentální činnosti bude přenesení stávajícího technologického postupu (včetně použitých řezných nástrojů), aplikovaného ve firmě HOFMEISTER, s.r.o., na zkušební kostky materiálu 12050.3. Přenesení technologie zaručí vzájemnou porovnatelnost dosažených výsledků mezi univerzitou a společností HOFMEISTER. Následně bude testován nově navržený technologický postup, který vznikl ve spolupráci s firmou HAM-FINAL. Tento technologický postup je zaměřen na zlepšení kvalitativních parametrů vystruženého otvoru a zahrnuje nasazení tvrdokovového výhrubníku a cermetového výstružníku. Na závěr bude testována původní technologie nicméně SK výstružník (od firmy HOFMEISTER) bude nahrazen cermetovým (od fy HAM-FINAL). Veškerá experimentální činnost bude realizována na půdě ZČU v halových laboratořích KTO. Měřenými parametry bude:

- Opatření břitu výstružníku – na čele (KB) a na hřbetě (VB_{max})
- Časová náročnost navržených variant
- Průměr vystružené díry – měřený ve dvou hloubkách, a to 4,5 a 40mm od vstupu
- Drsnost povrchu vystružené díry – měřené parametry Ra, Rz

Kritériální podmínky:

- Drsnost povrchu vystružené díry $Ra \leq 0,8 \mu m$
- Rozměr vystružené díry v tolerančním poli H6

Nástroje pro provedení experimentu byly získány od firmy HOFMEISTER s.r.o., jmenovitě všechny potřebné nástroje pro přípravu díry pod výstružník (šroubovitě vrtáky, tvarová fréza a jeden kus výstružníku) a dále byly firmou HAM-FINAL poskytnuty dva výstružníky a jeden čelní výhrubník, viz Tab. 4.1. Katedra technologie obrábění zajistila zkušební materiál a všechny potřebné měřicí přístroje.

4.2. Charakteristika experimentálních zařízení

4.2.1. Obráběcí stroj

Pro provedení jednotlivých testů byl určen jako stroj vertikální obráběcí centrum MCV 705A, jehož podrobnější specifikace je uvedena v příloze č. 3.



Obr. 4.1. Vertikální obráběcí centrum MCV 750A[28]

4.2.2. Vzduchový měřicí přístroj Mahr – Millipneu S 1840

Tento přístroj byl použit pro měření jednolitých průměrů u vystružených děr, podrobnější popis je uveden v příloze č. 5.



Obr. 4.2. Vzduchový měřicí přístroj[29]

4.2.3. Dílenský mikroskop Multicheck PC 500

Mikroskop byl použit během testování na měření opotřebení na řezné části vystružovacího nástroje, specifikace se nachází v příloze č. 7



Obr. 4.3. Optický mikroskop Multicheck PC500[31]

4.2.4. Drsnoměr Mahr – Marsurf M300

Drsnoměr byl použit pro měření drsnosti povrchu vystružené díry, jeho specifikace je uvedena v příloze č. 6.



Obr. 4.4. Drsnoměru Marh-Marsurf M300 [30]

4.2.5. 3D souřadnicový měřicí stroj LK G-90C

3D souřadnicový měřicí stroj byl použit proměření válcovitosti vyráběných děr. Specifikace přístroje je v příloze č. 8.



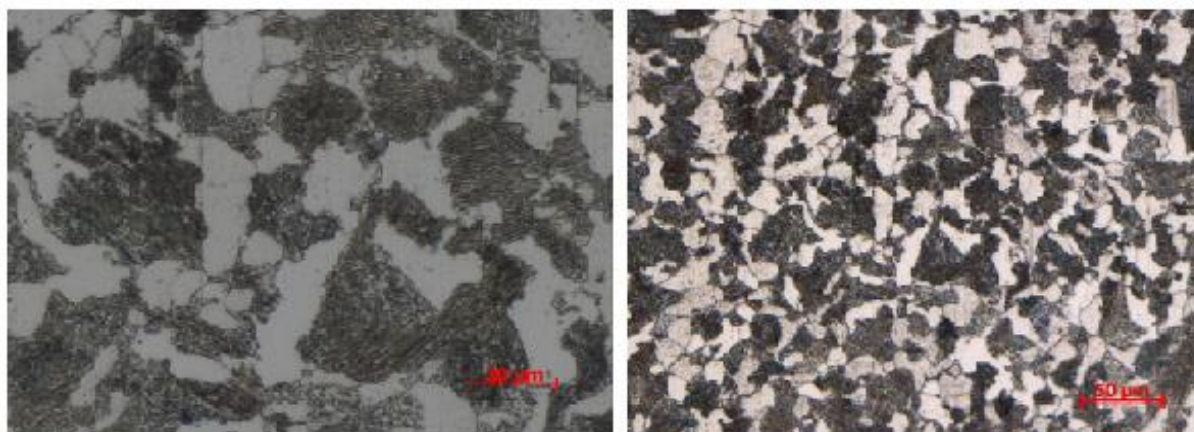
Obr. 4.5. 3D souřadnicový měřicí stroj LK-G90C[32]

4.2.6. Testovaný materiál

Ve firmě HOFMEISTER s.r.o. používají pro výrobu VDI držáku konstrukční ušlechtilou ocel 12050.3. Z tohoto důvodu byl pro experimentální testování použit stejný materiál. V následující tabulce (Tab. 4.2.) jsou znázorněny hodnoty chemického složení materiálu, na kterém jsou testovány řezné nástroje v laboratorních podmínkách. Jsou zde nepatrné odchylky v chemickém složení, to může být zapříčiněno odlišnou tavbou materiálu a nemělo by to mít nepříznivé účinky na výsledky testu. Na obr. 4.5. je vidět mikrostruktura daného materiálu.

Tab. 4.2. Chemické složení oceli 12050.3 – testovaný materiál

Ocel ČSN 41 2050	Chemický prvek	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
12050.3	% látky	0,532	0,602	0,263	0,0096	0,0053	0,0199	0,0228	0,038



Obr. 4.6. Mikrostruktura oceli 12050.3 – testovaný materiál

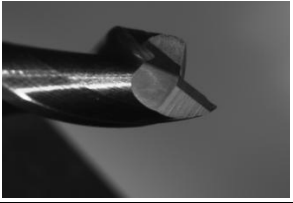
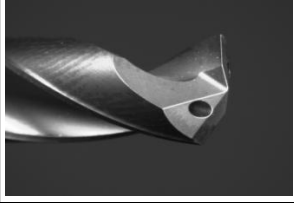
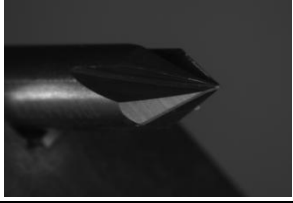

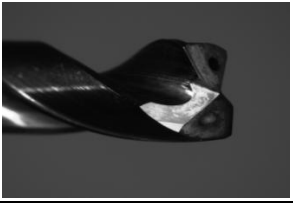

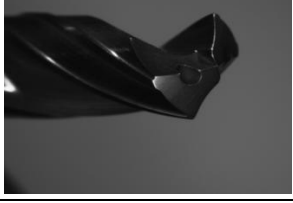
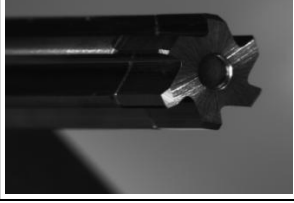

4.2.7. Použité nástroje

Pro experimentální testování bylo k dispozici omezené množství řezných nástrojů (1x výstružník HOFMEISTER, 2x výstružník HAM-FINAL, 1x Čelní výhrubník HAM-FINAL, vrtací nástroje byly použity od firmy OSG a ISCAR). V příloze č. 4 jsou znázorněny výkresy obou druhů výstružníků. Seznam použitých nástrojů je uveden v tabulce níže (Tab. 4.3).

4.2.8. Použité upínače

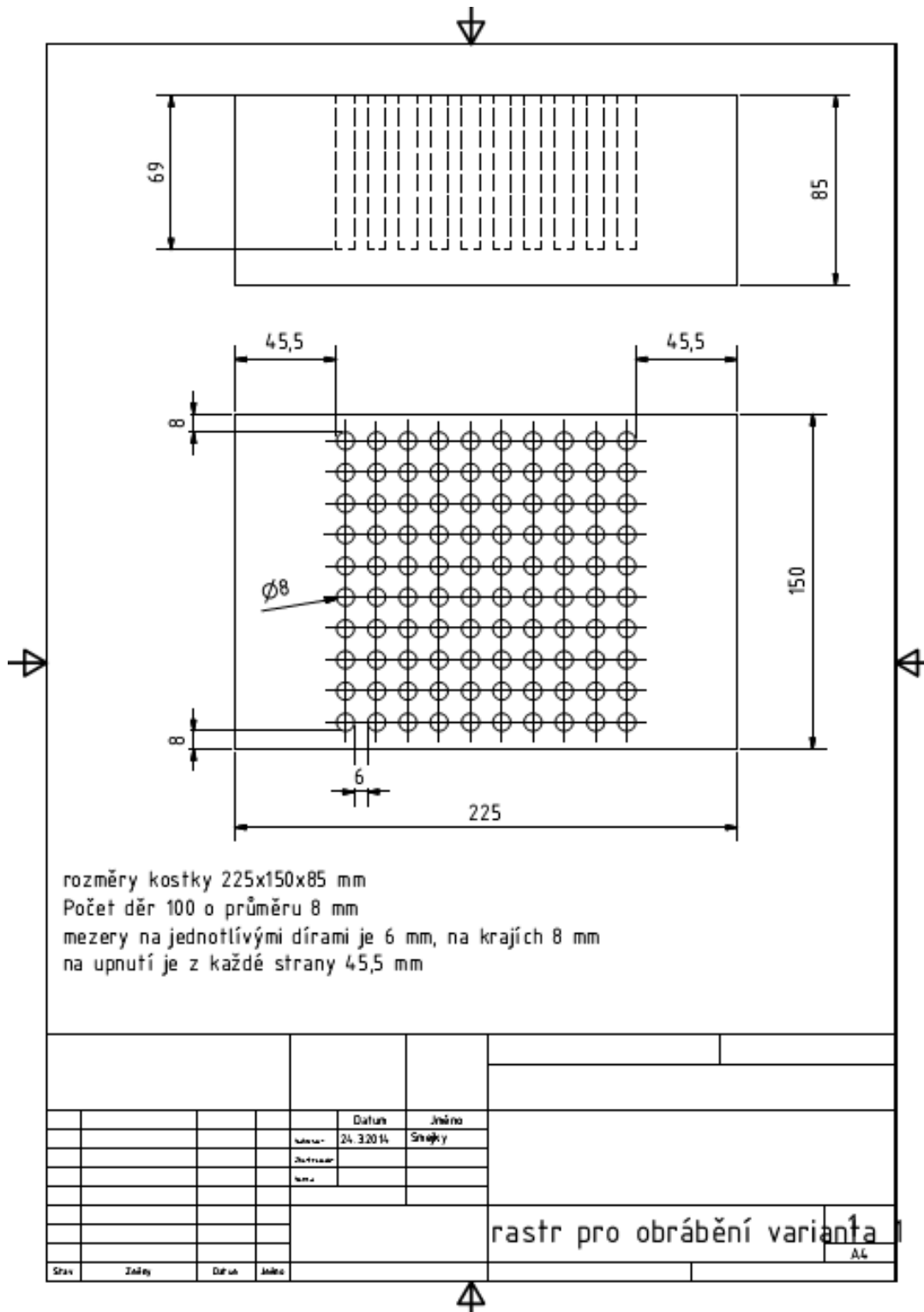
Pro experimenty byly použity následující upínací systémy. Pro upnutí vrtáků o průměru 7,5 a 7,8 mm byl použit hydraulický upínač od firmy KENNAMETAL, pro upnutí výhrubníku byl použit upínač TRIBOS od firmy SCHUNK, dále pro upnutí obou typů výstružníku byl použit hydraulický upínač od firmy GÜHRING. Pro zbylé nástroje byly použity kleštinné upínače od firmy GÜHRING.

Tab. 4.3. Seznam použitých nástrojů

Název - popis	Fotografie	Název - popis	Fotografie
Č. válcová fréza $\varnothing 7\text{ mm}$ Délka: 3xD Materiál: SK Počet zubů: 2 Povlak: NE		Šroubovitý vrták $\varnothing 7,8\text{ mm}$ Délka: 8xD Materiál: SK Počet zubů: 2 Povlak: TiAlN	
Tvarová fréza $\varnothing 6\text{ mm}$ Délka: 3xD Materiál: SK Počet zubů: 4 Povlak: NE		Č. výhrubník $\varnothing 7,75\text{H8 mm}$ Délka: 10xD Materiál: SK Počet zubů: 6 Povlak: TiAlN	
Šroubovitý vrták $\varnothing 7,1\text{ mm}$ Délka: 10xD Materiál: SK Počet zubů: 2 Povlak: TiAlN		Výstružník $\varnothing 8\text{H6 mm}$ Délka: 8xD Materiál: SK Počet zubů: 6 Povlak: DARWIN	
Šroubovitý vrták $\varnothing 7,5\text{ mm}$ Délka: 8xD Materiál: SK Počet zubů: 2 Povlak: TiAlN		Výstružník $\varnothing 8\text{H6 mm}$ Délka: 8xD Materiál: Cermet Počet zubů: 6 Povlak: NE	
Šroubovitý vrták $\varnothing 7,8\text{ mm}$ Délka: 8xD Materiál: SK Počet zubů: 2 Povlak: TiAlN			

4.2.9. Zkušební kostka

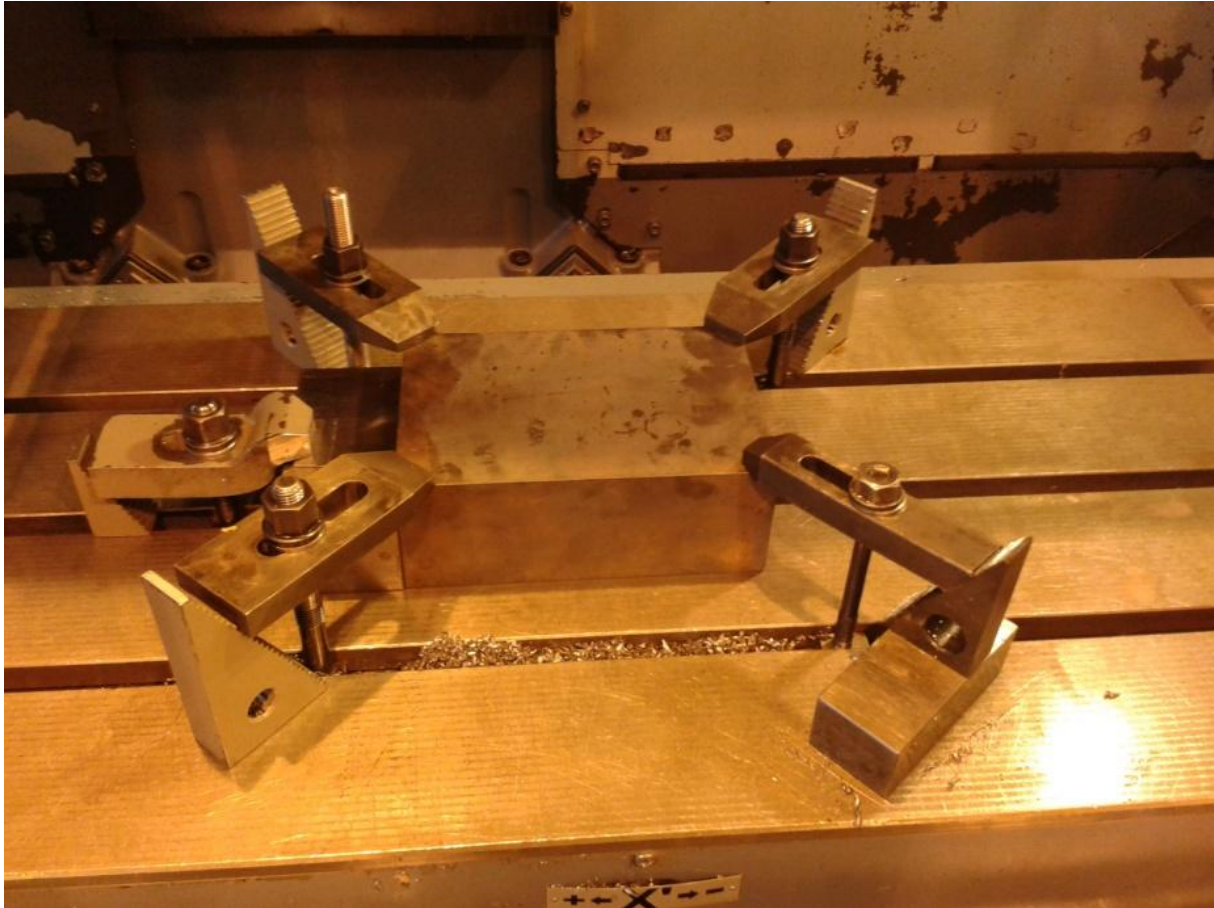
K dispozici byl zkušební materiál 12050.3 o rozměrech 225 x 150 x 85 mm, a bylo zapotřebí propočítat počet děr, který se nám vejde na jednu kostku a zároveň brát v úvahu místo pro upnutí kostky do stroje. Rozložení děr je vidět na následujícím obrázku (Obr. 4.6).



Obr. 4.7. Rastr pro obrábění – rozložení děr

4.2.10. Upnutí obrobku ve stroji

Upnutí obrobku do stroje bylo provedeno pomocí 4 upínek a dále byla zajištěna poloha obrobku pomocí přesné kostky. Vše podstatné je vidět na níže uvedeném obrázku (Obr. 4.7.).

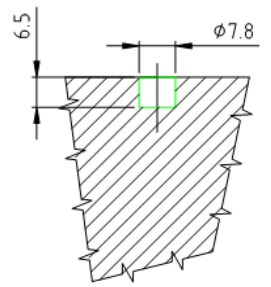
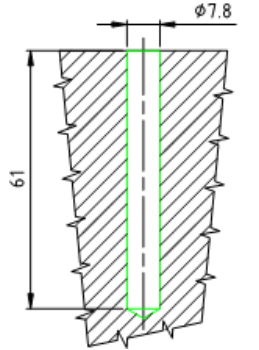
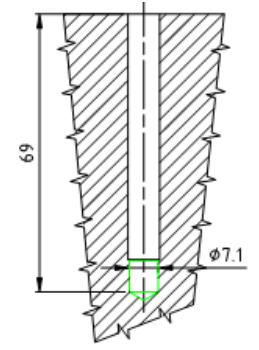
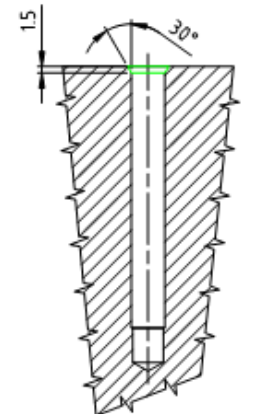
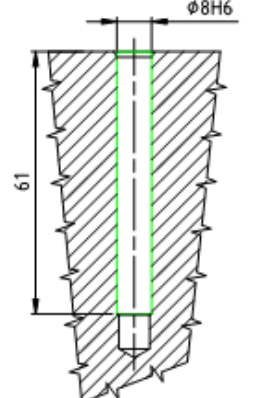


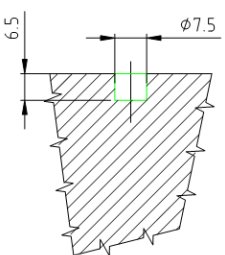
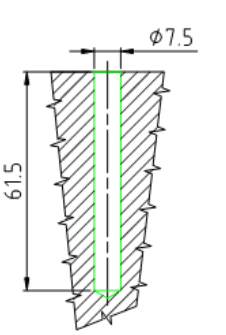
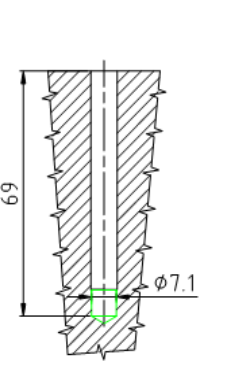
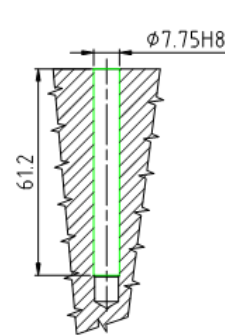
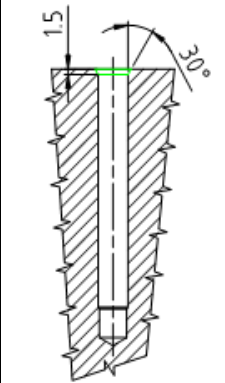
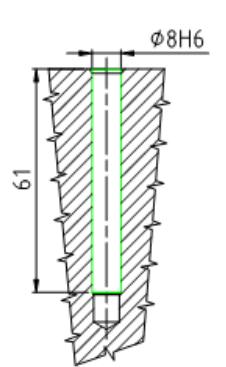
Obr. 4.8. Upnutí obrobku na stroji

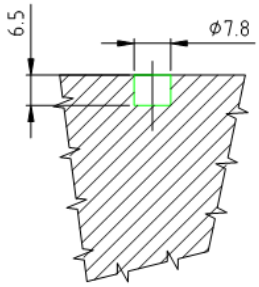
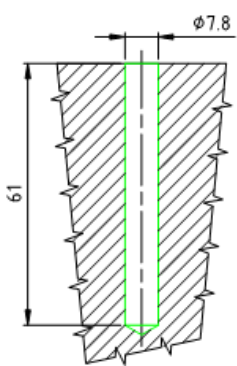
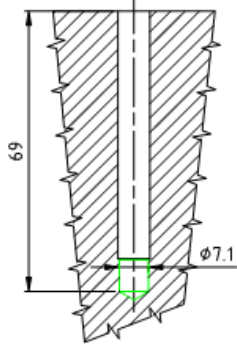
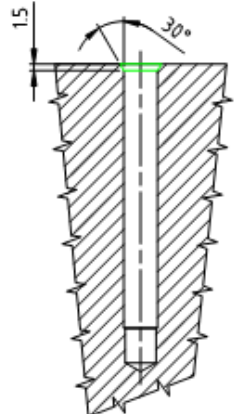
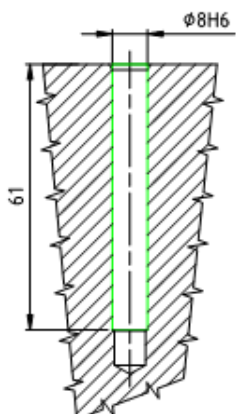
4.3. Technologické postupy

V této části jsou uvedeny všechny 3 technologické postupy, podle kterých docházelo k testování nástrojů. Jako první je zde uveden stávající technologický postup z firmy HOF-MEISTER (strana 41), dále nově navržená technologie od firmy HAM-FINAL (strana 42), která zahrnuje tvrdokovový výhrubník a cermetový výstružník a jako třetí v pořadí je technologický postup pouze s jiným typem výstružníku (strana 43).

Naměřenými výsledky a vyhodnocením se bude zabírat následující kapitola (Kap. 5), kde budou porovnány všechny tři varianty provedení.

Název: Stávající technologický postup firmy HOFMEISTER - obráběná díra \varnothing 8H6					
Druh stroje		Vnitřní chlazení tlak		Materiál obrobku	Pevnost
MCV 750A		Blasocut 35 - koncentrace 7% tlak 17,5 bar		12050.3	550 MPa
Výrobní operace	Navrtání h = 6,5 mm	Vrtání do h = 61 mm	Vrtání do h = 69 mm	Sražení hrany 60°	Výstružník do h = 61 mm
Nástroj	Č. válcová fréza \varnothing 7 mm	Š. vrták 8xD \varnothing 7,8 mm	Š. vrták 10xD \varnothing 7,1 mm	Tvarová fréza \varnothing 6mm	Výstružník 8xD \varnothing 8H6mm
Materiál nástroje	SK	SK - povlak TiAlN	SK - povlak TiAlN	SK	SK-povlak DARWIN
Upnutí nástroje	Kleština	Hydroupínač	Kleština	Kleština	Hydroupínač
					
Počet zubů	2	2	2	4	6
Vc [m/min]	77	49	49	94	80
n [ot/min]	3500	2000	2000	5000	3200
f [mm/ot]	0,05	0,1	0,1	0,02	0,4
Vf [mm/min]	170	190	190	100	1280
Zpětný posuv [mm/min]	8000	8000	8000	8000	30000

Název: Nově navržený technologický postup firmy HAM-FINAL - obráběná díry Ø8H6						
Druh stroje		Vnitřní chlazení tlak		Materiál obrobku	Pevnost	
MCV 750A		Blasocut 35 - koncentrace 7% tlak 17,5 bar		12050.3	550 Mpa	
Výrobní operace	Navrtání h = 6,5 mm	Vrtání do h = 61,5 mm	Vrtání do h = 69 mm	Vyhrubování do h = 61,2 mm	Sražení hrany 60°	Vystružování do h = 61 mm
Nástroj	Č. válcová fréza Ø 7 mm	Š. vrták 8xD Ø 7,5 mm	Š. vrták 10xD Ø 7,1 mm	Č. výhružník 10xD Ø 7,75H8 mm	Tvarová fréza Ø 6mm	Výstružník 8xD Ø 8H6
Materiál nástroje	SK	SK - povlak TiAlN	SK - povlak TiAlN	SK - povlak TiAlN	SK	Cermet
Upnutí nástroje	Kleština	Hydroupínač	Kleština	Tribos	Kleština	Hydroupínač
						
Počet zubů	2	2	2	6	4	6
Vc [m/min]	77	49	49	25	94	140
n [ot/min]	3500	2000	2000	1027	5000	5573
f [mm/ot]	0,05	0,1	0,1	0,18	0,02	0,18
Vf [mm/min]	170	190	190	185	100	1003
Zpětný posuv [mm/min]	8000	8000	8000	8000	8000	30000

Název: Stávající technologický postup firmy HOFMEISTER s jiným typem výstružníku - obráběná díra $\varnothing 8H6$					
Druh stroje		Vnitřní chlazení tlak		Materiál obrobku	Pevnost
MCV 750A		Blasocut 35 - koncentrace 7% tlak 17,5 bar		12050.3	550 MPa
Výrobní operace	Navrtání h = 6,5 mm	Vrtání do h = 61 mm	Vrtání do h = 69 mm	Sražení hrany 60°	Výstružník do h = 61 mm
Nástroj	Č. válcová fréza $\varnothing 7$ mm	Š. vrták 8xD $\varnothing 7,8$ mm	Š. vrták 10xD $\varnothing 7,1$ mm	Tvarová fréza $\varnothing 6$ mm	Výstružník 8xD $\varnothing 8H6$ mm
Materiál nástroje	SK	SK - povlak TiAlN	SK - povlak TiAlN	SK	Cermet
Upnutí nástroje	Kleština	Hydroupínač	Kleština	Kleština	Hydroupínač
					
Počet zubů	2	2	2	4	6
Vc [m/min]	77	76	49	94	140
n [ot/min]	3500	3103	2000	5000	5573
f [mm/ot]	0,05	0,09	0,1	0,02	0,18
Vf [mm/min]	170	264	190	100	1003
Zpětný posuv [mm/min]	8000	8000	8000	8000	30000

4.4. Průběh experimentu

Jako první došlo k testování stávající technologie z firmy HOFMEISTER z důvodu srovnání výsledků v laboratorním prostředí s dalšími dvěma variantami. U této varianty bylo dosaženo 4m celkové délky vystružené díry. Následně byly testy s HOFMEISTER výstružníkem ukončeny, neboť bylo překročeno kritérium experimentu. Zmiňovaným kritériem byla hodnota drsnosti obrobeného povrchu Ra, která byla překročena více než dvojnásobně.

Následně byl experimentálně testován nový technologický postup navržený ve spolupráci s firmou HAM-FINAL. U této technologie činila celková délka vystružené díry 2m. To bylo zapříčiněno tím, že na šroubovitým vrtáku o průměru 7,5 mm od firmy OSG a čelním výhrubníku od firmy HAM-FINAL o průměru 7,75 mm (H8) bylo naměřeno vysoké opotřebení. Z důvodu vysokého opotřebení řezných břitů bylo testování ukončeno, aby nedošlo k destrukci obou nástrojů. Cermetový výstružník nevykazoval žádné opotřebení.

Na závěr byl testován stávající technologický postup z firmy HOFMEISTER, kde byl pouze nahrazen výstružník ze slinutého karbidu za cermetový výstružník. U této varianty byl použit šroubovitý vrták od firmy ISCAR o průměru 7,8 mm a byly použity 2 kusy. Bohužel druhý cermetový výstružník byl poškozen špatnou manipulací a nemohl být dále používán, tak bylo rozhodnuto, že se nasadí již použitý cermetový výstružník z druhé varianty (tj. technologie vrtání, vyhrubování a vystružování). Tento nástroj po ujetí 2 m stružené délky byl ve výborném stavu. Následně výstružník vystružil ještě 4,5m a poté došlo k jeho destrukci. Celkově tento nástroj vystružil 6,5 m.

4.5. Průběh měření

Jako první došlo k měření průměru vystružené díry o \varnothing 8H6. Díry se měřily ve dvou hloubkách od vstupu a to v 4,5 a 40 mm. Měřena byla každá pátá díra. Parametry vzduchového měřicího přístroje jsou uvedeny v příloze č. 5. V každé měřené rovině se měřilo ve 4 bodech kolmých na sebe a zaznamenala se nejvyšší a nejnižší hodnota, ze kterých se pak udělal průměr.

Následně se měřila drsnost povrchu pomocí drsnoměru Mahr M300, jehož parametry jsou uvedeny v příloze č. 6. Měřila se taktéž jako u průměru každá pátá díra a parametry drsnosti byly měřeny na vzdálenosti 5,6 mm, což vychází z normy.

Dále bylo provedeno měření válcovitosti na 3D měřícím souřadnicovém stroji (příloha č. 8). Měření probíhalo tak, že se měřila kruhovitosť díry v 5 rovinách a v každé rovině se měřilo 8 bodů. Celkově tedy bylo naměřeno 40 bodů, z nichž byla následně automaticky dopočtena válcovitost dané díry. Pro měření byla použita rubínová kulička o průměru 5 mm a s dřikem délky 117 mm. Z důvodu časového vytížení stroje se měřila každá 10 díra, aby měření proběhlo rychleji.

Dále během samotného testování, probíhalo měření opotřebení břitů nástroje na mikroskopu (příloha č. 7). Opotřebení se měřilo na čele, hlavní a vedlejší břit nástroje po ujetí vystružené délky cca 1 m. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 10.

5. Vyhodnocení naměřených výsledků

V této kapitole je provedeno vyhodnocení naměřených výsledků a porovnání všech tří prováděných variant technologických postupů. Hodnocena budou všechna kritéria, která jsou uvedena v úvodu čtvrté kapitoly.

Nejdříve dojde k hodnocení všech tří variant po ujetí vystružené délky 2 m. Následně dojde k hodnocení první a třetí varianty po vystružené délce 4 m. A jako poslední zde budou prezentovány výsledky cermetového výstružníku po vystružené délce 6,5 m. Všechna naměřená data jsou uvedena v příloze č. 10.

5.1. Vyhodnocení po vystružení délky 2 m

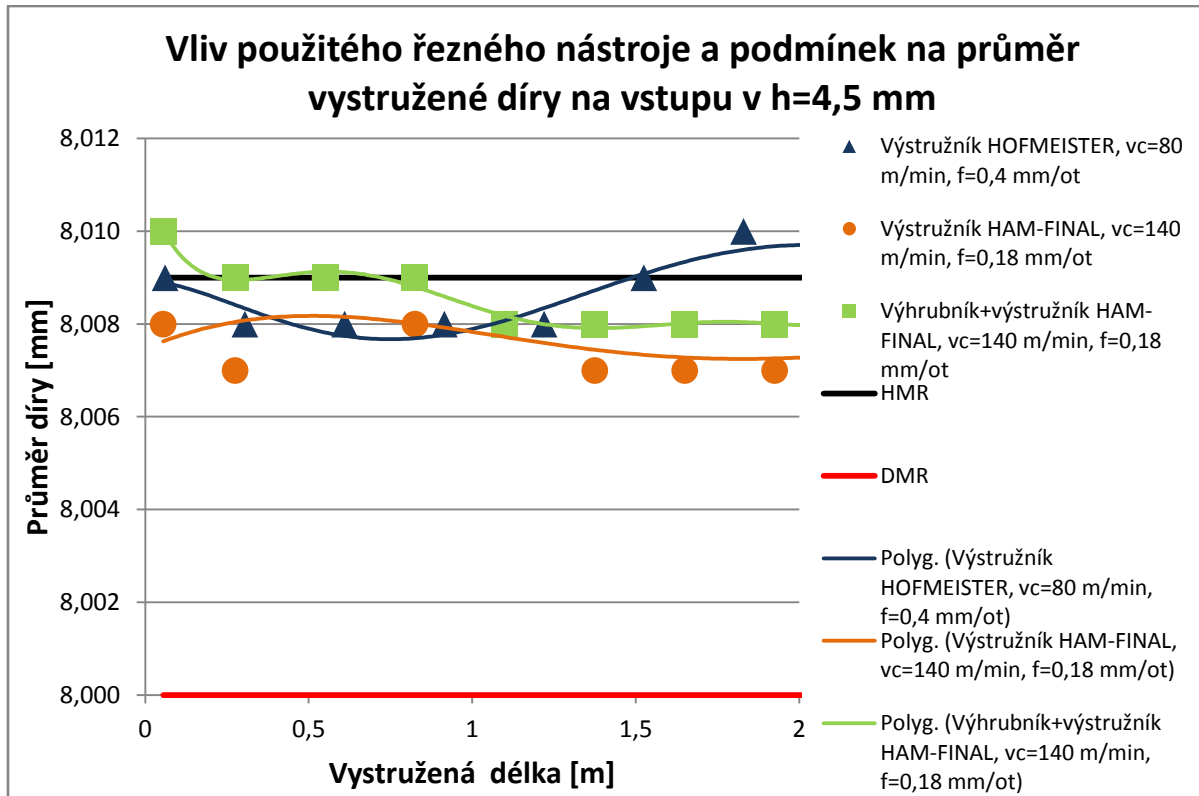
V této části budou srovnány všechny tři varianty technologického postupu po vystružené délce 2 m.

5.1.1. Hodnocení průměru vystružené díry na v hloubce 4,5 a 40 mm

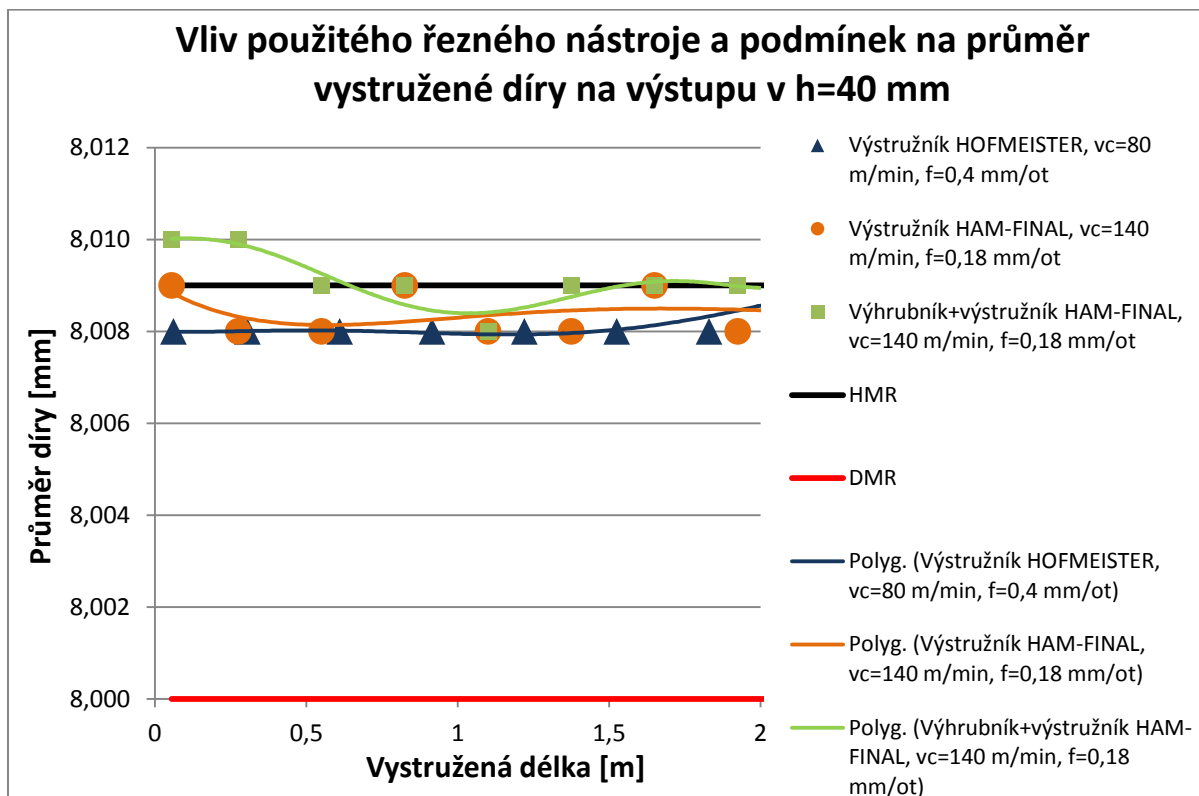
Hodnoty průměrů, které byly změřeny pomocí vzduchového kalibru Mahr-Millpneu S1840 jsou zobrazeny níže v grafech (Obr. 5.1., 5.2). V grafech jsou vyznačené tři křivky, z nichž každá odpovídá jedné technologii. Dále jsou zde vyznačeny horní a dolní mez tolerančního pole H6.

V prvním grafu jsou vyznačeny hodnoty průměru měřené na vstupu v hloubce 4,5 mm. Z grafu je patrné, že výstružník z firmy HOFMEISTER ze začátku dodržoval předepsané toleranční pole díry H6, ale s přibývajícím vystruženou vzdáleností se začaly hodnoty průměru neparťně zvyšovat. Zatímco při použití jiného typu výstružníku (jmenovitě od společnosti HAM-FINAL), popřípadě zařazení výhrubníku před samotnou operaci vystružování byly, naměřené hodnoty průměru stabilnější a nepřekračovaly toleranční pole díry H6. Došlo pouze k překročení tolerance u první měřené díry, to mohlo být zapříčiněno tím, že nástroj byl nový a nebyl zajetý. Dále je vidět v grafu že všechny měřené hodnoty se spíše pohybují okolo horní hranice tolerančního pole H6.

Ve druhém grafu jsou zaznamenány naměřené hodnoty na výstupu v hloubce 40 mm. Zde je naopak vidět, že výstružník z firmy HOFMEISTER nepřekročil horní mezní rozměr díry. Výstružník HAM-FINAL měl obdobné výsledky jako na vstupu díry. Při zařazení výhrubníku došlo pouze na začátku k překročení tolerančního pole, ale dále byly výsledky v toleranci.



Obr. 5.1. Skuteční průměr díry v hloubce 4,5 mm

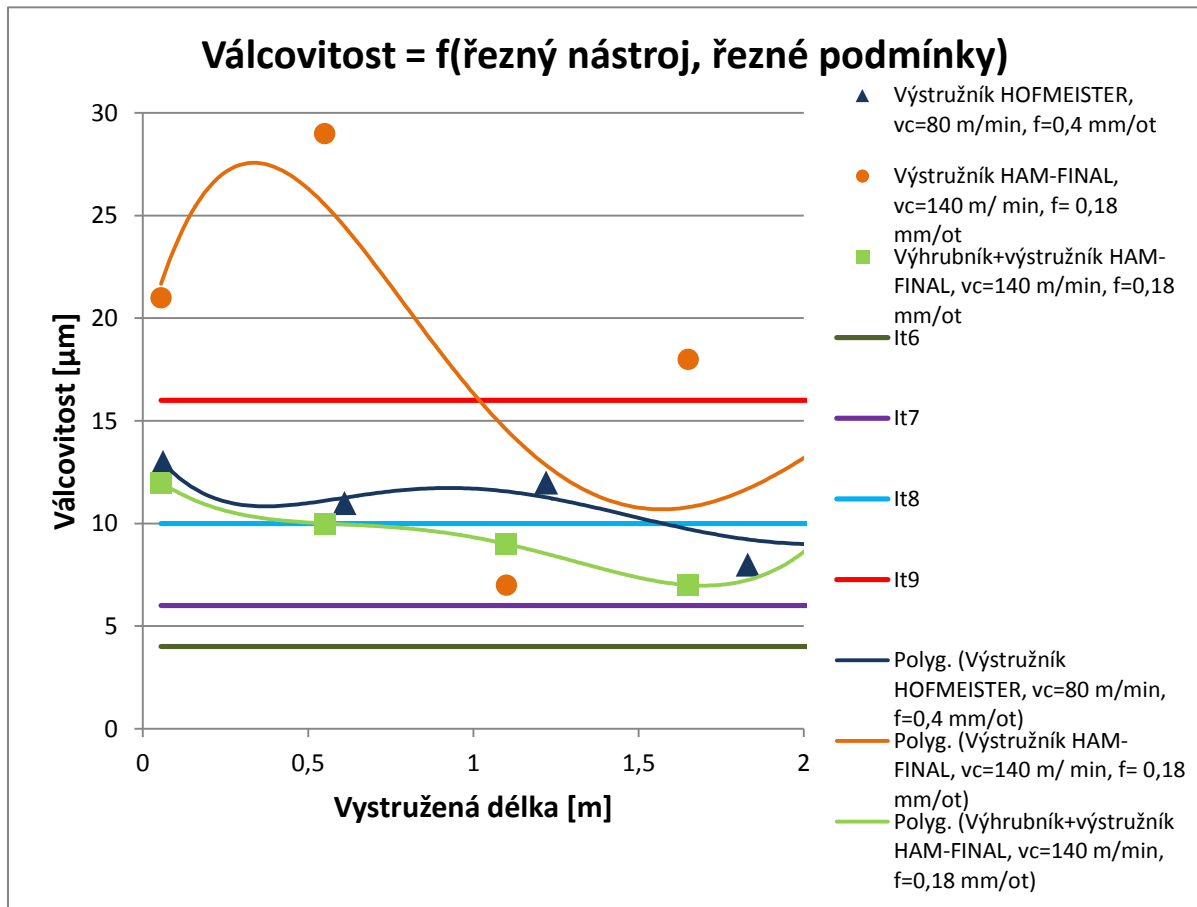


Obr. 5.2 Skutečný průměr díry v hloubce 40 mm

5.1.2. Hodnocení válcovitosti

Průběh válcovitosti vystružených děr je vyobrazen v grafu na obr. 5.3. Dále jsou zde uvedeny hodnoty jednotlivých tříd přesnosti a to od IT6 do IT9.

Z grafu je patrné, že ani jeden použitý nástroj nedosáhl na předepsanou přesnost IT6, kde je odchylka 4 μm . Nejhorší hodnoty válcovitosti byly naměřeny u výstružníku HAM-FINAL. Hodnoty zde byly v rozmezí od IT7 až do IT11, což jsou velmi špatné výsledky. Naopak válcovitost ve vyrobené díře od výstružníku HOFMEISTER se pohybovala v rozmezí IT7 až IT9. Srovnatelnou nebo o nepoznání lepší válcovitost měly díry, kde byl zařazen výhrubník.

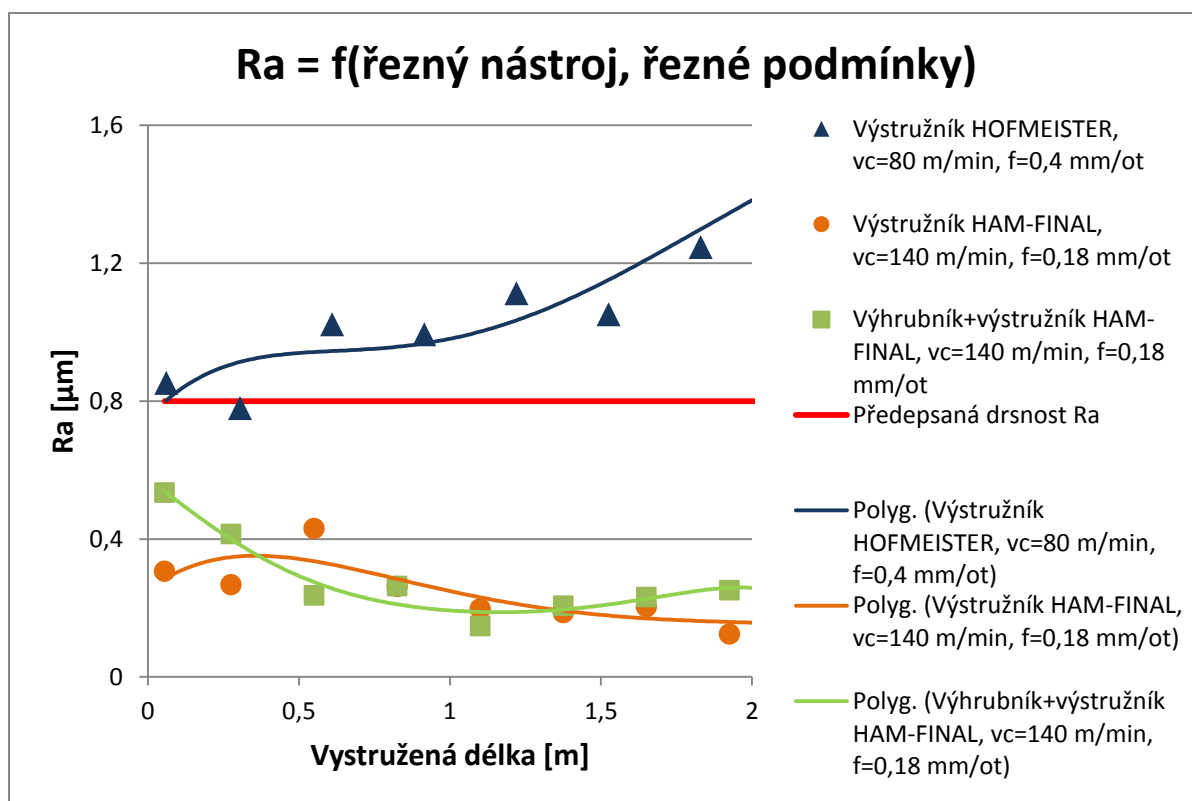


Obr. 5.3. Naměřená válcovitost

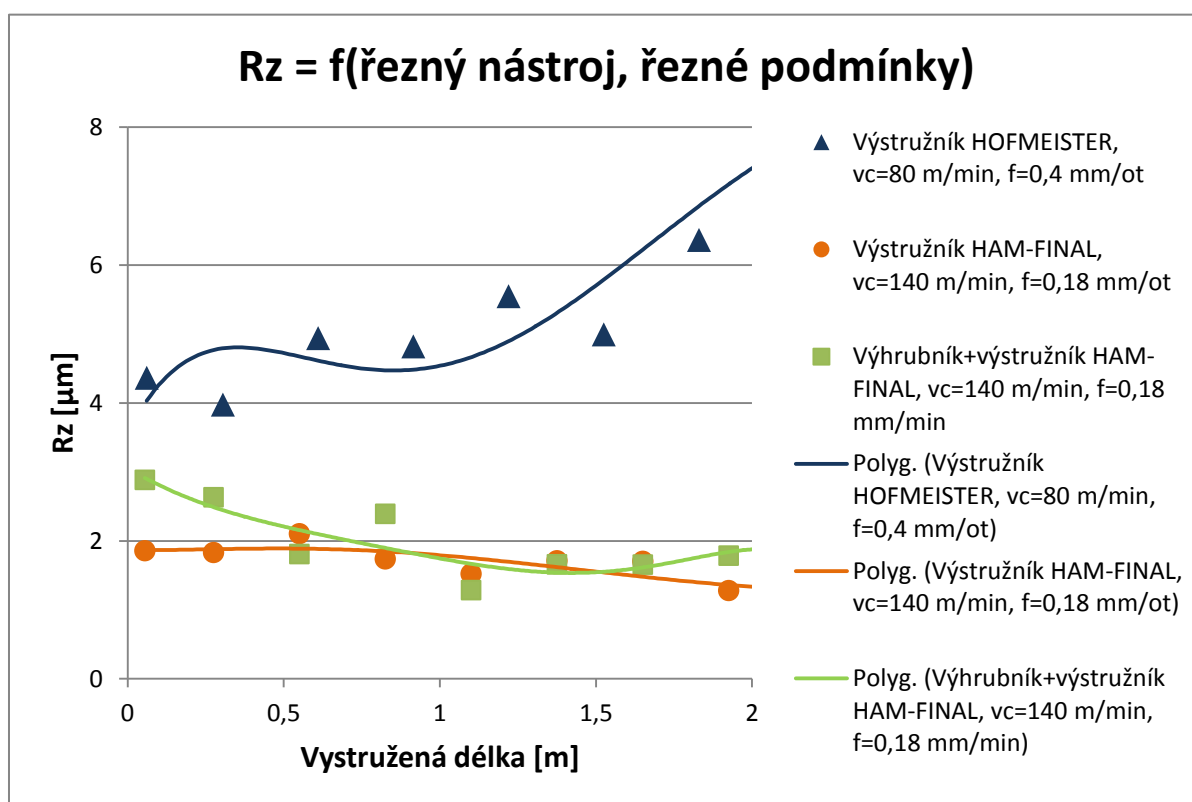
5.1.3. Hodnocení drsnosti povrchu parametrů Ra a Rz

Průběhy naměřených hodnot parametrů drsnosti povrchu jsou znázorněny v grafech na obr. 5.4. a 5.5. V grafu s parametrem drsnosti Ra je ještě znázorněna mezní hodnota Ra 0,8 μm . U parametru Rz nebylo žádné omezující kritérium.

V prvním grafu je vidět, že drsnost povrchu Ra u vystružené díry výstružníkem HOFMEISTER měla nevyhovující hodnoty kromě jedné, která se vešla do předepsané hodnoty. U dalších dvou technologií vycházely hodnoty drsnosti Ra v rozpětí od 0,5 μm do 0,1 μm . Což jsou výborné výsledky oproti první technologii. U parametru Rz nebyla žádná omezující podmínka, ale z grafu je vidět, že průběh je obdobný jako u parametru Ra.



Obr. 5.4. Drsnost povrchu Ra



Obr. 5.5. Drsnost povrchu Rz

5.2. Vyhodnocení po vystružení délky 4m

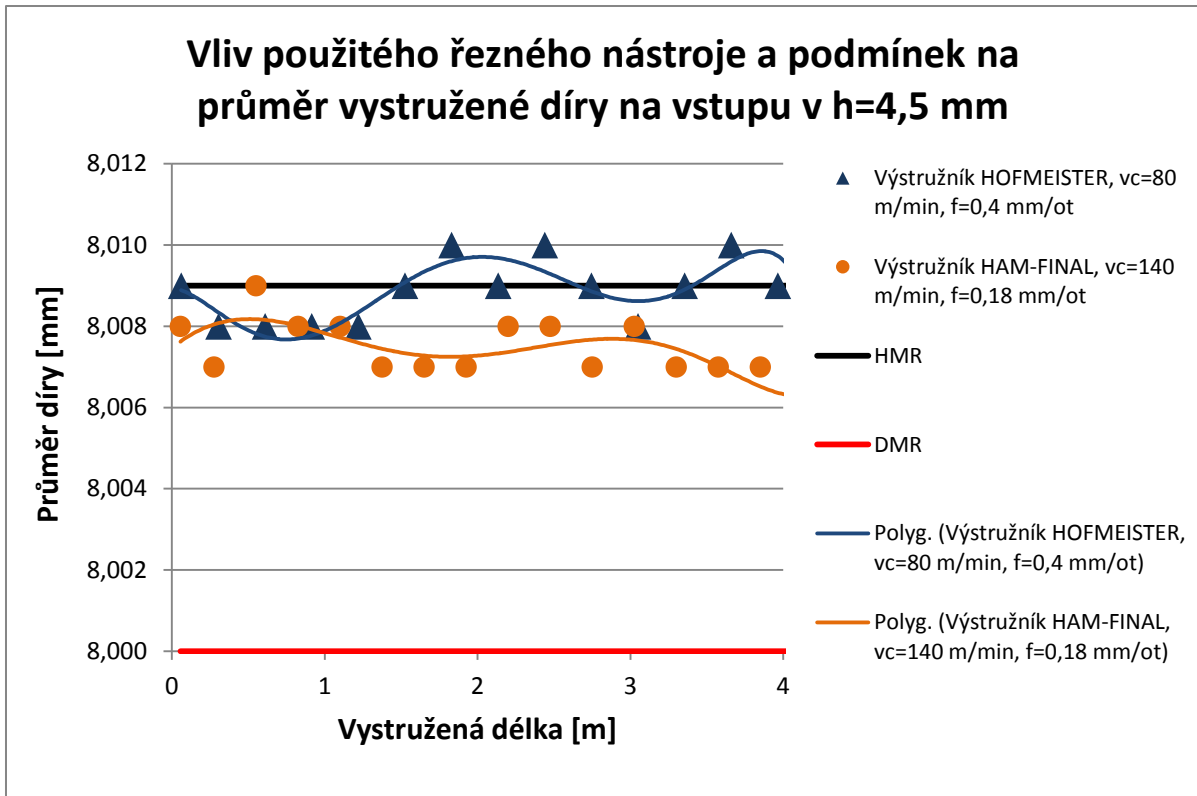
V této části se bude hodnotit první a třetí varianta technologického postupu. Je to z důvodu, že u druhé varianty se zařazeným výhrubníkem se vystružila pouze délka 2 m.

5.2.1. Hodnocení průměru vystružené díry v hloubce 4,5 a 40 mm

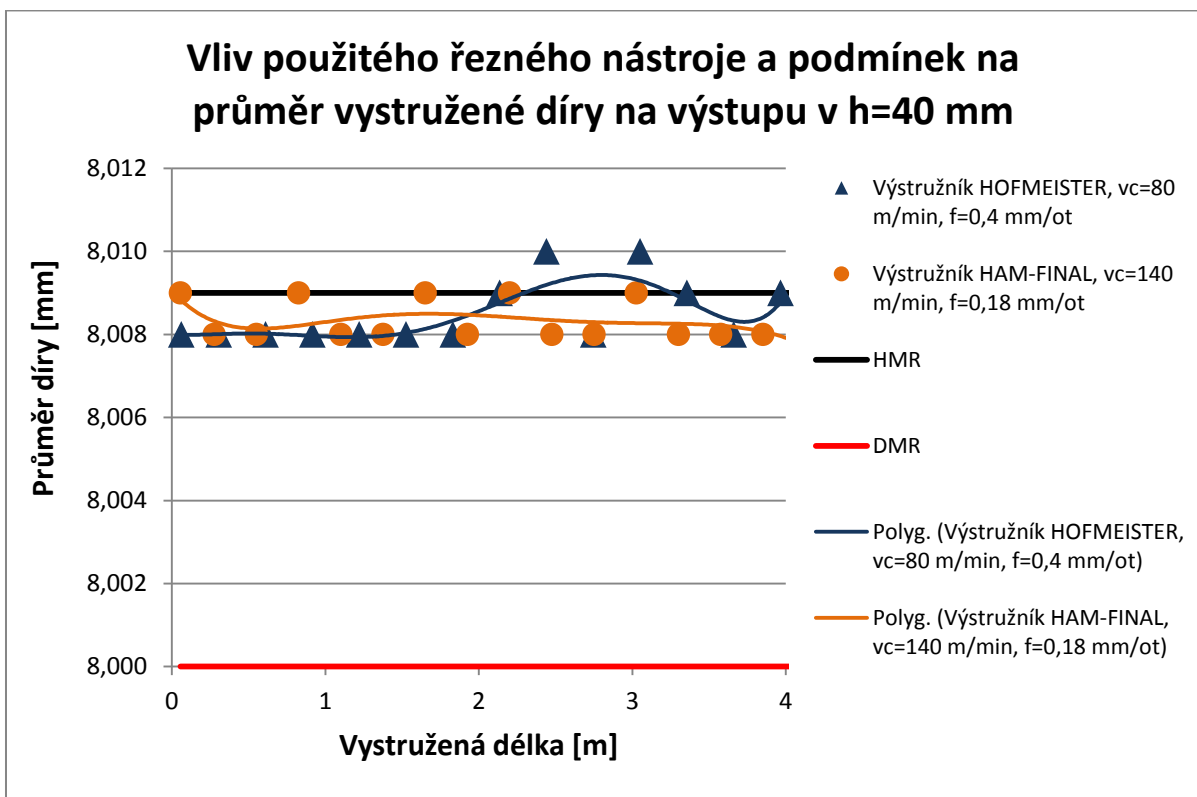
Hodnoty průměrů, které byly změřeny pomocí vzduchového kalibru Mahr-Millpneu S1840 jsou zobrazeny níže v grafech (Obr. 5.9. a 5.10.). V grafech jsou vyznačené dvě křivky, z nichž každá odpovídá jedné technologii. Dále jsou zde vyznačeny horní a dolní mez tolerančního pole H6.

V prvním grafu jsou vyznačeny hodnoty průměru měřené na vstupu v hloubce 4,5 mm. Z grafu je patrné, že výstružník HOFMEISTER dodržoval předepsané toleranční pole díry H6 asi do 1 třetiny délky stružení, ale s přibývajícím vystruženou vzdáleností se začaly hodnoty průměru neparťně zvyšovat nad horní mezní rozměr. Zatímco při použití jiného typu výstružníku HAM-FINAL, byly naměřené hodnoty průměru stabilnější a nepřekračovaly toleranční pole díry H6. Dále je vidět v grafu, že všechny měřené hodnoty se spíše pohybují okolo horní hranice tolerančního pole H6.

Ve druhém grafu jsou zaznamenány naměřené hodnoty na výstupu v hloubce 40 mm. Zde je vidět, že výstružník HOFMEISTER dodržoval toleranční pole díry o něco déle cca 1 polovina vystružené délky a pak docházelo ke kolísání měřených hodnot směrem nad horní mezní hranici tak jako na vstupu. Výstružník HAM-FINAL vykazoval stabilnější průběh, všechny měřené hodnoty byly v tolerančním poli díry $\varnothing 8H6$. Je zde patrné, že měřené hodnoty se zde nepatřně zvýšily oproti hodnotám na vstupu.



Obr. 5.6. Skutečný průměr díry v hloubce 4,5 mm

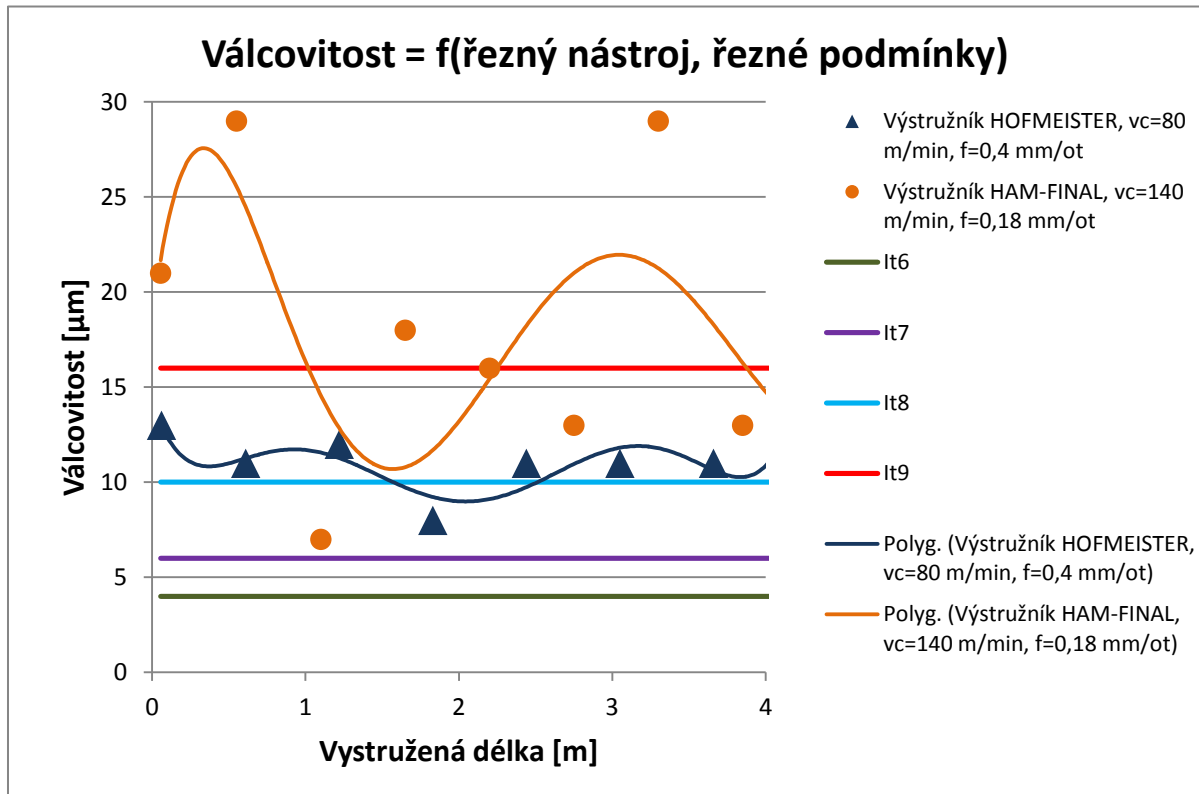


Obr. 5.7. Skutečný průměr v hloubce 40 mm

5.2.2. Hodnocení válcovitosti

Průběh válcovitosti vystružených děr je vyobrazen v grafu na obr. 5.11. Dále jsou zde uvedeny hodnoty jednotlivých tříd přesnosti a to od IT6 do IT9.

Z grafu je patrné, že ani jeden použitý nástroj nedosáhl na předepsanou přesnost IT6, kde je odchylka 4 μm . Nejhorší průběh válcovitosti byl u výstružníku HAM-FINAL. Hodnoty zde byly v rozmezí od IT7 až do IT11, což jsou velmi špatné výsledky. Naopak válcovitost ve vyrobených dírách od výstružníku HOFMEISTER byla stabilnější a pohybovala se v rozmezí IT7 až IT9.

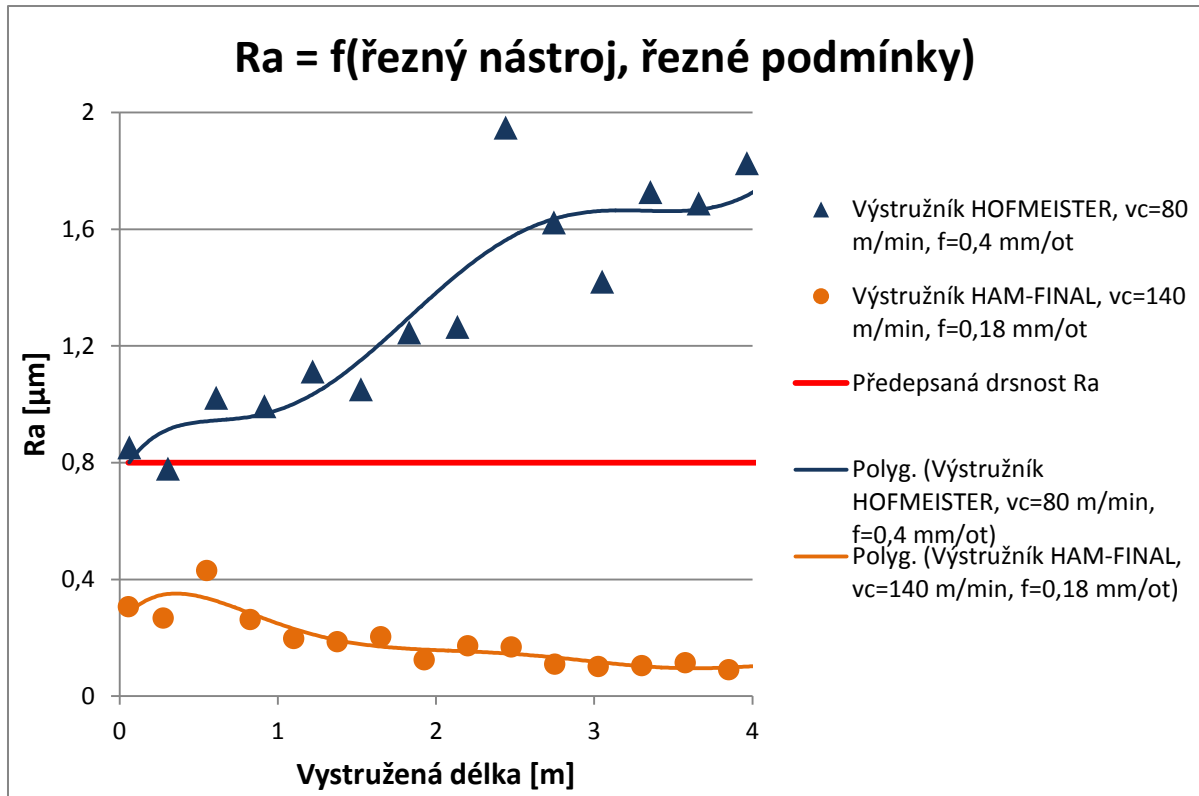


Obr. 5.8. Naměřená válcovitost

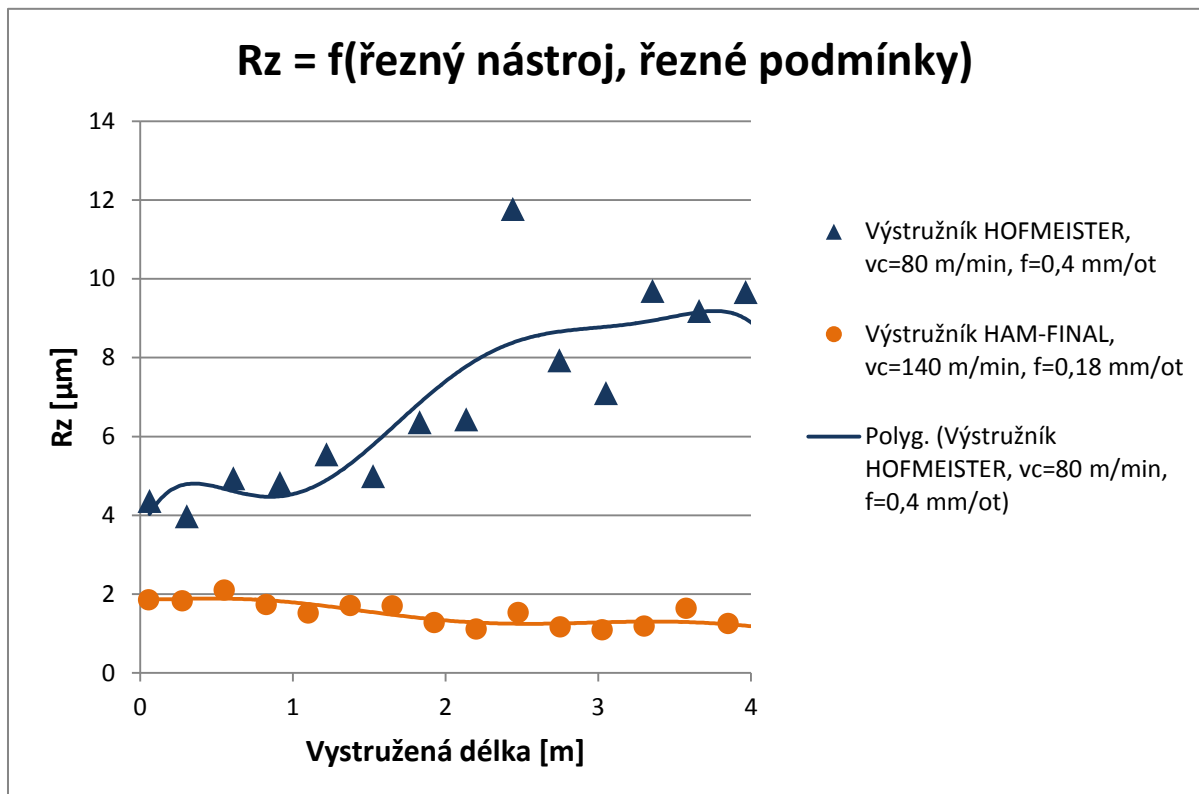
5.2.3. Hodnocení drsnosti povrchu parametrů Ra a Rz

Průběhy naměřených hodnot parametrů drsnosti povrchu jsou znázorněny v grafech na obr. 5.12. a 5.13. V grafu s parametrem drsnosti Ra je ještě znázorněna mezní hodnota Ra 0,8 μm . U parametru Rz nebylo žádné omezující kritérium.

V prvním grafu je vidět, že drsnost povrchu Ra u vystružené díry výstružníkem HOFMEISTER měla nevyhovující hodnoty kromě jedné, která se vešla do předepsané hodnoty. Dá se říci, že čím vyšší vystružená vzdálenost, tím vyšší hodnota drsnosti vystruženého povrchu. U výstružníku HAM-FINAL vycházely hodnoty drsnosti Ra v rozsahu od 0,1 μm do 0,5 μm . A z grafu je patrné, že s přibývajícím délkou stružení se hodnoty snižovaly. U parametru Rz jsou obdobné výsledky jako u parametru Ra.



Obr. 5.9. Drsnost povrchu Ra



Obr. 5.10. Drsnost povrchu Rz

5.3. Vyhodnocení po vystružení délky 6,5 m

V této části bude hodnocen pouze jeden nástroj. Jedná se o kombinaci výhrubník + výstružník HAM-FINAL (vystružená délka 2m) a výstružník HAM-FINAL (vystružená délka 4,5 m).

5.3.1. Hodnocení průměru vystružené díry v hloubce 4,5 a 40 mm

Hodnoty průměrů, které byly změřeny pomocí vzduchového kalibru Mahr-Millpneu S1840 jsou zobrazeny níže v grafu (Obr. 5.17.). V grafu jsou vyznačené dvě křivky, z nichž každá odpovídá jiné hloubce, ve které byl průměr měřen. Dále jsou zde vyznačeny horní a dolní mez tolerančního pole H6.

Graf je rozdělen na dvě části a to první část s použitím výhrubníku a druhá část bez použití výhrubníku. V první části je patrné, že na začátku jsou hodnoty mimo toleranci ale s postupnou délkou stružení hodnoty klesají až pod horní mezní rozměr. Je vidět, že zařazení výhrubníku do technologie stružení díry $\varnothing 8H6$ nemělo žádný efekt na průměr díry.

5.3.2. Hodnocení válcovitosti

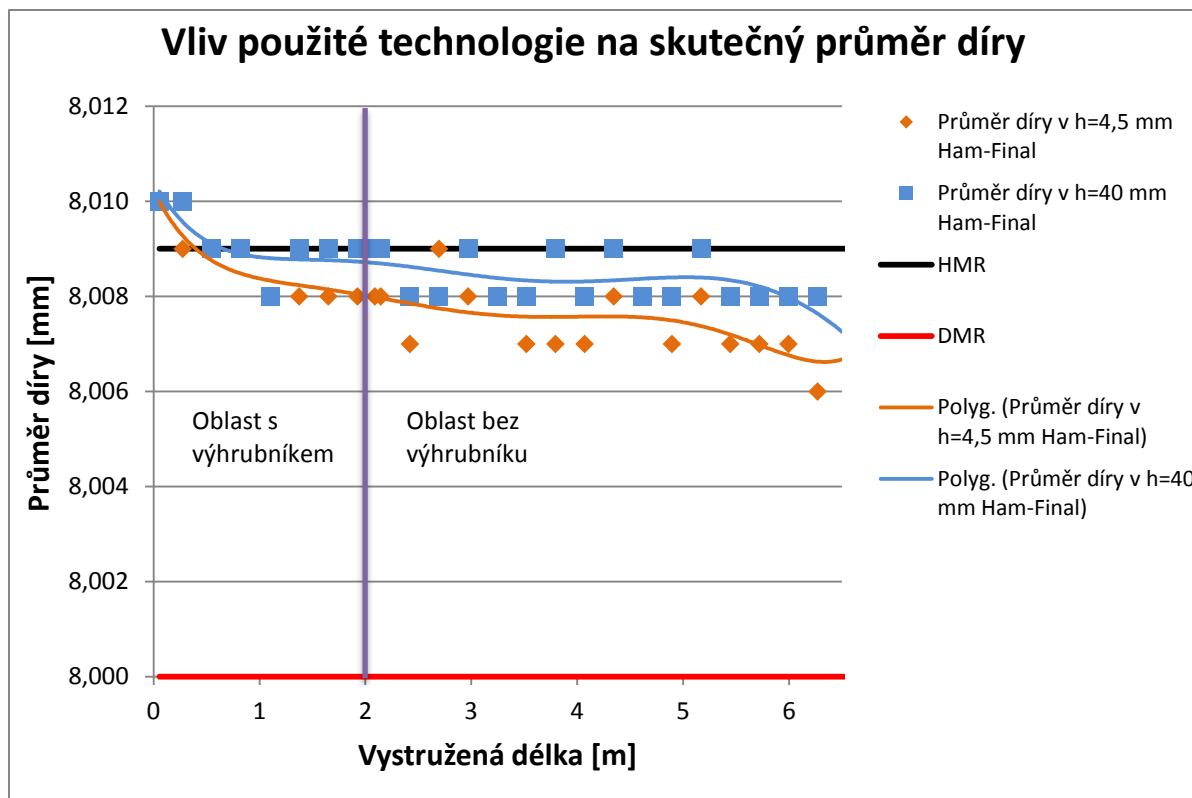
Průběh válcovitosti vystružených děr je vyobrazen v grafu na obr. 5.18. Dále jsou zde uvedeny hodnoty jednotlivých tříd přesnosti a to od IT6 do IT9.

Z grafu je patrné, že ani jeden použitý nástroj nedosáhl na předepsanou přesnost IT6, kde je odchylka 4 μm . Při použití výhrubníku byla válcovitost vystružených děr stabilnější v rozmezí od IT7 do IT9 a bez výhrubníku zde docházelo k velkému kolísání naměřených hodnot od IT7 až do IT11.

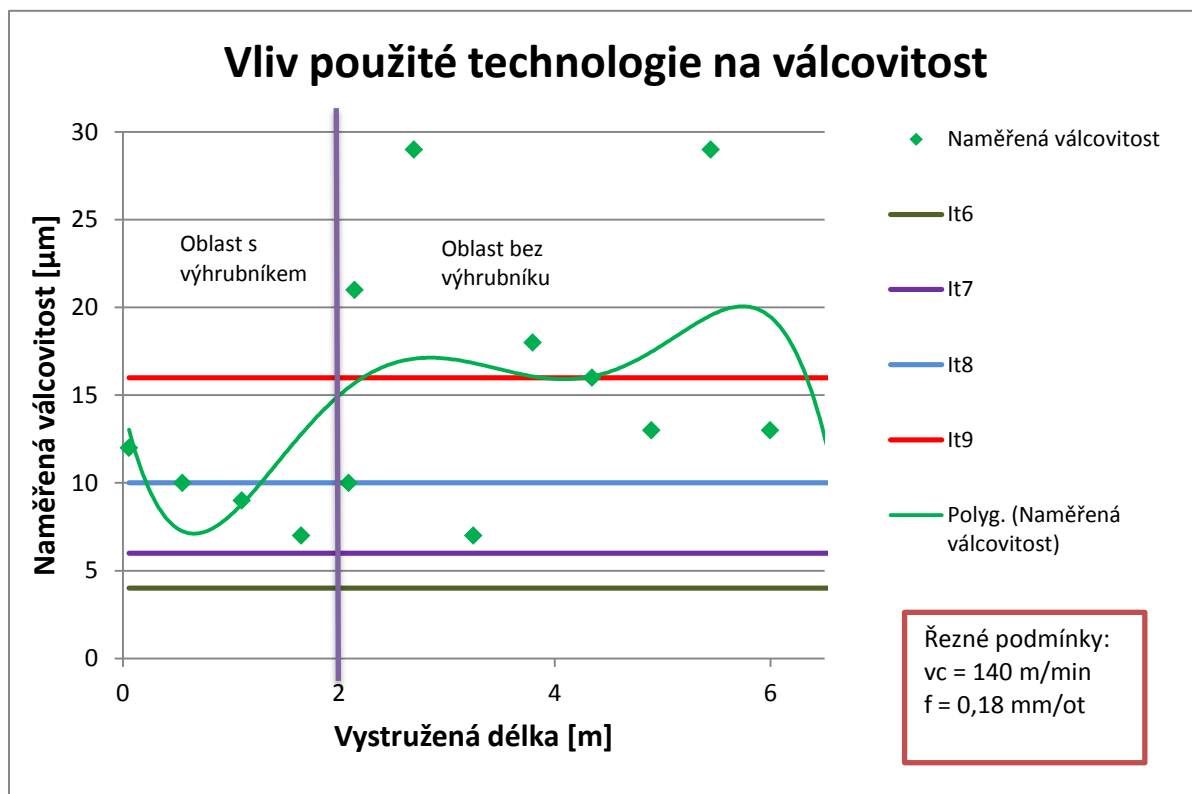
5.3.3. Hodnocení drsnosti povrchu parametrů Ra a Rz

Průběhy naměřených hodnot parametrů drsnosti povrchu jsou znázorněny v grafech na obr. 5.19. a 5.20. V grafu s parametrem drsnosti Ra je ještě znázorněna mezní hodnota Ra 0,8 μm . U parametru Rz nebylo žádné omezující kritérium.

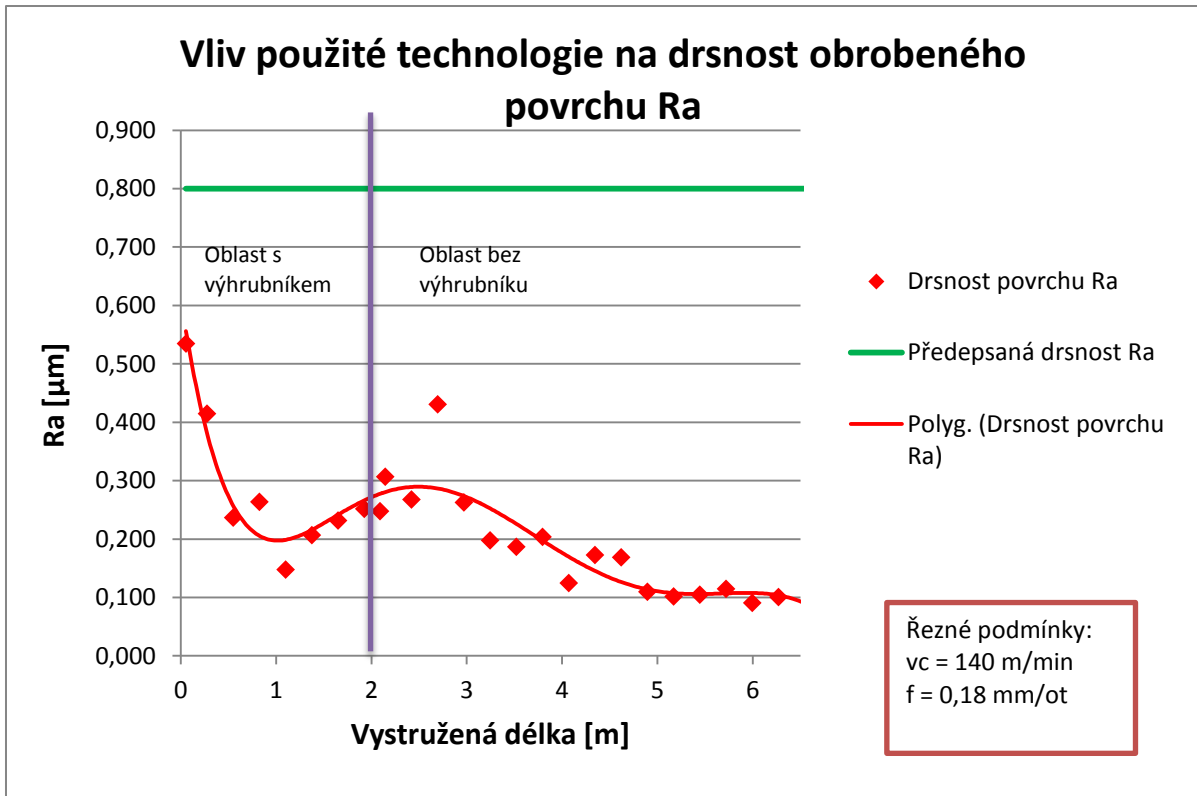
Z grafů je patrné, že zařazením výhrubníku nemělo žádný viditelný efekt. Dá se říci, že průběh obou parametrů drsnosti povrchu je stejný. Čím více nástroj vystružil metrů, tím docházelo ke klesání naměřených hodnot jak u parametru Ra tak i u Rz.



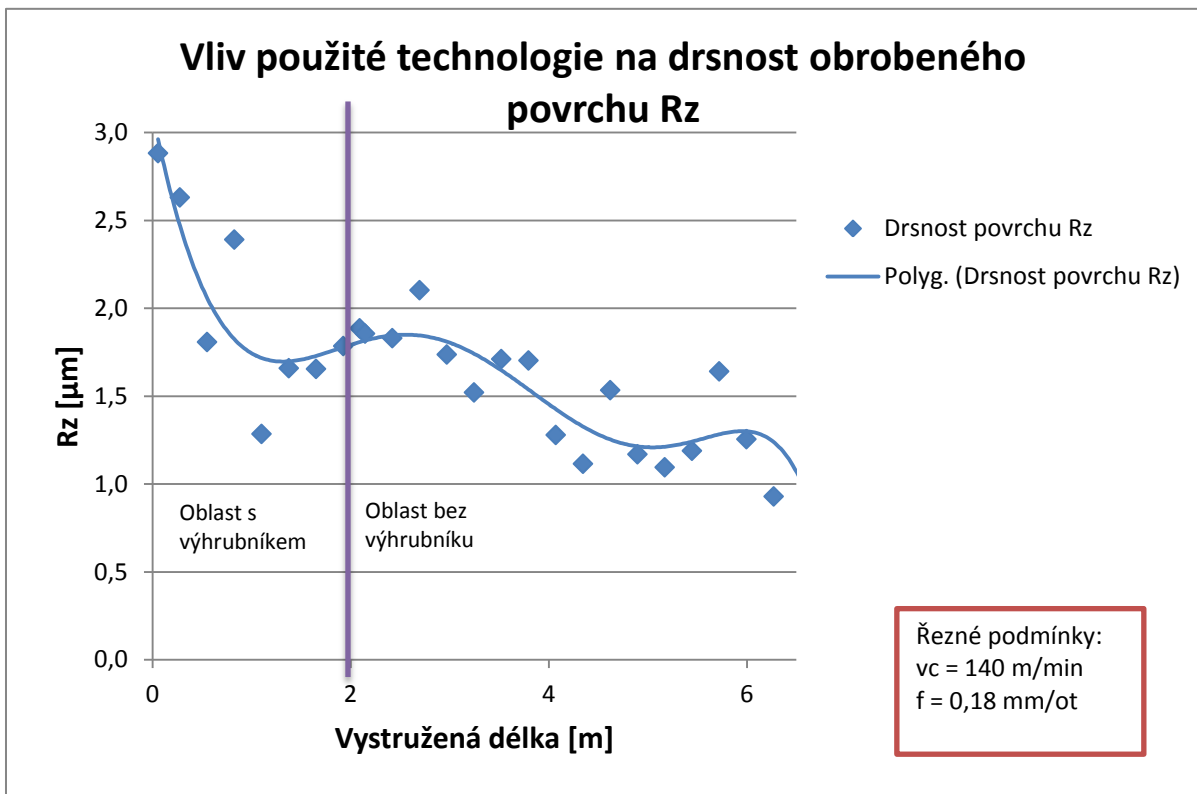
Obr. 5.11. Skutečný průměr díry



Obr. 5.12. Naměřená válcovitost



Obr. 5.13. Drsnost povrchu Ra



Obr. 5.14. Drsnost povrchu Rz

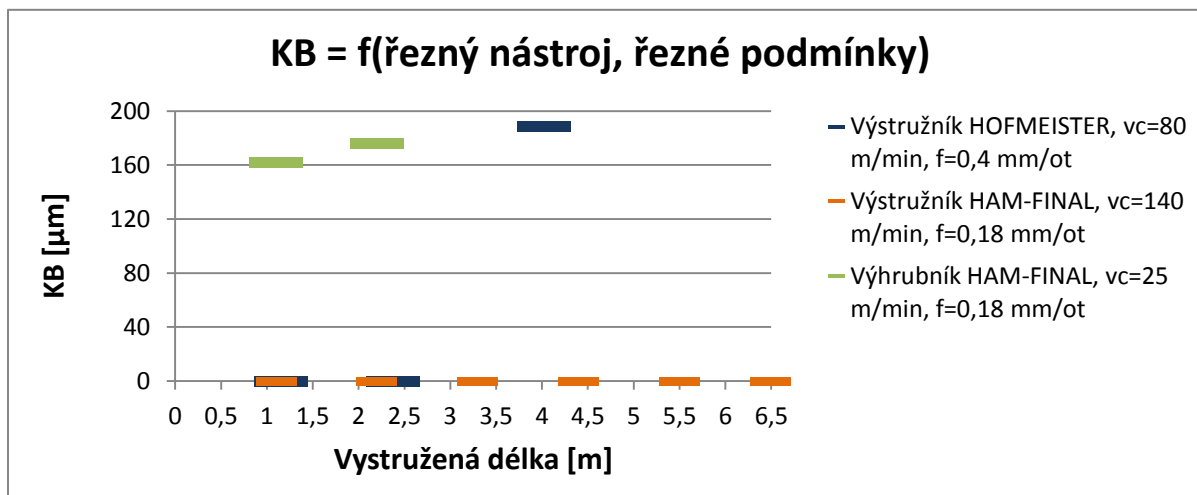
5.4. Hodnocení opotřebení na břitech nástroje

Hodnoty opotřebení jsou znázorněny v následujících grafech (Obr. 5.15., 5.16., 5.17.) tato oblast hodnocení už není rozdělena na více, ale všechny naměřené hodnoty opotřebení jsou v jednom grafu. To je z důvodu větší přehlednosti a také, že zde není velké množství naměřených hodnot. Měřeny byly tři hodnoty opotřebení (KB, VBmax – hlavní břit, VBmax – vedlejší břit) na výstružnicích. Na výhrubníku byly měřeny pouze dvě hodnoty (KB a VBmax – vedlejší břit). VBmax na hlavním břitu se bohužel nedalo změřit z důvodu velkého vyložení nástroje, tudíž se nepodařilo tuto hodnotu zaostřit.

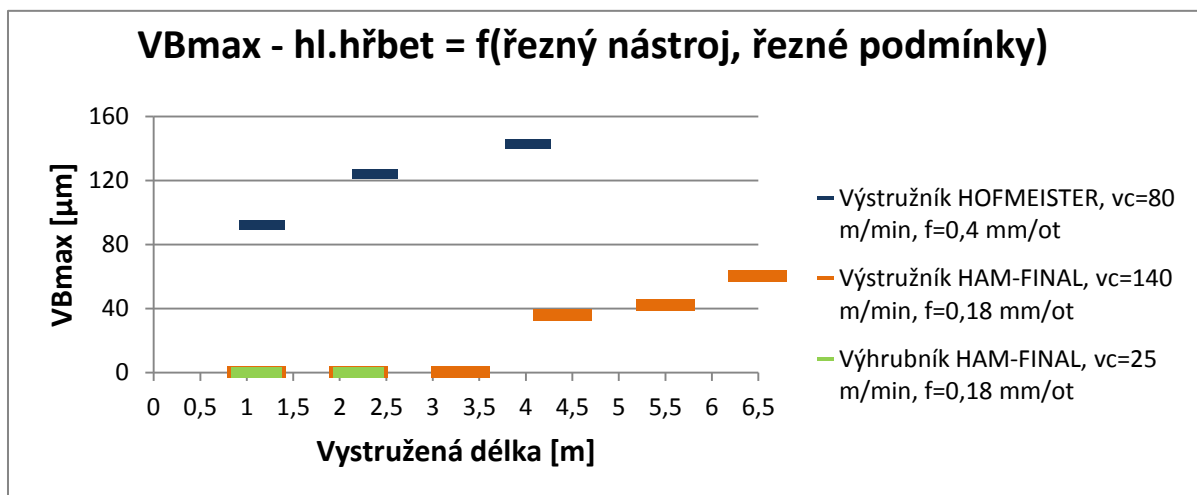
V prvním grafu jsou znázorněny hodnoty KB. U výstružníku HOFMEISTER byla měřitelná pouze poslední hodnota, kde bylo vidět, že na jednotlivých břitech nástroje začal vznikat nárůstek. Ten mohl zapříčinit špatné hodnoty při měření drsnosti povrchu Ra a Rz. U výstružníku HAM-FINAL nebyla měřitelná žádná hodnota na čele břitu nástroje, nástroj v tomto pohledu vypadal velmi dobře. U výhrubníku HAM-FINAL byly měřeny pouze dvě hodnoty, které byly velmi vysoké okolo 160 – 180 μm , docházelo zde k velkému opotřebení, které by mohlo v nejbližší době zapříčinit destrukci nástroje.

Ve druhém grafu jsou znázorněny hodnoty VBmax na hlavním břitu nástroje. U výstružníku HOFMEISTER byly naměřeny tři hodnoty v rozmezí 90 -150 μm , které se neustále zvyšovaly. U výstružníku HAM-FINAL byly naměřeny hodnoty v rozmezí 30 – 60 μm . U výhrubníku HAM-FINAL nebyly žádné měřitelné hodnoty.

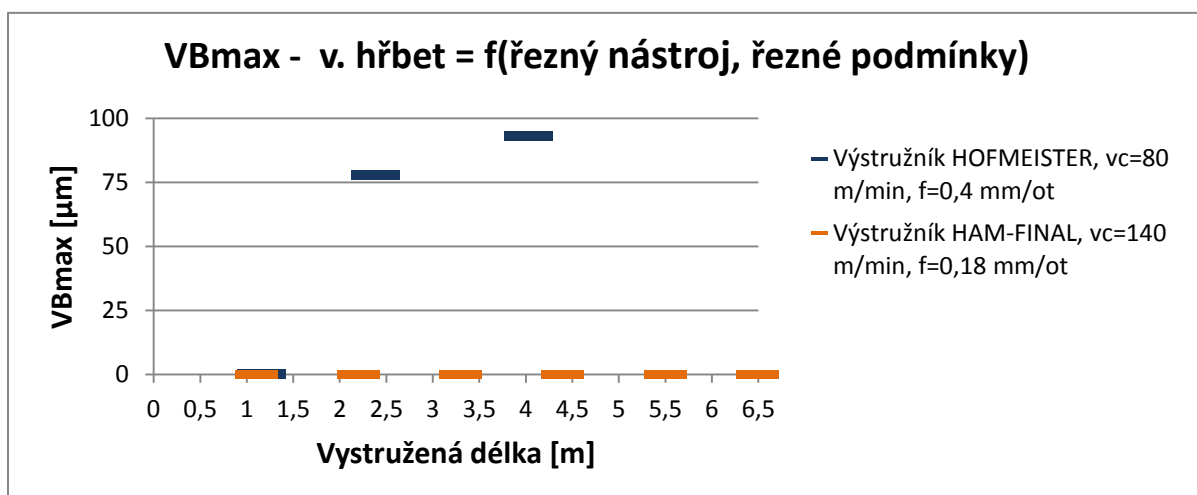
V posledním grafu jsou znázorněny hodnoty VBmax na vedlejším hřbetu břitu nástroje. U výstružníku HOFMEISTER byly naměřeny hodnoty v rozmezí 70 – 90 μm . U výstružníku a výhrubníku HAM-FINAL nebyla naměřena žádná data.



Obr. 5.15. Opatření na čele břitu nástroje



Obr. 5.16. Opatření na hlavním hřbetu břitu nástroje



Obr. 5.17. Opatření na vedlejším hřbetu břitu nástroje

5.5. Hodnocení časové náročnosti

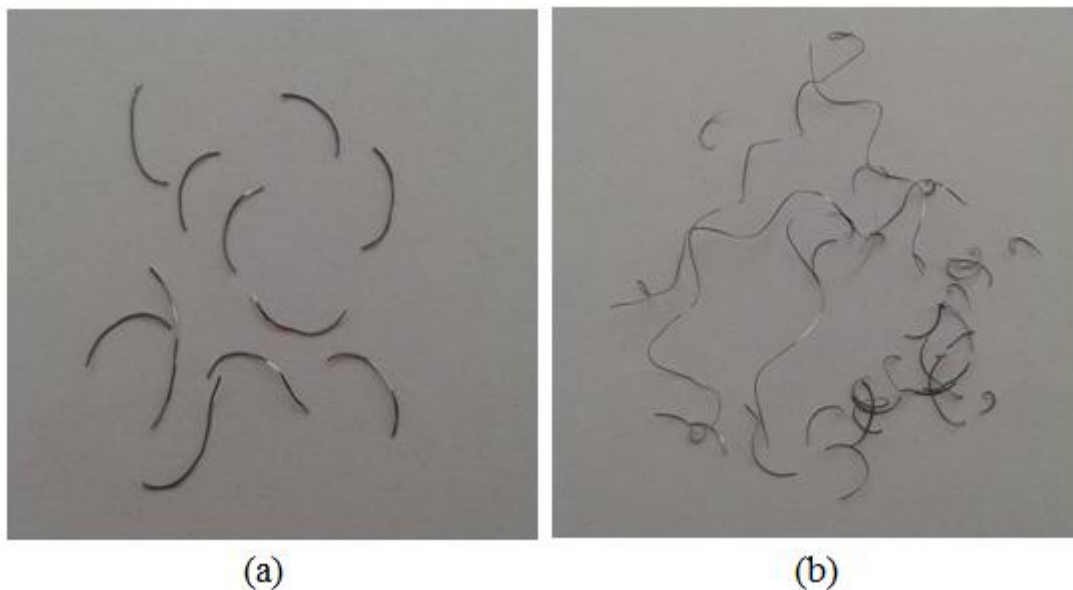
V této části bude zhodnocena časová náročnost všech variant řešení. Jedná se o čas potřebný pro výrobu jedné díry v laboratorních podmínkách. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 5.1.) Dá se říci, že první a třetí varianta mají skoro stejnou časovou náročnost. To je zapříčiněno tím, že sice výstružník HOFMEISTER má řezné podmínky $v_c = 80$ m/min a $f = 0,4$ mm/ot a výstružník HAM-FINAL má řezné podmínky $v_c = 140$ m/min a $f = 0,18$ mm/ot. Z těchto podmínek je vidět, že sice výstružník HAM-FINAL má větší řeznou rychlost, zároveň má o polovinu nižší posuv. Takže ve finálním součtu to nemá na celkový čas obrábění žádný vliv. U druhé varianty je časová náročnost poněkud větší a to z důvodu přidání dalšího nástroje.

Tab. 5.1. Časová náročnost na výrobu jedné díry

<i>Varianta řešení</i>	<i>Časová náročnost</i>
1.	1 min 23s
2.	1 min 41 s
3.	1min 17 s

5.6. Hodnocení třísek nástrojů

V následujících dvou obrázcích jsou vyobrazeny dva druhy třísek (Obr. 5.18.(a) – třísky od výstružníku HOFMEISTER a (b) třísky od výstružníku HAM-FINAL) Třísky na obrázku (a) spadají do kategorie obloučkovité třísky dělené podle ISO normy. Tento tvar třísek je žádaný. V obrázku (b) jsou znázorněny třísky dvojího typu, obloučkovité dělené a vlnité šroubovitě třísky dlouhé. Obloučkovité třísky dělené vznikaly na začátku a v průběhu experimentálního obrábění, tzn. od okamžiku, kdy byl použit nový výstružník. Těsně před ukončením trvanlivosti řezného břitu začal vznikat již zmiňovaný druhý typ třísky.



Obr. 5.18. Třísky (a) po nástroji HOFMEISTER (b) po nástroji HAM-FINAL

5.7. Shrnutí experimentálního měření

Bylo provedeno testování tří navržených variant řešení dané problematiky. Z naměřených dat je patrné, že nejlépe dopadla varianta číslo 3, tedy zachování staré technologie pouze s jiným typem výstružníku (cermetový výstružník HAM-FINAL). U této varianty jsou klady v hodnotách průměru, drsnosti vystruženého povrchu R_a a R_z , ale naopak zápory jsou v hodnotách válcovitosti. Tento parametr se sice ve firmě HOFMEISTER neměří, ale měl by se brát v úvahu při výrobě takto přesné díry.

Jako největší plus u této varianty je to, že nástroj vytvářel několikanásobně lepší drsnost povrchu než nástroj v původní technologii a vystružil skoro dvojnásobek délky.

Pro testování ve firmě HOFMEISTER bych doporučil zkoušet tuto variantu k dalšímu testování na reálných součástech. Mohou zde však nastat komplikace v následujících oblastech:

- Jiný typ obráběcího stroje,
- Rozdílný druh a tlak rezné kapaliny,
- Jiný tvar obráběné součásti,
- Jiný typ upnutí obrobku.

V součtu mohou tyto rozdílnosti přinést záporné ale i kladné výsledky. To by měla být otázka dalších experimentálních testů v reálné výrobě.

6. Technicko-ekonomické hodnocení

Cílem technicko-ekonomického hodnocení výroby je nalézt optimální variantu řešení jak z ekonomického tak i z funkčního hlediska. V dnešní době je vysoká konkurence v technické oblasti. Všichni výrobci se snaží vyrábět za co nejmenší náklady ale zároveň s výbornou spolehlivostí. Každá výroba může mít několik variant řešení, z nichž každá nemusí být ekonomicky výhodná.

V této práci byly otestovány dva typy výstružníků. Díky těmto experimentům by mělo dojít k zefektivnění procesu vystružování ve firmě HOFMEISTER.

V této kapitole budou vypočítány náklady na jednotlivé varianty technologických postupů. Jedná se zde spíše o relativní náklady na laboratorní měření.

Náklady na původní technologii:

Cena výstružníku HOFMEISTER	2860 Kč
Hodinová sazba stroje	800 Kč/hod.
Doba experimentu	5 hod
Počet vyrobených děr	66 Ks

Celkové náklady na nástroje = 2860 Kč
Celkové náklady na stroj = $5 \cdot 800 = 4000$ Kč

Celkové náklady = $2860 + 4000 = 6860$ Kč

Náklady na výrobu jedné díry = $6860 / 66 = \underline{104 \text{ Kč}}$

Náklady na novou technologii:

Cena výstružníku HAM-FINAL	4950 Kč
Cena výhrubníku HAM-FINAL	2580 Kč
Hodinová sazba stroje	800 Kč/hod.
Doba experimentu	3 hod
Počet vyrobených děr	38 Ks

Celkové náklady na nástroje = $4950 + 2580 = 7530$ Kč
Celkové náklady na stroj = $3 \cdot 800 = 2400$ Kč

Celkové náklady = $7530 + 2400 = 9930$ Kč

Náklady na výrobu jedné díry = $9930 / 38 = \underline{261 \text{ Kč}}$

Náklady na technologii s jiným typem výstružníku:

Cena výstružníku HAM-FINAL	4950 Kč
Hodinová sazba stroje	800 Kč/hod.
Doba experimentu	6 hod
Počet vyrobených děr	80 Ks

Celkové náklady na nástroje = 4950 Kč
Celkové náklady na stroj = $6 \cdot 800 = 4800$ Kč

Celkové náklady = $4950 + 4800 = 9750$ Kč

Náklady na výrobu jedné díry = $9750 / 80 = \underline{121 \text{ Kč}}$

Celkové náklady výstružníku HAM-FINAL:

Cena výstružníku HAM-FINAL	4950 Kč
Hodinová sazba stroje	800 Kč/hod.
Doba experimentu	9 hod
Počet vyrobených děr	118 Ks

Celkové náklady na nástroje = 4950 Kč
Celkové náklady na stroj = $9 \cdot 800 = 7200$ Kč

Celkové náklady = $4950 + 7200 = 12150$ Kč

Náklady na výrobu jedné díry = $12150 / 118 = \underline{102 \text{ Kč}}$

Shrnutí technicko-ekonomického hodnocení:

V předešlých částech této kapitoly jsou vypočítány náklady na jednotlivé varianty. Tyto hodnoty se musejí brát s rezervou, protože u každé varianty byl vyroben jiný počet děr. Jsou zde započítány pouze výstružníky, protože byly u každé varianty použity jiné šroubovitě vrtáky s rozdílnou cenou, dále zde nejsou započítány ostatní nástroje, které jsou potřebné pro zhotovení díry, protože by se do celkových nákladů žádným velkým podílem neprojevíly.

Dále je potřebné brát v úvahu dosahované výsledky jednotlivých nástrojů, kde výstružník HAM-FINAL byl několikanásobně lepší než výstružník HOFMEISTER. Dá se říci, že kdyby mělo být vyrobeno původní technologií stejný počet děr jako u technologie s výstružníkem HAM-FINAL musely by být použity minimálně dva nástroje. Tak se může říci, že by náklady vyšly srovnatelné nebo i horší. Při zařazení výhrubníku by se celkově zvedly náklady na vyrobenou díru a došlo by i k prodloužení výrobního času.

7. Závěr

V této diplomové práci je řešena problematika výroby přesných děr technologií vystružováním se zaměřením na zefektivnění výroby díry o průměru 8H6 na součásti VDI držák ve firmě HOFMEISTER, s.r.o. Tato práce je rozdělena na tři části. První část je teoretická a zabývá se řeznými materiály využitelnými pro výstružníky. V další části je rozebrán současný stav ve firmě HOFMEISTER, s.r.o. tak jak se nyní daná díra vyrábí. Poslední část se věnuje experimentálnímu měření v laboratorních podmínkách na půdě ZČU.

Celkově byly tři varianty řešení, které jsou popsány v kapitole 4. Původní technologie byla testována z důvodu ověření problémů ve výrobě, které byly zaznamenány ve firmě HOFMEISTER, s.r.o., následně byly testovány další dvě varianty. U původní technologie se potvrdily problémy, jako je nedodržování předepsaného rozměru průměru díry o $\varnothing 8H6$, které nebyly zas až tak zásadní, ale určitě nezanedbatelné. Další nedostatek byl nedodržování předepsané drsnosti povrchu $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$, který se taktéž potvrdil. Z těchto důvodů vznikl nový technologický postup ve spolupráci z firmou HAM-FINAL, s.r.o. A poté bylo navrženo ještě jedno řešení, kde došlo u původního technologického postupu k záměně typu výstružníku.

Po vyhodnocení experimentálního měření vyšly dosti jasné závěry. Stačilo pouze vyměnit typ výstružníku a měřené hodnoty průměru byly lepší. Hodnoty drsnosti povrchu jsou dokonce několikanásobně lepší a docházelo k tomu, že čím byla vystružená vzdálenost větší, tím lepší parametr drsnosti Ra byl. Dále byl měřen parametr drsnosti vystružené díry Rz , jež má mnohem vyšší vypovídací hodnotu o kvalitě vystružené díry než parametr Ra . Bohužel k tomuto parametru nebyla stanovena žádná omezující kritéria. Následně byla měřena válcovitost vyráběné díry, která naopak u této varianty byla nestabilní, a ani zdaleka se nepřibližovala předepsané hodnotě IT6. Naopak u původního postupu byla válcovitost stabilnější, ale také nedosahovala předepsané hodnoty. Zařazení výhrubníku před operací vystružování nemělo skoro žádný vliv na hodnoty průměru a drsnosti povrchu, akorát zde byly stabilnější hodnoty válcovitosti, ale taktéž nebyly v toleranci. Hodnoty válcovitosti se u všech tří variant řešení pohybovaly od IT7 až i do IT11, což nejsou moc lichotivé výsledky. Kolísavé hodnoty válcovitosti mohly být zapříčiněny použitím jiného typu šroubovitého vrtáku. U původního postupu a u postupu s výhrubníkem byl použit šroubovitý vrták od firmy OSG a u třetího postupu byl použit šroubovitý vrták od firmy ISCAR. Dále zde bylo hodnoceno opotřebení břitu řezného nástroje, kde také s přehledem jednoznačně nejlepších výsledků dosáhl výstružník HAM-FINAL. Bohužel se stalo, že výstružník HAM-FINAL s neznámých důvodů praskl po ujetí vystružené délky cca 6,5 m. U výstružníku HOFMEISTER docházelo k velkému nárůstu opotřebení a vzniku nárůstu na jednotlivých břitech.

Na závěr je potřeba říci, že tyto hodnoty jsou dobrým odrazovým můstkem pro realizaci experimentů přímo v reálné výrobě ve firmě HOFMEISTER, s.r.o. Nasazení nového, produktivního, cermetového výstružníku v reálné výrobě prozatím nebylo možné, neboť zrovna nebyla naplánovaná výroba dané součásti nebo to nebylo z časového hlediska možné. Tyto experimenty budou předmětem další práce.

Seznam použité literatury

- [1] KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [2] MARTINCOVÁ, Zdeňka. *Supertvrdé řezné materiály a jejich efektivní využití*. Brno, 2008. Diplomová práce. VUT Brno. Vedoucí práce Doc. Ing. Anton Humár, CSc. Dostupné z [www:< https://www.vutbr.cz/>](https://www.vutbr.cz/)
- [3] 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.*
- [4] ŘASA, Jaroslav a Kolektiv. *Výpočetní metody v konstrukci řezných nástrojů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986, 464 s. DT 621.9.02.002.2.
- [5] MESQUITA, Rafael A. a Celso A. BARBOSA. *Spray forming high speed steel - properties and processing. Materials Science and Engineering A 383*. 2004, s. 89. DOI: 10.1016/j.msea.2004.02.035. Dostupné z: www.sciencedirect.com
- [6] [online]. [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://www.kovonastroje.cz/Nastroje-pro-kovoobrabeni/Vystruzovani-a-vyhrubovani/Vystruzniky/Nastrcne/>
- [7] ZETEK, Miroslav. *Přednášky z PNO*. Plzeň, ZČU, akademický rok 2011/2012.
- [8] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [9] PTÁČEK, Luděk a Kolektiv. *Nauka o materiálu II*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. ISBN 80-7204-248-3.
- [10] [online]. [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.techtydenik.cz/reznenastroje.php?part=2>
- [11] PTÁČEK, Luděk a Kolektiv. *Nauka o materiálu II*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. ISBN 80-7204-248-3.
- [12] [online]. [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com>
- [13] KŘÍŽ, Antonín. *Přednášky z MO*. Plzeň, ZČU, akademický rok 2012/2013
- [14] DVOŘÁK, L. *Nekonvenční technika vystružování*. MM Průmyslové spektrum, 2009, č.5, s.38. ISSN 1212-2572.
- [15] HAVLÍK, Luboš. *Integrita povrchu při vystružování s využitím vystružovací hlavičky MT3*. Brno, 2012. Diplomová práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Karel Kouřil, Ph.D. Dostupné z: www.vutbr.cz
- [16] [online]. [cit. 2014-03-28]. Dostupné z <http://katalog.mav.cz/data/upload/files/42299-doporucene-rezne-podminky-pro-vystruzovani-vyhrubovani-a-zahlubovani.pdf>
- [17] [online]. [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: http://www.stimzet.cz/data/csn221460_cz.html
- [18] [online]. [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/>

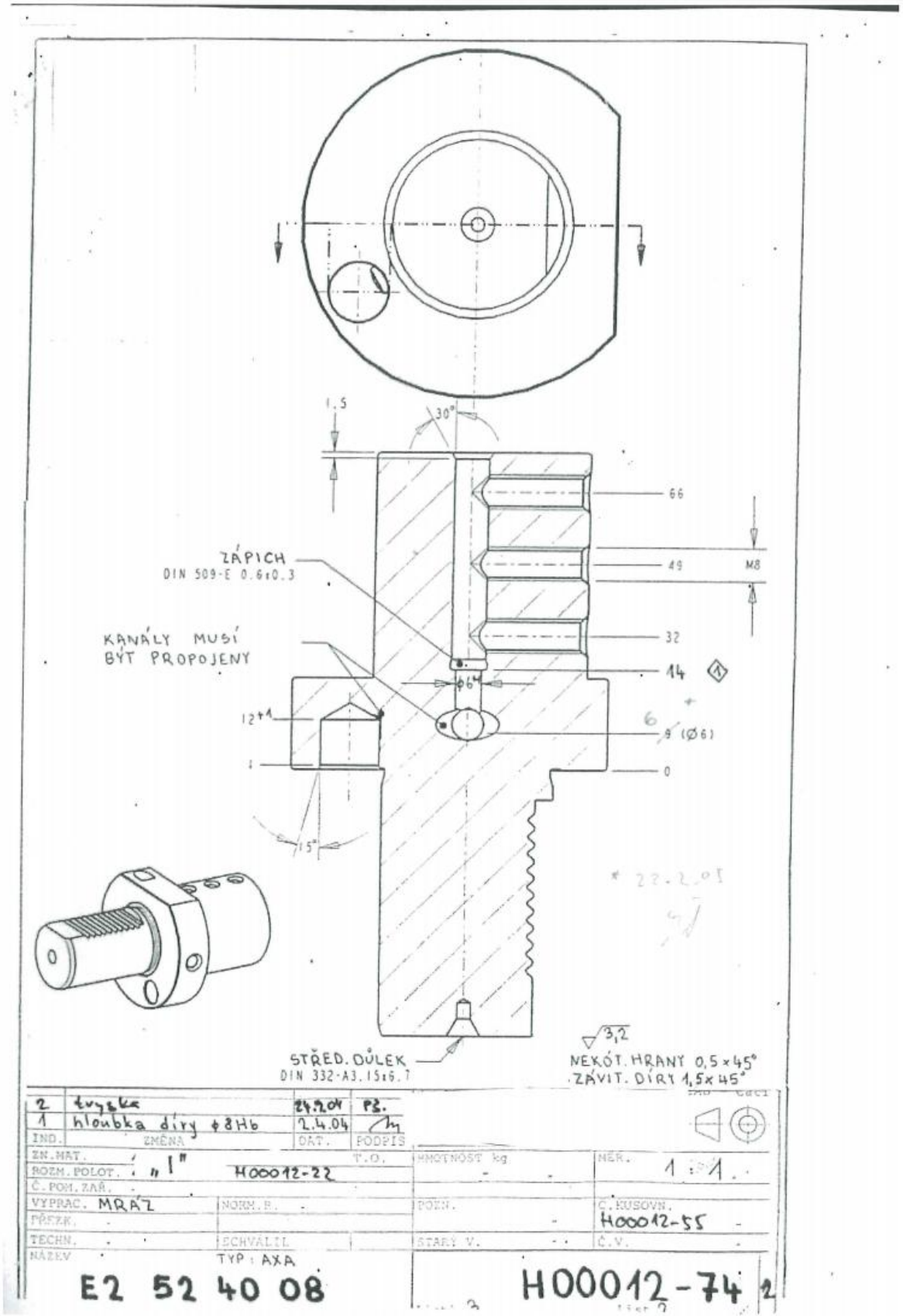
- [19] FIALA, Stanislav a Petr HLADÍK. Cermetové výstružníky. *MM Průmyslové spektrum*[online]. 14. 4. 2004, [vid. 2011-11-25]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/cermetove-vystruzniky.html>
- [20] [online]. [cit. 2014-03-28]Dostupné z: <http://www.mapal.com/cz/vyrobky/vyrobkove-skupiny/pevne-vicebrite-vystruzniky/pevne-vystruzniky-karbidovecermetove/>
- [21] [online]. [cit. 2014-03-28]Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pkd-a-cbn-nastroje.html>
- [22] [online]. [cit. 2014-04-26]Dostupné z: <http://www.ceratizit.com/>
- [23] [online]. [cit. 2014-04-26] Dostupné z: <http://www.extramet.ch/>
- [24] [online]. [cit. 2014-04-26]Dostupné z: <http://www.americas.kyocera.com/>
- [25] [online]. [cit. 2014-04-26]Dostupné z: <http://www.e6.com/>
- [26] [online]. [cit. 2014-05-28]Dostupné z: <http://www.diamondinnovations.com/>
- [27] [online]. [cit. 2014-5-28]Dostupné z: <http://www.iljinco21.en.ec21.com/>
- [28] [online]. [cit. 2014-05-28]Dostupné z: <http://www.exapro.com/>
- [29] [online]. [cit. 2014-05-28] Dostupné z: <http://www.directindustry.de/>
- [30] [online]. [cit. 2014-05-28]Dostupné z: <http://www.microtes.cz/Mahr/drsnomery-Ma.pdf>
- [31] [online]. [cit. 2014-05-28]Dostupné z: <http://www.avyac-machines.com/pc500-multicheck-for-england.html>
- [32] [online]. [cit. 2014-05-28] Dostupné z: <http://www.cmmsales.co.uk/cmmsales/machines/>

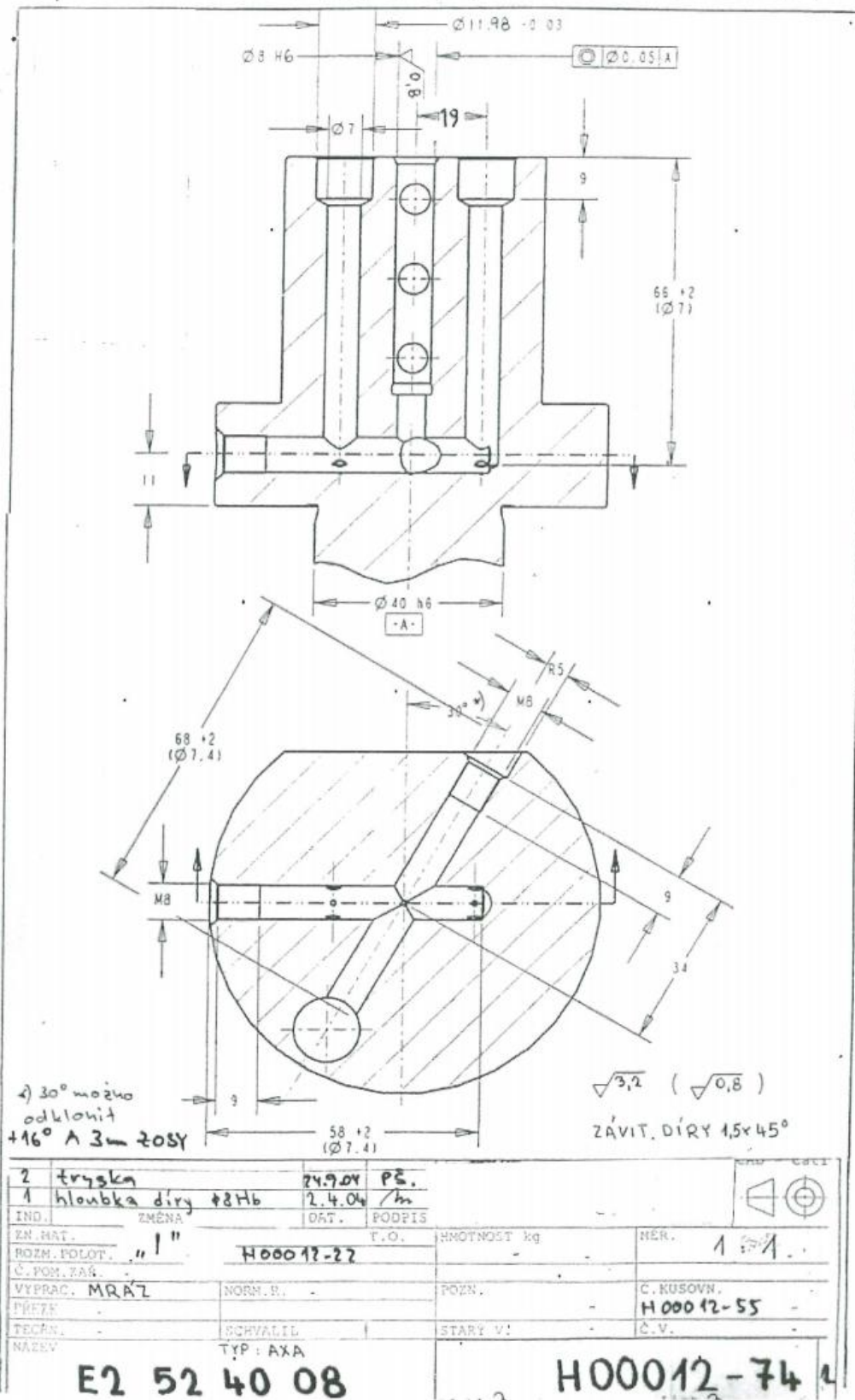
Přílohy k diplomové práci

Seznam příloh

Seznam příloh	I
Příloha č. 1: Výrobní výkres VDI držák	II
Příloha č. 2: Obráběcí centrum AXA-DBZ	IV
Příloha č. 3: Obráběcí stroj MCV 750A.....	V
Příloha č. 4: Výkresy výstružníků	VI
Příloha č. 5: Vzduchový měřicí přístroj Mahr – Millipneu S 1840	VIII
Příloha č. 6: Drsnoměr Mahr – Marsurf M300.....	IX
Příloha č. 7: Dílenský mikroskop Multicheck PC 500	X
Příloha č. 8: 3D souřadnicový měřicí stroj LK G-90C	XI
Příloha č. 9: Zpráva z měření z firmy HOFMEISTER s.r.o.....	XII
Příloha č. 10: Naměřené hodnoty.....	XXI

Příloha č. 1: Výrobní výkres VDI držák





Příloha č. 2: Obráběcí centrum AXA-DBZ



Obr. I. Vertikální obráběcí centrum AXA-DBZ [28]

<i>Druh:</i>	Vertikální obráběcí centrum
<i>Typ:</i>	AXA-DBZ
<i>Rok výroby:</i>	2005
<i>Počet NC řízených os:</i>	3
<i>Jmenovitý výkon vřetena:</i>	13 kW
<i>Rozsah otáček:</i>	30 – 6000 ot/min
<i>Pojezd v ose X, Y, Z:</i>	plynulá
<i>Pracovní posuv v ose X, Y, Z:</i>	1 – 9999 mm/min
<i>Řídicí systém:</i>	Heidenhain iTNC 530

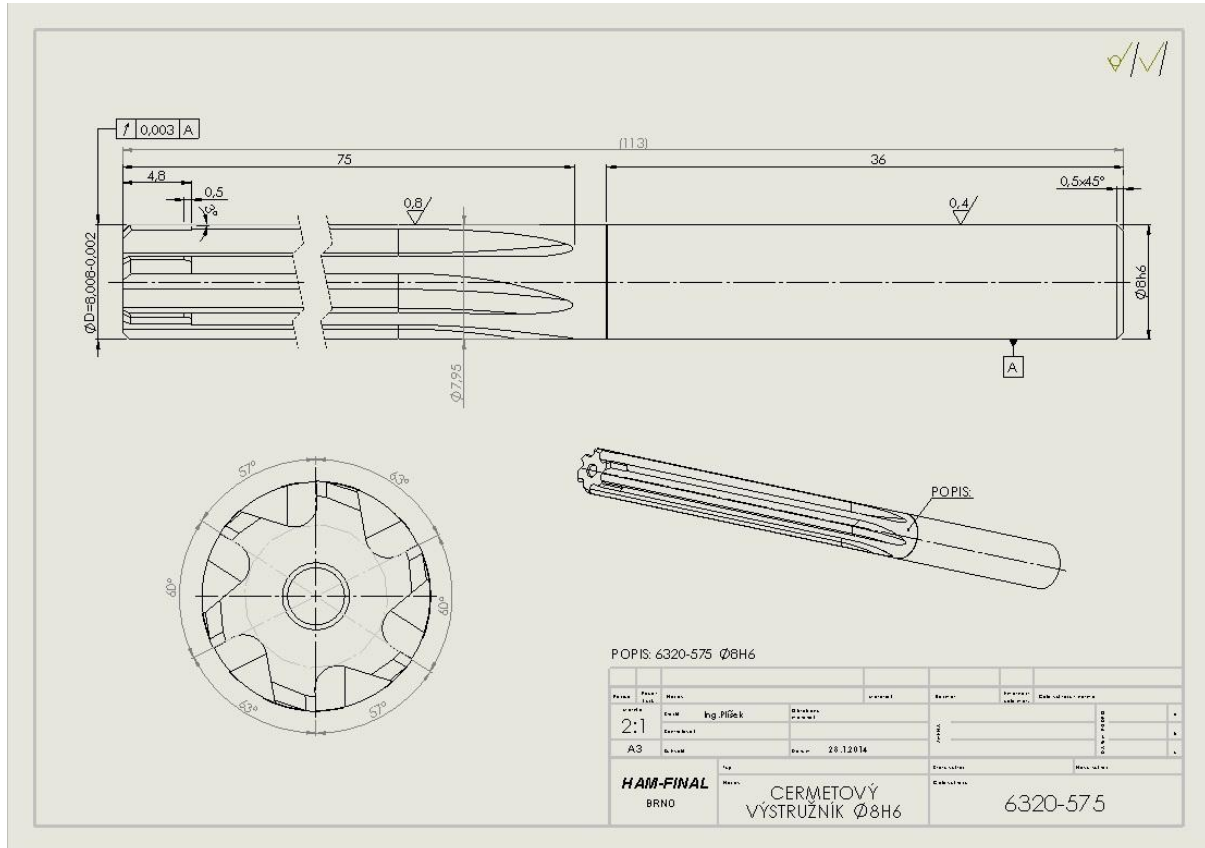
Příloha č. 3: Obráběcí stroj MCV 750A



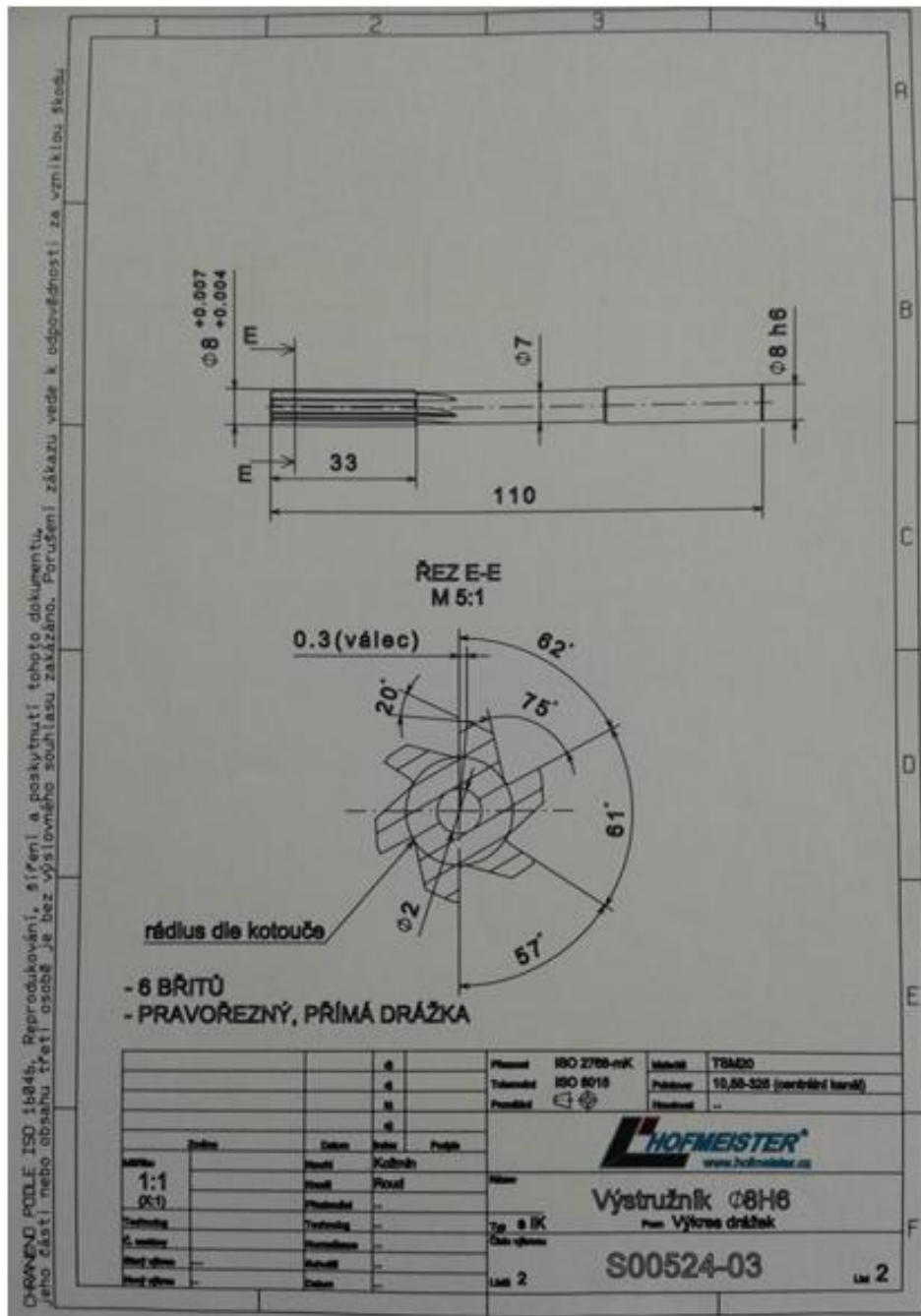
Obr. II. Vertikální obráběcí centrum MCV 750A[28]

<i>Druh:</i>	Vertikální obráběcí centrum
<i>Typ:</i>	MCV 750A
<i>Počet NC řízených os:</i>	3
<i>Jmenovitý výkon vřetena:</i>	16 kW
<i>Rozsah otáček:</i>	20 – 13000 ot/min
<i>Pojezd v ose X, Y, Z:</i>	plynulá
<i>Rozměry upínacího stolu:</i>	750, 500, 500 mm
<i>Pracovní posuv v ose X, Y, Z:</i>	1 – 15000 mm/min
<i>Rychloposuv v ose X, Y, Z:</i>	45000 mm/min
<i>Řídicí systém:</i>	Heidenhain TNC 426

Příloha č. 4: Výkresy výstružníků



Obr. III. Výkres cermetového výstružníku HAM-FINAL



Obr. IV. Výkres výstružníku ze slinutého karbidu HOFMEISTER

Příloha č. 5: Vzduchový měřicí přístroj Mahr – Millipneu S 1840



Obr. IV. Vzduchový měřicí přístroj[29]

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

Příloha č. 6: Drsnoměr Mahr – Marsurf M300



Obr. V. Drsnoměru Mahr-Marsurf M300 [30]

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

Příloha č. 7: Dílenský mikroskop Multicheck PC 500



Obr. VII. Optický mikroskop Multicheck PC500[31]

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. 8: 3D souřadnicový měřicí stroj LK G-90C



Obr. VIII. 3D souřadnicový měřicí stroj LK G-90C [32]

Měřicí rozsah:

610 x 508 x 406 mm

Přesnost měření:

2,5 + L/150 μ m

Celkové rozměry:

1410 x 1160 x 2325 mm

Hmotnost:

1500 Kg

Příloha č. 9: Zpráva z měření z firmy HOFMEISTER s.r.o.

Podmínky testu:

1. Obráběný materiál: 12050.3 – součást VDI držák 52 30 08
2. Nástroj: VHM monolitní výstružník průměr 8H6 mm
3. Obráběcí stroj: Frézovací centrum AXA-DBZ
4. Chlazení: Vnitřní – emulze CIMSTAR 620

Technologický postup:

Upnutí obrobku v prizmatickém přípravku s příložkou na stůl obráběcího stroje.

1. Navrtání

2. Vrtání

- Vrtání šroubovým vrtákem na průměr 7,8 mm do hloubky 51 mm
- Vrták upnut v upínači WELDON
- Chlazení emulze Cimstar 620 – 14%, tlak 30bar

Řezné podmínky:

$v_c = 49$ m/min
 $v_f = 190$ mm/min
 $n = 2000$ ot/min
 $f = 0,1$ mm/ot

3. Vrtání

- Vrtání šroubovým vrtákem na průměr 6 mm do hloubky 55 mm
- Vrták upnut v upínači WELDON
- Chlazení emulze Cimstar 620 – 14%, tlak 30bar

Řezné podmínky:

$v_c = 49$ m/min
 $v_f = 190$ mm/min
 $n = 2000$ ot/min
 $f = 0,1$ mm/ot

4. Sražení hrany 60°

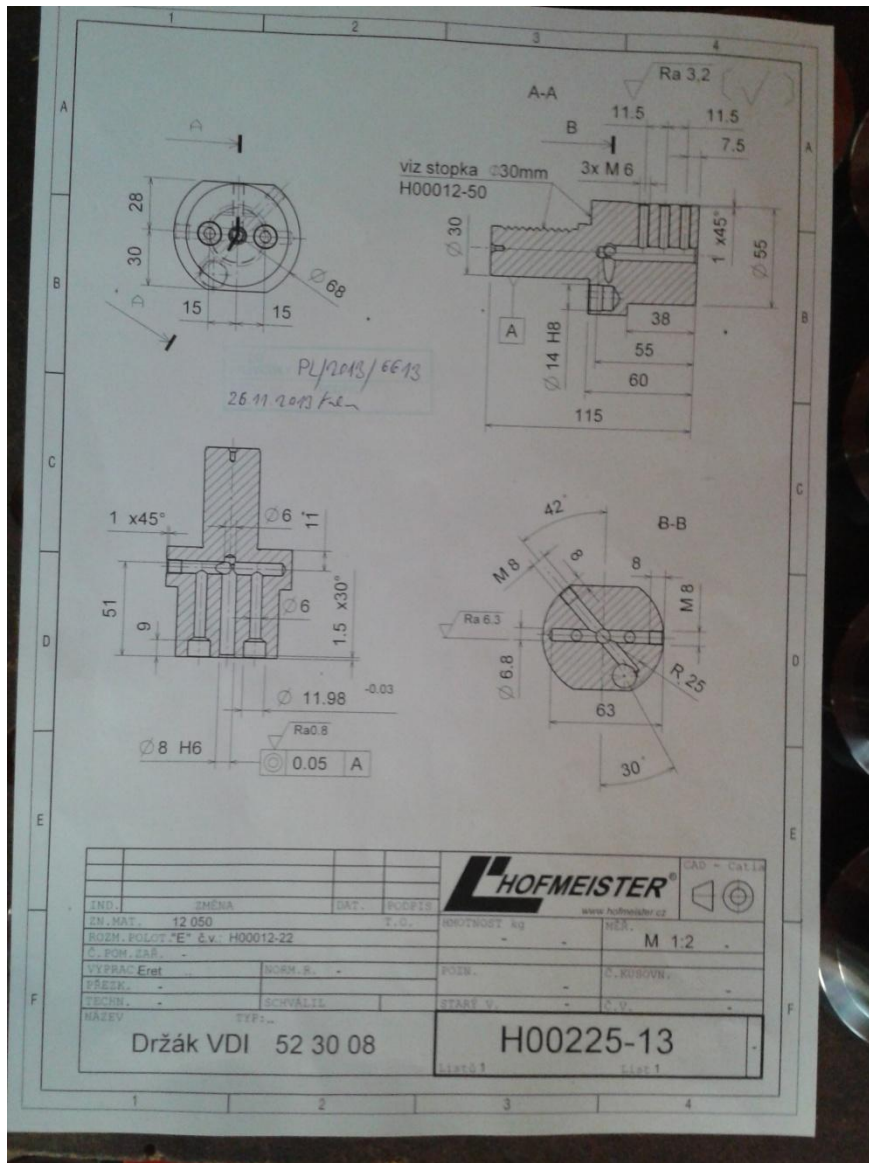
5. Vystružování

- Stružení na průměr 8H6 do hloubky 51 mm
- Nástroj: monolitní výstružník, 6 zubů, vnitřní chlazení, materiál SK, povlak DARWIN
- Výstružník upnut v hydroupínači SCHUNK
- Chlazení emulze Cimstar 620 – 14%, tlak 30bar

Řezné podmínky:

$v_c = 80$ m/min
 $v_f = 1280$ mm/min
 $n = 3200$ ot/min
 $f = 0,4$ mm/ot

Výkres součásti:



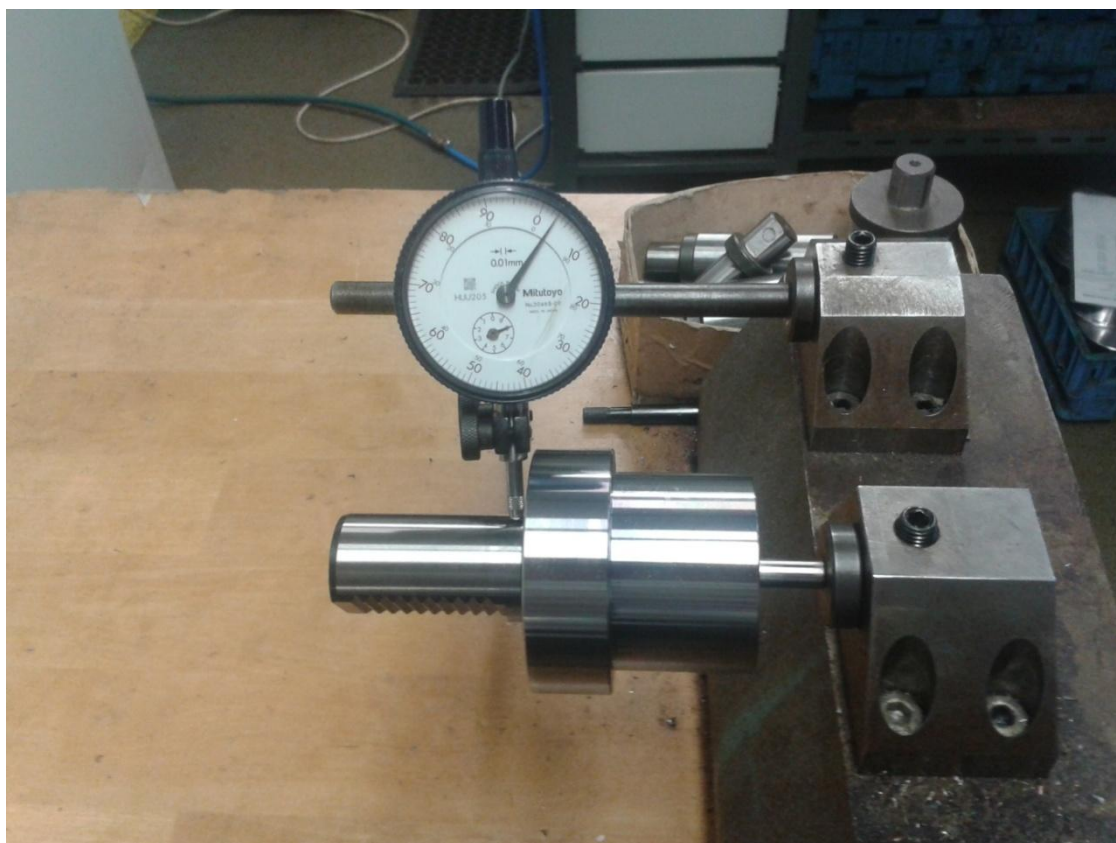
Popis měření:

Měření proběhlo dne 12. 12. 2013 ve firmě HOFMEISTER, s.r.o. Cílem bylo otestovat vystružník vyráběný ve výše zmíněné firmě.

Součást, do které byla vystružována díra o průměru 8H6 je VDI držák 533008. Ve výrobní dávce bylo 100ks. Obrobek byl upnut do prismatického přípravku po dvou kusech, viz obr. 1. Hotová součást je kontrolována u stroje pomocí válečkového kalibru (průměr 8H6). Dále je kontrolována házivost, která by neměla přesáhnout 0,05 mm. Na obr. 2 je znázorněn postup kontroly házivosti pomocí speciálního přípravku. U vybraných součástí je také měřena drsnost povrchu vystružené díry.



Obr. 1 Upnutí obrobku

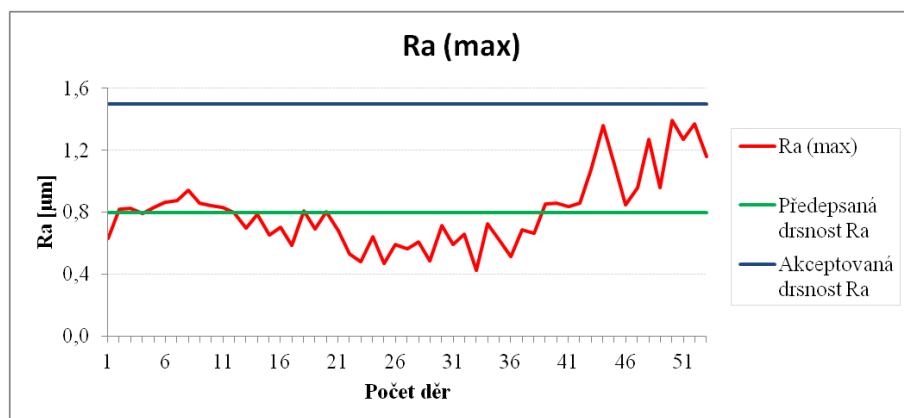
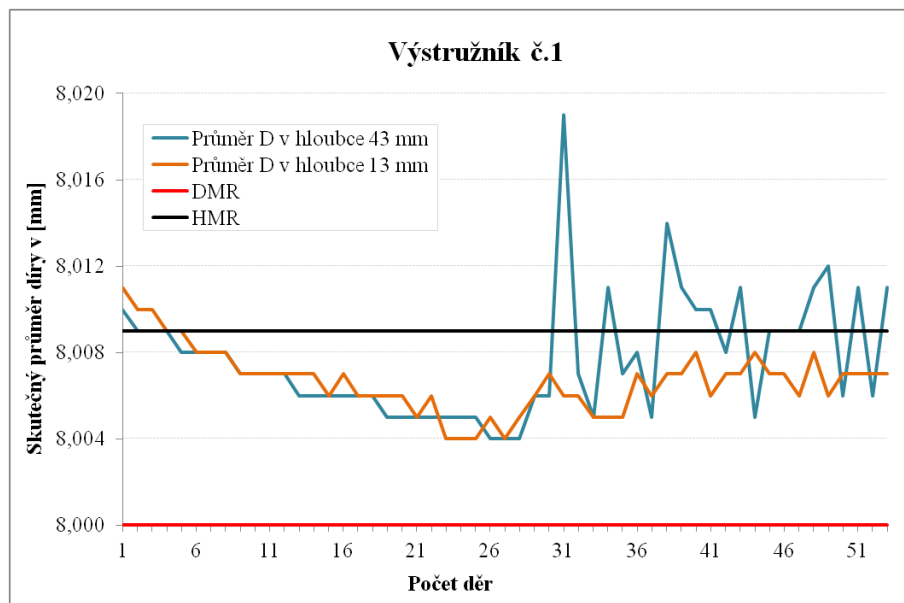


Obr. 2 Kontrola házivosti

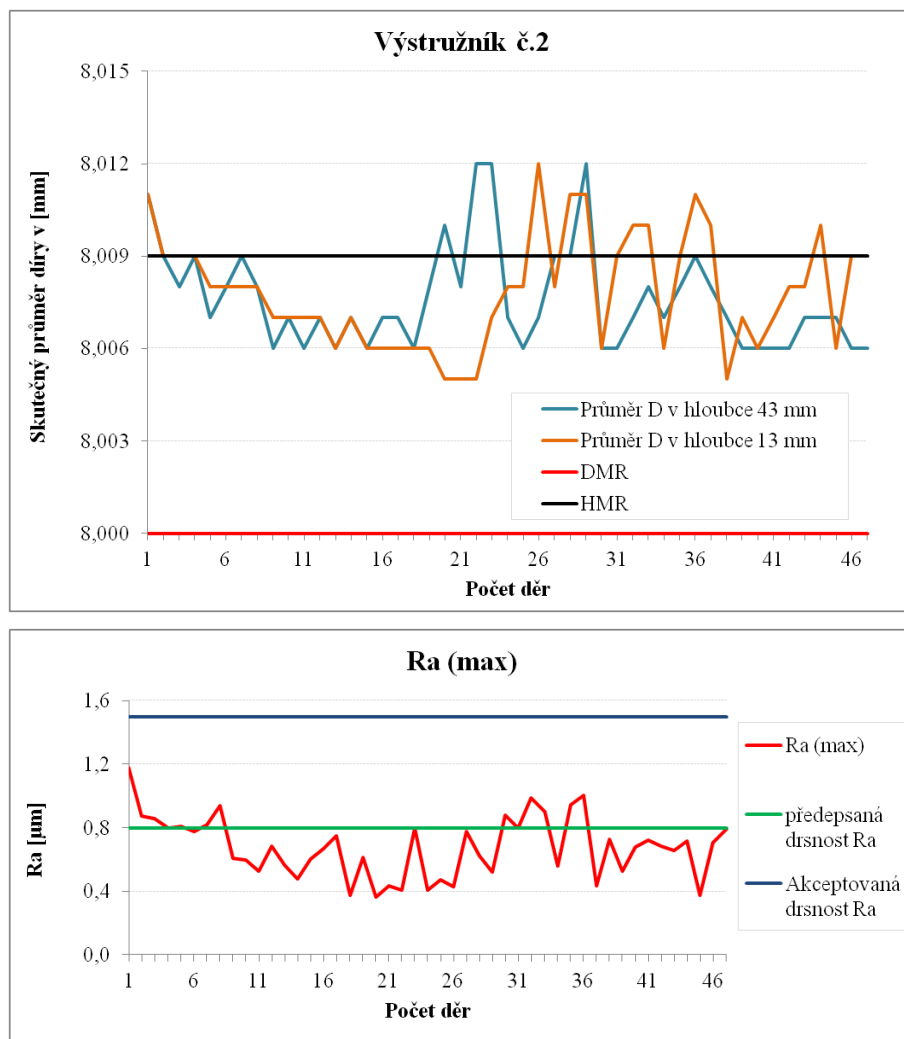
Úkolem bylo proměřit, na každém vyráběném kusu, průměr a drsnost obrobeného povrchu. Průměr byl měřen pomocí vzduchového měřicího přístroje Mahr – Millipneu a drsnost obrobeného povrchu pomocí drsnoměru Mahr – Marsurf M300. Měření skutečného průměru vystružené díry probíhalo tak, že se průměr měřil ve dvou hloubkách, a to ve vzdálenosti 13mm a 43 mm od vstupu do vystružené díry. V dané měřené hloubce byl měřicí trn pootočen o 90°, tzn., byly naměřeny 4hodnoty. Z těchto čtyř hodnot byla do měřicího protokolu zaznamenána pouze nejnižší a nejvyšší naměřená hodnota. Nejnižší a nejvyšší naměřené hodnoty vystružené díry nesměli přesáhnout DMR a HMR průměru 8H6, kde DMR je 0 mm a HMR je 0,009 mm). Měřenými parametry, popisujícími drsnost obrobeného povrchu, byly Ra a Rz. Dle výkresové dokumentace drsnost obrobeného povrchu Ra nesměla přesáhnout hodnotu 0,8 μ m. Po domluvě s mistrem byla tato hodnota navýšena na 1,5 μ m.

Na jednu dávku, tedy 100 kusů byl použit 1 vrták o průměru 7,8 mm, vrták o průměru 6 mm a 2 výstružníky o průměru 8H6. Druhý výstružník se nasazoval po 53 kusech, protože první výstružník už nesplňoval požadavky na drsnost obrobeného povrchu, řezné podmínky byly zachovány.

Výstružník č. 1



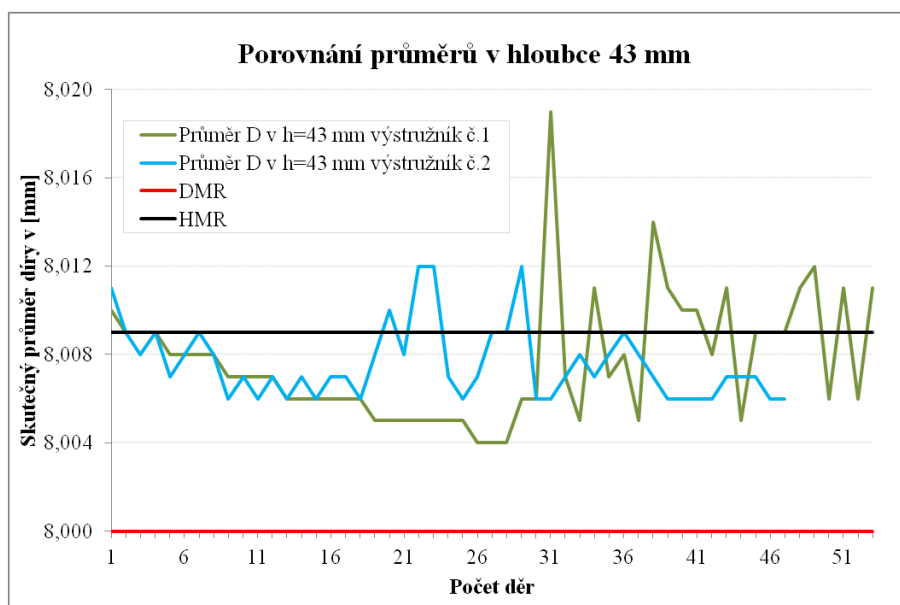
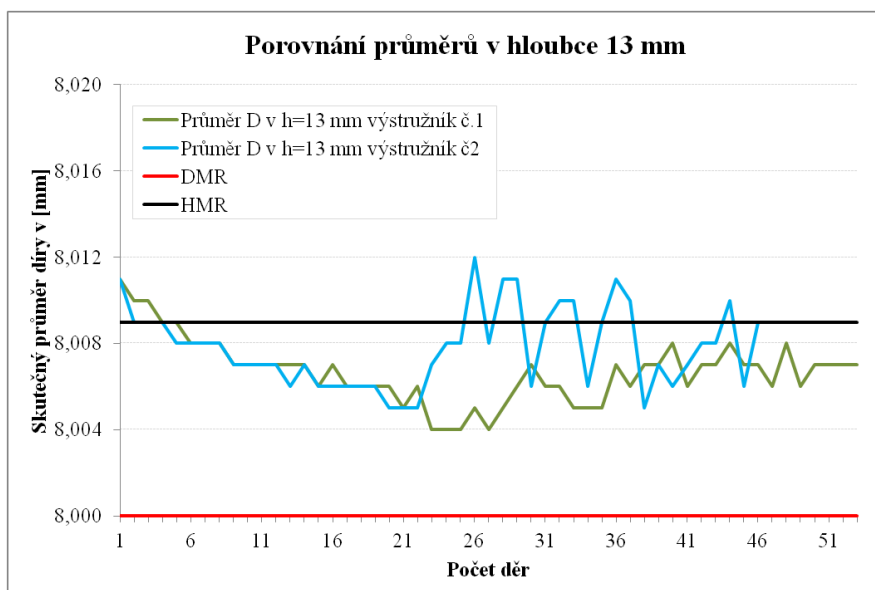
Výstružník č. 2



Porovnání výstružníku č. 1 a č. 2

V prvním grafu jsou porovnány naměřené hodnoty průměrů v hloubce 13 mm. Je patrné, že na měřené rozměry se přibližují k HMR a v určitých případech tuto hranici přesáhnou. U výstružníku č. 1 jsou problematické první 3 hodnoty, jež se nevešly do tolerance, ostatní rozměry jsou v toleranci, ale spíše se přibližují k horní hranici tolerance. Výstružník č. 2 měl poněkud horší výsledky, zde se nevešlo 9 naměřených rozměrů do tolerančního pole díry 8H6. Výstružník č. 1 měl v měřené hloubce 13 mm o poznání lepší výsledek.

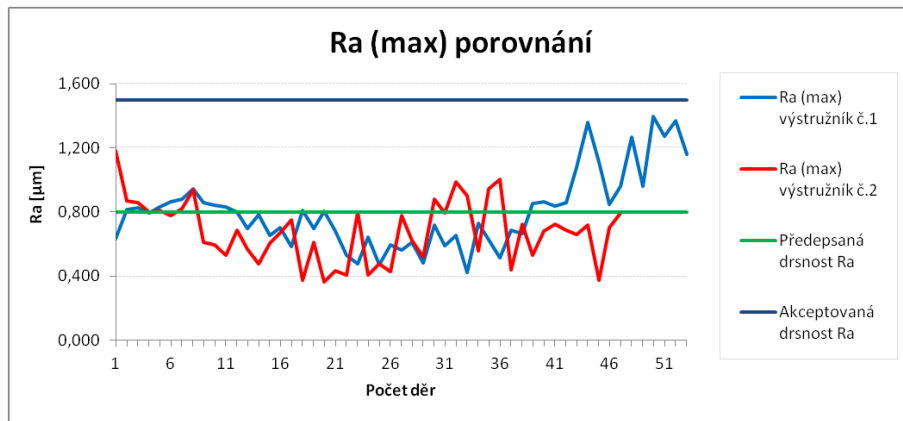
Ve druhém grafu je naznačeno srovnání výstružníků č. 1 a č. 2 v měřené hloubce 43 mm. U obou výstružníků neodpovídá první naměřená hodnota tolerančnímu poli díry 8H6. Dále u výstružníku č. 1 začalo docházet k určitým anomáliím, kde největší z nich byla díra s číslem 31, ta byla následně proměřena na tří-souřadnicovém měřicím stroji a tato anomálie vyšla jako negativní. Stejně tak jako v hloubce 13 mm se i zde hodnoty přibližují spíše k HMR tolerančního pole. Nástroj č. 1 měl počet chybných náměrů 12 a nástroj č. 2 měl počet chybných hodnot 5. Z tohoto hlediska se jeví výstružník č. 2 jako lepší.



Všechny vyrobené díry oběma výstružníky byly zkontrolovány pomocí válečkového kalibru a vpuštěny k další výrobě.

Ve třetím grafu je znázorněno porovnání drsnosti Ra. Díry vyrobené výstružníkem č. 1 měly dobrý průběh drsnosti Ra, avšak od 43 kusu se začala drsnost prudce zhoršovat, proto byl nasazen po 53 kuse výstružník č. 2. Díry vytvořené druhým nástrojem měly podobný průběh drsnosti Ra, ale tento průběh se více přibližoval mezní hranici Ra = 0,8 [μm]. Z tohoto důvodu je výstružník č. 2 lepší.

Všechny hodnoty naměřených drsností se však vešly do povolené tolerance Ra = 1,5 [μm] a tudíž byly všechny tyto součásti i z tohoto hlediska přípustěné k další výrobě.



Závěr:

Nelze jednoznačně říci, který ze dvou výstružníků byl při testu lepší. Každý z výstružníků vyrobil jiný počet děr (nástroj č. 1 53 kusů, nástroj č. 2 47 kusů). Po 100 vyrobených kusech byla ukončena výroba, takže se nemůže s jistotou říci kolik dalších kusů a jaké by měl výsledky výstružník č. 2.

Výstružník č. 1 byl lepší v měřené hloubce 13 mm, zatímco výstružník č. 2 byl lepší v měřené hloubce 43 mm

Při měření drsnosti byl lepší výstružník č. 2

Naměřené hodnoty:

Nástroj: Výtruž.ž.1		Ø Díry [mm]: 8		Tolerance: H6		Datum testu: 12.12.2013		
Číslo díry	ØD mín v hloubce 43 mm	ØD max v hloubce 43 mm	Aritmetický ØD v hloubce 43 mm	ØD mín v hloubce 13 mm	ØD max v hloubce 13 mm	Aritmetický ØD v hloubce 13 mm	Ra (max) [µm]	Rz (max) [µm]
1	8,0094	8,0103	8,01	8,0105	8,0107	8,011	0,631	4,56
2	8,0092	8,0094	8,009	8,0098	8,0103	8,01	0,817	4,71
3	8,0088	8,0092	8,009	8,0095	8,0096	8,01	0,824	4,78
4	8,0087	8,0093	8,009	8,0092	8,0094	8,009	0,791	5,52
5	8,0082	8,0086	8,008	8,0083	8,0089	8,009	0,83	4,59
6	8,0075	8,0082	8,008	8,0082	8,0086	8,008	0,866	4,75
7	8,0074	8,0079	8,008	8,0077	8,0082	8,008	0,878	4,97
8	8,0075	8,0079	8,008	8,0076	8,0081	8,008	0,943	5,68
9	8,0069	8,0073	8,007	8,007	8,0075	8,007	0,857	4,18
10	8,0068	8,0073	8,007	8,007	8,0073	8,007	0,843	4,6
11	8,0063	8,0072	8,007	8,0066	8,007	8,007	0,831	4,62
12	8,0068	8,0073	8,007	8,0065	8,0069	8,007	0,798	4,46
13	8,0059	8,0066	8,006	8,0064	8,0066	8,007	0,699	3,87
14	8,0058	8,0065	8,006	8,0064	8,0067	8,007	0,784	4,85
15	8,0056	8,006	8,006	8,0061	8,0063	8,006	0,651	5,21
16	8,006	8,0061	8,006	8,0065	8,0067	8,007	0,703	4,13
17	8,0056	8,0058	8,006	8,006	8,0063	8,006	0,583	3,22
18	8,006	8,0064	8,006	8,0062	8,0064	8,006	0,808	4,48
19	8,0052	8,0056	8,005	8,0058	8,0059	8,006	0,694	5,77
20	8,0052	8,0055	8,005	8,0055	8,006	8,006	0,802	4,476
21	8,0047	8,005	8,005	8,0048	8,0052	8,005	0,679	3,893
22	8,0049	8,0049	8,005	8,0054	8,0056	8,006	0,528	2,832
23	8,0043	8,005	8,005	8,0043	8,0046	8,004	0,478	3,358
24	8,0043	8,0048	8,005	8,0044	8,0045	8,004	0,644	4,089
25	8,0045	8,0046	8,005	8,0041	8,0042	8,004	0,469	3,302
26	8,004	8,0046	8,004	8,0044	8,0046	8,005	0,593	3,568
27	8,004	8,0045	8,004	8,0043	8,0046	8,004	0,563	3,893
28	8,0041	8,0046	8,004	8,0048	8,0048	8,005	0,608	3,851
29	8,0058	8,006	8,006	8,0058	8,0062	8,006	0,484	3,672
30	8,0062	8,0065	8,006	8,0063	8,007	8,007	0,716	5,443
31	8,0049	8,033	8,019	8,0052	8,006	8,006	0,591	4,353
32	8,0054	8,008	8,007	8,0055	8,0058	8,006	0,656	4,147
33	8,0048	8,0054	8,005	8,0048	8,0051	8,005	0,424	4,29
34	8,006	8,0152	8,011	8,0052	8,0053	8,005	0,727	5,687
35	8,0054	8,0081	8,007	8,0052	8,0056	8,005	0,627	5,125
36	8,0082	8,0085	8,008	8,0067	8,007	8,007	0,512	4,611
37	8,0048	8,0057	8,005	8,0058	8,0062	8,006	0,684	4,946
38	8,008	8,0198	8,014	8,0066	8,007	8,007	0,663	5,371
39	8,0044	8,0168	8,011	8,0068	8,0074	8,007	0,853	5,563
40	8,0095	8,0099	8,01	8,0073	8,0078	8,008	0,861	5,12
41	8,0081	8,0112	8,01	8,0063	8,0065	8,006	0,839	5,606
42	8,0072	8,0082	8,008	8,0068	8,0072	8,007	0,859	5,083
43	8,0085	8,0126	8,011	8,0066	8,0072	8,007	1,078	6,024
44	8,0045	8,0052	8,005	8,0075	8,0081	8,008	1,36	8,705
45	8,0072	8,0101	8,009	8,007	8,0074	8,007	1,112	7,301
46	8,008	8,0102	8,009	8,0065	8,007	8,007	0,846	5,969
47	8,009	8,009	8,009	8,0062	8,0065	8,006	0,96	5,593
48	8,0106	8,0116	8,011	8,0072	8,0079	8,008	1,268	6,593
49	8,0115	8,0126	8,012	8,0063	8,0066	8,006	0,958	4,961
50	8,0058	8,0067	8,006	8,007	8,0076	8,007	1,395	7,296
51	8,0092	8,0126	8,011	8,0062	8,007	8,007	1,273	7,543
52	8,0054	8,0072	8,006	8,0069	8,0075	8,007	1,372	8,787
53	8,0099	8,0113	8,011	8,0065	8,007	8,007	1,157	6,249

Nástroj: VÝSTRUŽ. Č.2		Ø Díry[mm]: 8		Tolerance: H6				
Datum testu: 12.12.2013								
Číslo díry	ØD min v hloubce 43 mm	ØD max v hloubce 43 mm	Aritmetický ØD v hloubce 43 mm	ØD min v hloubce 13 mm	ØD max v hloubce 13 mm	Aritmetický ØD v hloubce 13 mm	Ra (max) [µm]	Rz (max) [µm]
1	8,0092	8,0121	8,011	8,0108	8,0112	8,011	1,18	7,388
2	8,0087	8,0091	8,009	8,0089	8,0093	8,009	0,871	5,405
3	8,0083	8,0086	8,008	8,0085	8,009	8,009	0,858	5,65
4	8,0083	8,0088	8,009	8,0088	8,0092	8,009	0,797	5,305
5	8,0072	8,0072	8,007	8,008	8,0088	8,008	0,811	4,583
6	8,0073	8,0082	8,008	8,0078	8,0082	8,008	0,776	5,009
7	8,0063	8,0108	8,009	8,0075	8,0082	8,008	0,821	5,01
8	8,0071	8,008	8,008	8,0076	8,008	8,008	0,941	5,487
9	8,0058	8,0062	8,006	8,0072	8,0075	8,007	0,609	4,53
10	8,0068	8,0072	8,007	8,0067	8,0071	8,007	0,597	3,848
11	8,0056	8,0065	8,006	8,0064	8,0068	8,007	0,529	3,975
12	8,0058	8,0073	8,007	8,0065	8,007	8,007	0,685	4,39
13	8,0052	8,0058	8,006	8,0062	8,0066	8,006	0,567	5,141
14	8,0072	8,0076	8,007	8,0065	8,0066	8,007	0,478	3,663
15	8,0055	8,006	8,006	8,006	8,0064	8,006	0,603	4,479
16	8,0068	8,0072	8,007	8,0061	8,0065	8,006	0,668	5,105
17	8,0056	8,0084	8,007	8,0058	8,0062	8,006	0,748	5,977
18	8,0056	8,0071	8,006	8,0056	8,0058	8,006	0,375	3,502
19	8,007	8,009	8,008	8,0054	8,0056	8,006	0,611	4,564
20	8,0092	8,01	8,01	8,0053	8,0055	8,005	0,362	3,212
21	8,0082	8,0086	8,008	8,0053	8,0056	8,005	0,434	3,721
22	8,0116	8,012	8,012	8,0052	8,0055	8,005	0,406	3,588
23	8,0118	8,012	8,012	8,007	8,0075	8,007	0,797	5,227
24	8,0065	8,0069	8,007	8,0075	8,009	8,008	0,407	3,58
25	8,0048	8,0065	8,006	8,0073	8,0082	8,008	0,474	4,052
26	8,0065	8,0083	8,007	8,011	8,0123	8,012	0,426	3,313
27	8,0079	8,0109	8,009	8,0083	8,0086	8,008	0,778	4,704
28	8,0089	8,0094	8,009	8,0098	8,0112	8,011	0,623	4,205
29	8,0118	8,0124	8,012	8,0107	8,0115	8,011	0,521	4,17
30	8,0057	8,0072	8,006	8,0056	8,0065	8,006	0,88	5,969
31	8,0052	8,0067	8,006	8,0087	8,0092	8,009	0,796	5,329
32	8,0069	8,0077	8,007	8,0099	8,011	8,01	0,988	5,891
33	8,0079	8,0089	8,008	8,0097	8,0102	8,01	0,903	5,387
34	8,0066	8,0078	8,007	8,0058	8,007	8,006	0,559	4,586
35	8,0075	8,0083	8,008	8,0083	8,01	8,009	0,943	5,454
36	8,0083	8,0095	8,009	8,0105	8,0115	8,011	1,006	5,772
37	8,0072	8,0081	8,008	8,0095	8,0103	8,01	0,436	3,654
38	8,0052	8,008	8,007	8,005	8,0053	8,005	0,726	4,964
39	8,0054	8,0064	8,006	8,0068	8,0073	8,007	0,528	4,443
40	8,0058	8,0069	8,006	8,0055	8,0058	8,006	0,681	4,901
41	8,0056	8,0068	8,006	8,0063	8,0069	8,007	0,721	4,962
42	8,0052	8,0072	8,006	8,0077	8,0088	8,008	0,686	4,833
43	8,0054	8,0076	8,007	8,0074	8,0083	8,008	0,657	4,252
44	8,0063	8,008	8,007	8,0086	8,011	8,01	0,717	5,161
45	8,0058	8,0073	8,007	8,0054	8,0063	8,006	0,372	3,577
46	8,0053	8,0062	8,006	8,0084	8,0096	8,009	0,704	5,75
47	8,0049	8,0072	8,006	8,0083	8,01	8,009	0,792	5,115

Příloha č. 10: Naměřené hodnoty

Naměřené hodnoty původní technologie od firmy Hofmeister:

Číslo díry	ØD min v hloubce 40 mm	ØD max v hloubce 40 mm	Aritmetický ØD v hloubce 40 mm	ØD min v hloubce 4,5 mm	ØD max v hloubce 4,5 mm	Aritmetický ØD v hloubce 4,5 mm	Ra (max) [µm]	Rz (max) [µm]
1	8,0078	8,0084	8,008	8,0088	8,0096	8,009	0,853	4,363
5	8,0082	8,0086	8,008	8,0082	8,0086	8,008	0,78	3,974
10	8,0080	8,0083	8,008	8,0077	8,0082	8,008	1,023	4,938
15	8,0076	8,0082	8,008	8,0075	8,0083	8,008	0,994	4,818
20	8,0076	8,0078	8,008	8,0086	8,0082	8,008	1,113	5,546
25	8,0078	8,0083	8,008	8,0082	8,0089	8,009	1,052	4,992
30	8,0077	8,0083	8,008	8,0092	8,0098	8,010	1,247	6,361
35	8,0089	8,0095	8,009	8,0083	8,0089	8,009	1,266	6,433
40	8,0088	8,0102	8,010	8,0092	8,0102	8,010	1,949	11,77
45	8,0081	8,0088	8,008	8,0085	8,0088	8,009	1,624	7,931
50	8,0098	8,0103	8,010	8,0077	8,0083	8,008	1,421	7,099
55	8,0086	8,0093	8,009	8,0086	8,0093	8,009	1,728	9,691
60	8,0078	8,0083	8,008	8,0098	8,0102	8,010	1,689	9,182
65	8,0084	8,0091	8,009	8,0088	8,0101	8,009	1,827	9,663
66	8,0090	8,0098	8,009	8,0097	8,0102	8,010	1,631	8,188

Válcovitost

Číslo díry	Naměřená válcovitost [µm]
1	13
10	11
20	12
30	8
40	11
50	11
60	11
66	11

Opotřebení

číslo díry	ujeté metry	KB [µm]	VB- hlavní [µm]	VB - vedlejší [µm]
19	1,159	0	92	0
39	2,379	0	124	78
66	4,026	189	143	93

Naměřené hodnoty nové technologie:

Číslo díry	ØD min v hloubce 40 mm	ØD max v hloubce 40 mm	Aritmetický ØD v hloubce 40 mm	ØD min v hloubce 4,5 mm	ØD max v hloubce 4,5 mm	Aritmetický ØD v hloubce 4,5 mm	Ra (max) [µm]	Rz (max) [µm]
1	8,0099	8,0103	8,010	8,0102	8,0107	8,010	0,535	2,883
5	8,0098	8,0102	8,010	8,0091	8,0098	8,009	0,415	2,631
10	8,0087	8,0091	8,009	8,0087	8,0091	8,009	0,237	1,808
15	8,0086	8,0091	8,009	8,0085	8,0093	8,009	0,264	2,391
20	8,0074	8,0088	8,008	8,0083	8,0085	8,008	0,148	1,285
25	8,0085	8,0089	8,009	8,0080	8,0087	8,008	0,207	1,659
30	8,0088	8,0092	8,009	8,0078	8,0083	8,008	0,232	1,655
35	8,0085	8,0091	8,009	8,0080	8,0086	8,008	0,252	1,785
38	8,0088	8,0094	8,009	8,0078	8,0086	8,008	0,248	1,886

Válcovitost

Číslo díry	Naměřená válcovitost [µm]
1	12
10	10
20	9
30	7
38	10

Opotřebení

Číslo díry	KB [µm]	VB- hlavní [µm]	VB - vedlejší [µm]
20	162	0	0
40	176	0	0

Naměřené hodnoty technologie s vyměněným výstružníkem:

Číslo díry	ØD min v hloubce 40 mm	ØD max v hloubce 40 mm	Aritmetický ØD v hloubce 40 mm	ØD min v hloubce 4,5 mm	ØD max v hloubce 4,5 mm	Aritmetický ØD v hloubce 4,5 mm	Ra (max) [µm]	Rz (max) [µm]
1	8,0083	8,0087	8,009	8,0075	8,0081	8,008	0,307	1,856
5	8,0079	8,0084	8,008	8,0069	8,0077	8,007	0,268	1,830
10	8,0064	8,0087	8,008	8,0081	8,0103	8,009	0,431	2,103
15	8,0081	8,0089	8,009	8,0073	8,0078	8,008	0,263	1,737
20	8,0083	8,0086	8,008	8,0075	8,0079	8,008	0,198	1,521
25	8,0080	8,0084	8,008	8,0072	8,0077	8,007	0,187	1,711
30	8,0088	8,0084	8,009	8,0072	8,0076	8,007	0,204	1,703
35	8,0078	8,0083	8,008	8,0070	8,0075	8,007	0,125	1,279
40	8,0086	8,0090	8,009	8,0073	8,0080	8,008	0,173	1,115
45	8,0080	8,0086	8,008	8,0074	8,0080	8,008	0,169	1,534
50	8,0075	8,0081	8,008	8,0069	8,0079	8,007	0,110	1,169
55	8,0083	8,0087	8,009	8,0071	8,0080	8,008	0,102	1,095
60	8,0072	8,0078	8,008	8,0068	8,0080	8,007	0,105	1,189
65	8,0073	8,0078	8,008	8,0066	8,0073	8,007	0,115	1,641
70	8,0071	8,0079	8,008	8,0062	8,0073	8,007	0,091	1,255
75	8,0072	8,0078	8,008	8,0060	8,0068	8,006	0,101	0,929
80	8,0071	8,0074	8,007	8,0063	8,0071	8,007	0,097	1,167

Válcovitost

Číslo díry	Naměřená válcovitost [µm]
1	21
10	29
20	7
30	18
40	16
50	13
60	29
70	13
80	13

opotřebení

Číslo díry	KB [µm]	VB- hlavní [µm]	VB - vedlejší [µm]
20	0	0	0
40	0	0	0
60	0	0	0
80	0	36	0
100	0	42	0
118	0	60	0