

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie – technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zefektivnění vystružování díry 8D v IT H6.

Autor: **Jarmila HALABURDOVÁ**

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

Akademický rok 2005/2006

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 vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Halaburdová	Jméno Jarmila	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 Strojírenská technologie – technologie obrábění		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Řehoř, Ph.D	Jméno Jan	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Zefektivnění vystružování díry 8D v IT H6		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	81	TEXTOVÁ ČÁST	53	GRAFICKÁ ČÁST	15
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Teoretická část práce popisuje materiály použitelné pro výrobu výstružníků. Praktická část se věnuje aplikaci cermetových výstružníků ve srovnání s SK výstružníky při výrobě díry 8D v IT H6 na VDI držáku a použití seřizovací RC hlavice pro upnutí výstružníku.
KLÍČOVÁ SLOVA	Vystružování, výstružník, řezný materiál, cermet, RC seřizovací hlavice, VDI držák

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Halaburdová	Name Jarmila	
FIELD OF STUDY	N2301 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	Improvement of reaming efficiency of a 8D hole it IT6		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Cutting technology	SUBMITTED IN	2016
----------------	---------------------------	-------------------	-----------------------	-------------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	81	TEXT PART	53	GRAPHICAL PART	15
----------------	----	------------------	----	---------------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Theoretical part of this diploma thesis describes suitable materials for reamers. Practical part deals with application of cermet reamer. It compares cermet reamer and reamer made of cemented carbide for manufacturing a hole 8D in IT H6 in VDI holder. There is described RC head for clamping reamers.
KEY WORDS	Reaming, reamer, cutting material, cermet, RC adjusting head, VDI holder

Obsah

1	ÚVOD DO PROBLEMATIKY	12
1.1	Cermet	12
1.2	Slinuté karbidy	14
1.3	Rychlořezná ocel	14
1.4	Srovnání vlastností cermetů, SK a HSS	16
1.5	Příklady aplikace cermetových výstružníků	18
2	ROZBOR A HODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ V DP Ing. MARTINA ŠMEJKALA [4]	22
2.1	Stav výroby díry 8H6 ve firmě před testováním Ing. Martina Šmejkal	22
2.2	Testované technologické postupy	23
2.3	Naměřené hodnoty průměrů, válcovitosti a drsnosti	26
2.4	Hodnocení opotřebení nástrojů	28
3	NÁVRH NOVÉHO ŘEŠENÍ ZA ÚČELEM ZVÝŠENÍ PRODUKTIVITY A SPOLEHLIVOSTI	30
3.1	Návrh řešení špatné válcovitosti	30
3.2	Návrh řešení usmýknuté hlavičky cermetového výstružníku	31
3.3	Srovnání podmínek experimentu s podmínkami v Hofmeister	32
4	NÁVRH A REALIZACE EXPERIMENTÁLNÍHO STUDIA, VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ	33
4.1	Charakteristika experimentálních zařízení	34
4.1.1	Obráběcí stroj	34
4.1.2	Mikroskop Multicheck PC 500	34
4.1.3	3D souřadnicový měřicí stroj ZEISS Prismo navigator	35
4.1.4	Drsnoměr Hommel Etamic T8000	36
4.1.5	Vzduchový měřicí přístroj Mahr – Millipneu s 1840	37
4.2	Zkušební placka a materiál	38
4.3	Použité nástroje a upínače	40
4.4	Seřizování výstružníku v RC hlavici	41
4.5	Naměřené výsledky a vyhodnocení	42
4.5.1	Vyhodnocení vrtaných děr	42
4.5.2	Vyhodnocení vystružených děr	44
4.5.3	Zpřesnění vystružených děr	49
4.5.4	Opotřebení výstružníků	51
4.5.5	Srovnání výsledků s výsledky DP Ing. Martina Šmejkal	53

4.5.6	Zhodnocení třísek po vystružování.....	55
4.5.7	Matematicko–statistická analýza výsledků.....	56
5	REÁLNÝ EXPERIMENT VE FIRMĚ HORMEISTER s.r.o.....	58
5.1	Preexperiment v halové laboratoři.....	58
5.2	Experiment ve firmě Hofmeister	59
5.3	Výsledky experimentu	60
6	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	63
7	ZÁVĚR.....	64
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	65
	PŘÍLOHY	67

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Postup při výrobě díry. [5]	12
Obrázek 2 – Vliv jednotlivých složek na vlastnosti cermetu. [3]	13
Obrázek 3 – Srovnání struktury SK a cermetu. [6]	13
Obrázek 4 – Vlastnosti SK v závislosti na složení. [2]	14
Obrázek 5 – Vliv teploty na tvrdost řezných materiálů. [3]	15
Obrázek 6 – Tvrdost materiálů v závislosti na teplotě. [7].....	16
Obrázek 7 – Relativní tvrdost materiálů jako funkce teploty. [7].....	16
Obrázek 8 – Vyjádření Taylorova vztahu pro obrábění nízkolegované oceli. [7].....	17
Obrázek 9 – Rozsah pevnosti v tahu a tvrdosti dle vickerse. [7]	17
Obrázek 10 – Materiálová charakteristika tepelnou vodivostí a odolností proti teplotním šokům. [7]	18
Obrázek 11 – Sestava výstružníku VRV od firmy HAM-FINAL. [5].....	19
Obrázek 12 – Cermetový výstružník použitý při vystružování oceli dle ČSN 16 231. [12]....	20
Obrázek 13 – Cermetový výstružník HCS od August Beck. [13]	20
Obrázek 14 – VDI držák. [4]	21
Obrázek 15 – Porovnání drsnosti Ra. [4].....	22
Obrázek 16 – Průměr díry v hloubce 4,5 mm. [4].....	26
Obrázek 17 – Průměr díry v hloubce 40 mm. [4].....	26
Obrázek 18 – Válcovitost. [4].....	27
Obrázek 19 – Drsnost Ra. [4].....	28
Obrázek 20 – Opotřebením na čele. [4].....	28
Obrázek 21 – Opotřebením na hlavním hřbetu. [4].....	29
Obrázek 22 – Opotřebením na vedlejším hřbetu. [4]	29
Obrázek 23 – Popis nástrojového systému HAM-FINAL RC. [15]	30
Obrázek 24 – Upravená pájená plocha cermetového výstružníku.	31
Obrázek 25 – Soustružnické centrum CTX Beta 1250 od DMG Mori. [18].....	34
Obrázek 26 – Mikroskop multichcek PC 500. [4]	34
Obrázek 27 – Výstružník na mikroskopu.	35
Obrázek 28 – 3D souřadnicový měřicí stroj ZEISS Prismo navigátor. [19]	35
Obrázek 29 – Senzor VAST gold.....	36
Obrázek 30 – Drsnoměr Hommel Etamic T8000. [22]	36
Obrázek 31 – Vzduchový měřicí přístroj Mahr – Millipneu.	37
Obrázek 32 – Rastr rozložení děr na obrobku.....	38
Obrázek 33 – Upnutí placky na soustruhu.....	39
Obrázek 34 – Struktura oceli po žihání na měkko. [20].....	40
Obrázek 35 – Šroubovitý vrták o \varnothing 7,8 upnutý v hydroupínači.	40
Obrázek 36 – Šroubovitý vrták o \varnothing 7,1 upnutý do kleštiny.	40
Obrázek 37 – Výstružník upnutý v RC seřizovací hlavici.	41
Obrázek 38 – Výstružník upnutý v hydroupínači.	41
Obrázek 39 – Multifunkční obráběcí stroj DMU 40 eVo linear. [21].....	41
Obrázek 40 – Seřizování výstružníku v RC hlavici.	42
Obrázek 41 – Průběh průměrů D v závislosti na počtu vyvrtaných děr.	43
Obrázek 42 – Průběh válcovitosti v závislosti na počtu vyvrtaných děr.	43
Obrázek 43 – Průběh drsnosti Ra v závislosti na počtu vyvrtaných děr.	44
Obrázek 44 – Průběh průměrů D vystružených děr v závislosti na vystružené dráze.	45
Obrázek 45 - Průběh průměrů D s vlivem tlaku a upínání.	45
Obrázek 46 – Průběh válcovitosti v závislosti na vystružené délce pro vybrané výstružníky. 46	
Obrázek 47 – Průběh válcovitosti v závislosti na vystružené délce pro vybrané výstružníky. 46	

Obrázek 48 – Průběh drsnosti Ra pro vybrané výstružníky.	47
Obrázek 49 – Průběh drsnosti Ra pro vybrané výstružníky.	48
Obrázek 50 – Průběh drsnosti Rz.	48
Obrázek 51 – Průběh kolmosti děr.	49
Obrázek 52 – Průběh koeficientu zpřesnění průměru díry.	50
Obrázek 53 – Průběh koeficientu zpřesnění válcovitosti.	50
Obrázek 54 – Průběh koeficientu zpřesnění drsnosti Ra.	51
Obrázek 55 – Průběh opotřebení výstružníků na čele KT _{max}	51
Obrázek 56 – Opotřebení na čele po 186 dírách a) cermetový výstr. b) SK výstr.	52
Obrázek 57 – Průběh opotřebení výstružníků na hlavním hřbetu VB _{max_{hl}}	52
Obrázek 58 – Opotřebení na hlavním hřbetu po 186 dírách a) cermetový výstr. b) SK výstr.	52
Obrázek 59 – Průběh opotřebení na vedlejším hřbetu VB _{max_{vedl}}	53
Obrázek 60 – Opotřebení na vedlejším hřbetu po 186 dírách a) cermetový výstr. b) SK výstr.	53
Obrázek 61 – Srovnání průměrů s DP p. Šmejkal.	54
Obrázek 62 – Srovnání válcovitostí s DP p. Šmejkal.	54
Obrázek 63 – Srovnání drsnosti Ra s DP p. Šmejkal.	55
Obrázek 64 – Druhy třísek vznikajících při a) SK výstružníku a 30 bar b) cermetovém výstružníku a 30 bar c) cermetovém výstružníku a 100 bar.	55
Obrázek 65 – Vlnité šroubovitě třísky zůstávající napěchované v díře.	56
Obrázek 66 – Upnutí obrobku na stroji DMU 40 eVo linear v tříčelist'ovém sklíčidle.	59
Obrázek 67 – Napěchované třísky.	59
Obrázek 68 – Upnutí obrobku ve firmě Hofmeister.	60
Obrázek 69 – Ukroucený cermetový výstružník.	61
Obrázek 70 – Průběh maximálních průměrů děr na vstupu a na konci.	61
Obrázek 71 – Vrták a výstružník v koncových polohách.	62

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Srovnání výhod a nevýhod cermetů oproti SK. [5]	13
Tabulka 2 – Složení rychlořezné oceli a její využití. [9].....	15
Tabulka 3 – Podmínky a výsledky experimentu při vystružování oceli dle ČSN 15 131. [11]19	
Tabulka 4 - Podmínky a výsledky experimentu při vystružování oceli dle ČSN 16 231. [12] 19	
Tabulka 5 – Stávající technologický postup firmy HOFMEISTER. [4].....	23
Tabulka 6 – Nový technologický postup firmy HAM-FINAL. [4].....	24
Tabulka 7 – Stávající technologický postup s jiným typem výstružníku. [4].....	25
Tabulka 8 – Návrh experimentálního studia.	33
Tabulka 9 – Složení oceli 12050. [20].....	39
Tabulka 10 – Mechanické vlastnosti oceli 12050.3 [20].....	39
Tabulka 11 – Postup změny proměnných během testování.	44
Tabulka 12 – Matematicko-statistická analýza průměrů D.	56
Tabulka 13 – Matematicko-statistická analýza drsnosti Ra.	57
Tabulka 14 – Matematicko-statistická analýza válcovitosti.	57
Tabulka 15 – Popis změn řezných podmínek.	58
Tabulka 16 – Výsledné naměřené hodnoty dvou děr.	58
Tabulka 17 – Podmínky reálného experimentu.	60
Tabulka 18 – Drsnost Ra třech měřených děr.	61

SEZNAM ROVNIC

Rovnice 1 – Koeficient zpřesnění.	49
Rovnice 2 – logaritmická funkce popisující průběh průměrů v závislosti na počtu děr.	56
Rovnice 3 – Funkce popisující průběh drsnosti pro SK výstružník.	63
Rovnice 4 – Náklady na výrobu 1 díry SK výstružníkem.	63
Rovnice 5 – Náklady na výrobu 1 díry cermetovým výstružníkem.	63

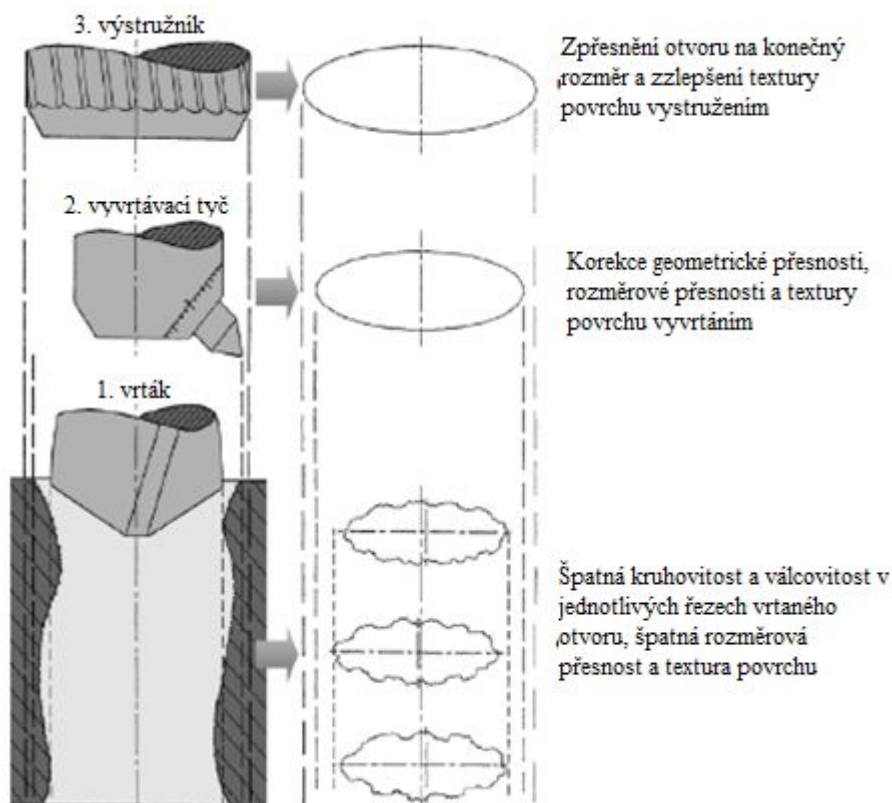
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Jednotka	Popis
A_5	%	Tažnost
D	mm	Průměr
E	GPa	Modul pružnosti v tahu
f	mm/ot	Posuv
F	N	Síla
h	mm	Hloubka
R_m	MPa	Mez pevnosti
$R_{p0.2}$	MPa	Mez kluzu
S	mm ²	Plocha
v_c	m/min	Řezná rychlost
v_f	mm/min	Posuvová rychlost
Z	%	Kontrakce
τ_{Dt}	MPa	Mez pevnosti ve smyku

Značka	Popis	Značka	Popis
12050.3	Druh oceli	PKNB	Polykrystalický kubický nitrid bóru
Al ₂ O ₃ , Si ₃ N ₄	Řezná keramika	Ra, Rz	Drsnost povrchu
c_x	Variační koeficient	RO (HSS)	Rychlořezná ocel (high speed steel)
ČSN	Česká státní norma	r_{xy}	Korelační koeficient
DMR	Dolní mezní rozměr	SK	Slinutý karbid
E2 52 40 08	Označení VDI držáku	s_x	Směrodatná odchylka
H6, H7	Toleranční pole	s_x^2	Rozptyl
HMR	Horní mezní rozměr	TiAlN, TiAlSiN	Druhy povlaků
HV	Drsnost dle Vickerse	TiC	Karbid titanu
IT	Stupeň přesnosti	TRS	Tensile rupture strength (pevnost v tahu)
KT	Opotřebení na čele	VB	Opotřebení na hřbetu
PKD	Polykrystalický diamant	WC	Karbid wolframu
P M K N S H	Skupiny slinutých karbidů	η	Koeficient zpřesnění

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

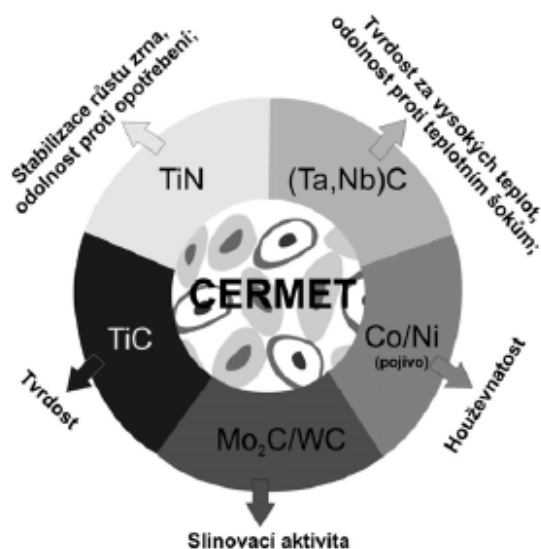
Vystružování je dokončovací operace při výrobě průchozích i neprůchozích děr, od které je očekávána vysoká přesnost a kvalita obrobeného povrchu. Operaci vystružování předchází vrtání a vyvrtávání a často je operací poslední při výrobě děr (viz Obrázek 1). Zlepšuje kvalitu a přesnost obráběné díry, ale neodstraňuje problémy jako je špatná souosost, přímost, kruhovitost a špatná poloha vůči základnám, které vznikly při předchozích operacích. Při vystružování je možno z řezných podmínek volit pouze řeznou rychlost (otáčky) a posuv. Touto operací se dosahuje IT 6 až 8 a drsnosti Ra 0,3 – 0,8. Pro dosažení těchto výsledků je přípustná hodnota opotřebení u výstružníků $VB = 0,10$ až $0,25$ mm. Pokud jsou na díru kladené takovéto nároky, je důležitá správná volba nástroje, jeho geometrie a materiálu. [1,5]



Obrázek 1 – Postup při výrobě díry. [5]

1.1 Cermet

V poslední době se pro výrobu výstružníků stále častěji využívá cermetů a to z několika důvodů. Nejdříve je ale nutné uvést, že cermetů existuje více druhů a rozdělují se podle struktury, mění se obsah jednotlivých základních složek obsažených v matrici. Tyto složky určují hlavní vlastnosti a využití cermetu při obrábění (viz Obrázek 2). Začátkem 70. let minulého století se do cermetů začal přidávat dusík a nitridy typu TiC – Ni – Mo, to způsobilo zjemnění mikrostruktury, především tvrdé fáze. Díky tomu bylo možné zvýšit řezné výkony cermetových výstružníků. Řezná rychlost současných cermetových výstružníků např. při vystružování oceli dle ČSN 12050.3 může být okolo 140 m/min oproti výstružníku ze SK, u kterého se rychlost při obrábění stejného materiálu pohybuje kolem 80 m/min. Z Obrázku 2 je vidět, že jako pojivo se u cermetů využívá kombinace Co a Ni, tyto prvky zajišťují určitou houževnatost materiálu, která je ovšem nižší než houževnatost HSS nebo SK. To způsobuje zároveň nižší pevnost v ohybu, proto jsou nástroje z cermetů určeny pro dokončovací operace, kde je menší průřez tríska a tedy i menší namáhání na ohyb. [3,4]



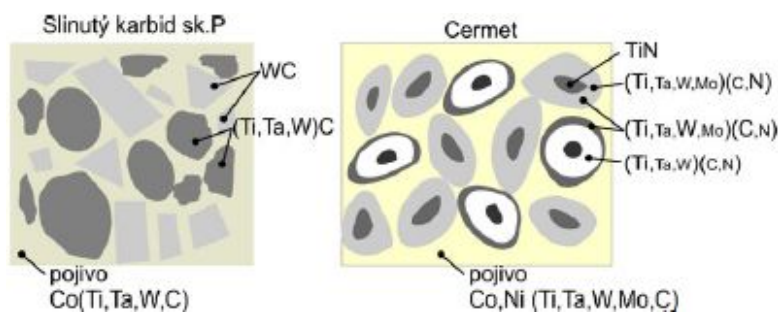
Obrázek 2 – Vliv jednotlivých složek na vlastnosti cermetu. [3]

Jejich nižší odolnost proti abrazi a nárazovým zatížením je předurčuje pro obrábění s nepřetržitým úběrem třísky. Naopak výhodami cermetů jsou dobrá termochemická stabilita, díky které jsou použitelné pro vyšší řezné podmínky v porovnání se SK a HSS a dále nízká adheze, která společně s tvrdou fází vytváří povrch s velmi nízkou drsností. Díky těmto vlastnostem jsou cermety vhodné pro vystružování. Srovnání výhod a nevýhod cermetů oproti SK nabízí Tabulka 1. [3,5]

VÝHODY	NEVÝHODY
Vlastnosti vztahované převážně na dokončovací a střední obrábění	Vlastnosti při náročnějších předhrubovacích a hrubovacích operacích
<ul style="list-style-type: none"> Nemění se stabilita břitu při malých, konstantních zatíženích Lepší a déletrvající schopnosti vytváření kvalitních povrchů Větší vhodnost při obrábění většími řeznými rychlostmi Větší odolnost proti opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetu břitu Vhodnější při obrábění přesných povrchů, při obrábění tažných a lepkavých materiálů se sklonem k tvorbě nárůstku 	<ul style="list-style-type: none"> Příliš malá pevnost břitu při středních a vyšších posuvech Příliš malá houževnatost při střídavém středním až těžkém zatížení břitu Příliš malá odolnost proti abrazivnímu opotřebení Příliš malá odolnost proti opotřebení na čele ve tvaru žlábků Příliš malá odolnost proti nárazovým zatížením

Tabulka 1 – Srovnání výhod a nevýhod cermetů oproti SK. [5]

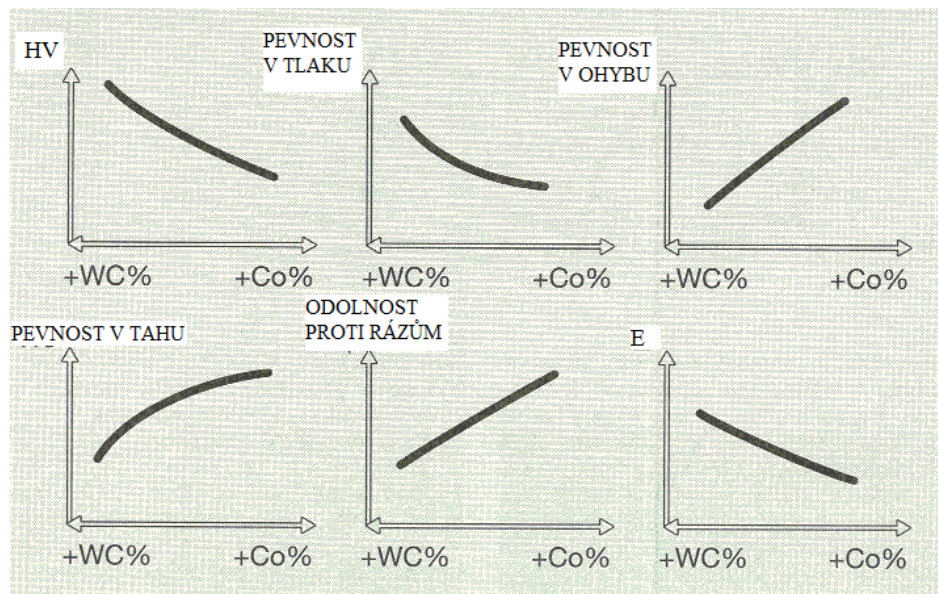
Slinuté karbidy se od cermetů liší především v jednodušší struktuře (viz Obrázek 3), pojivem je u SK převážně Co.



Obrázek 3 – Srovnání struktury SK a cermetu. [6]

1.2 Slinuté karbidy

Jak je vidět z předchozího obrázku, slinuté karbidy se skládají z karbidů wolframu, titanu, tantalu a niobu, jako pojivo se používá především kobalt. Částice karbidu jsou velké 1 až 10 μm a tvoří 80 až 95 % celkového objemu materiálu. Vlastnosti slinutých karbidů se velmi liší v závislosti na složení (viz Obrázek 4), proto se rozdělují do skupin dle obráběného materiálu a do stupňů. Pro obrábění oceli se používá skupina SK typu P. Stupně jsou značené čísly 01 až 50. Nízký stupeň značí tvrdost a odolnost proti abrazivnímu otěru a vysoký stupeň naopak houževnatost materiálu nástroje. [2,7]



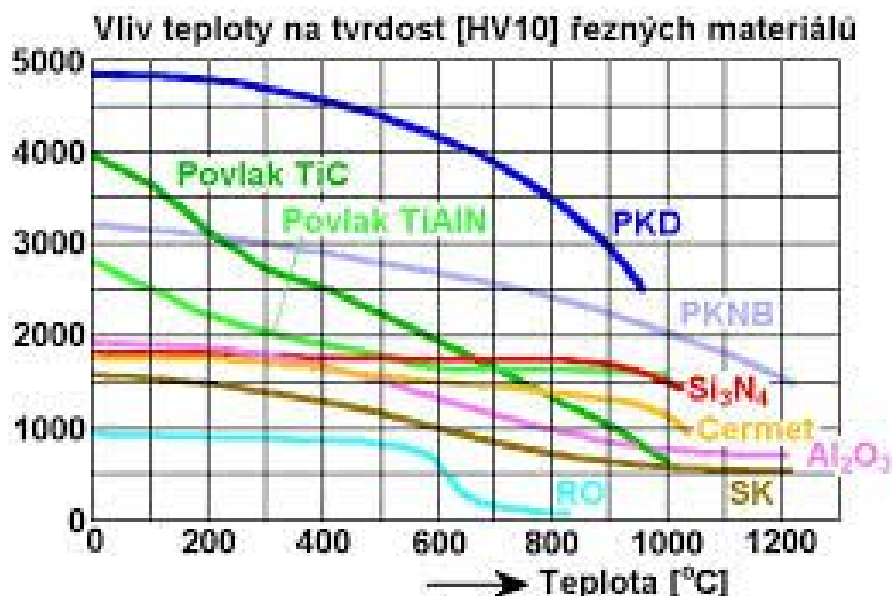
Obrázek 4 – Vlastnosti SK v závislosti na složení. [2]

Z obrázku výše lze usoudit, že pro vystružování jsou vhodné spíše slinuté karbidy s větším obsahem WC, protože je důležitá tuhost nástroje, tedy větší modul pružnosti E, tím se dosáhne přesnějšího obrábění, a dále větší tvrdost HV. Naopak menší odolnost proti rázům a menší pevnost v ohybu při této operaci nevádí, protože řez je nepřerušovaný a průřez třísky je malý, tedy namáhání na ohyb není velké.

1.3 Rychlořezná ocel

Vlastnosti rychlořezných ocelí jsou dány především vysokým obsahem legujících prvků, kterými jsou v tomto případě W, Mo, V a Co, a zakalením na martenzitickou strukturu. Takto vznikají v oceli velmi tvrdé karbidy. Jejich forma ovlivňuje výslednou tvrdost materiálu. Rychlořezné oceli mohou být při obrábění vystaveny teplotě až 600 $^{\circ}\text{C}$, jak je vidět z Obrázku 5, cermety a slinuté karbidy mohou být oproti tomu používány při teplotě okolo 1000 $^{\circ}\text{C}$ a vyšší, což je pro vystružování výhodnější. Pro optimální využití nástrojů z rychlořezné oceli je nutné zvolit vhodné řezné prostředí. [8]

Rychlořezné oceli jsou označovány písmeny HS a procentuelním obsahem legujících prvků v pořadí W – Mo – V – Co. Jak je vidět v Tabulce 2, pro dokončovací operace jsou nejvíce vhodné rychlořezné oceli s obsahem 12% W, např. ocel HS12-1-4-5 má výbornou otěruvzdornost, navzdory obsahu vanadu a díky obsahu kobaltu má vysokou tvrdost za tepla. Wolfram v oceli zvyšuje tvrdost za tepla a otěruvzdornost, stejně tak jí zvyšuje také vanad, proto je více obsažen v nástrojích, které jsou určeny na dokončování. Na výrobu výstružníků jsou používány ale i další rychlořezné oceli s označením HS6-5-2, HS6-5-3 nebo HS2-9-2. Dle normy ČSN může být na výstružníky využívána např. ocel 19 858. [8,9]



Obrázek 5 – Vliv teploty na tvrdost řezných materiálů. [3]

Jak je vidět z Obrázku 5, největší odolnost proti poklesu tvrdosti při zvyšující se teplotě mají cermety (použitelné při teplotě více než 1000°C), oproti tomu tvrdost rychlořezné oceli je výrazně nižší i při běžné teplotě a při teplotě přibližně 600°C rychle klesá.

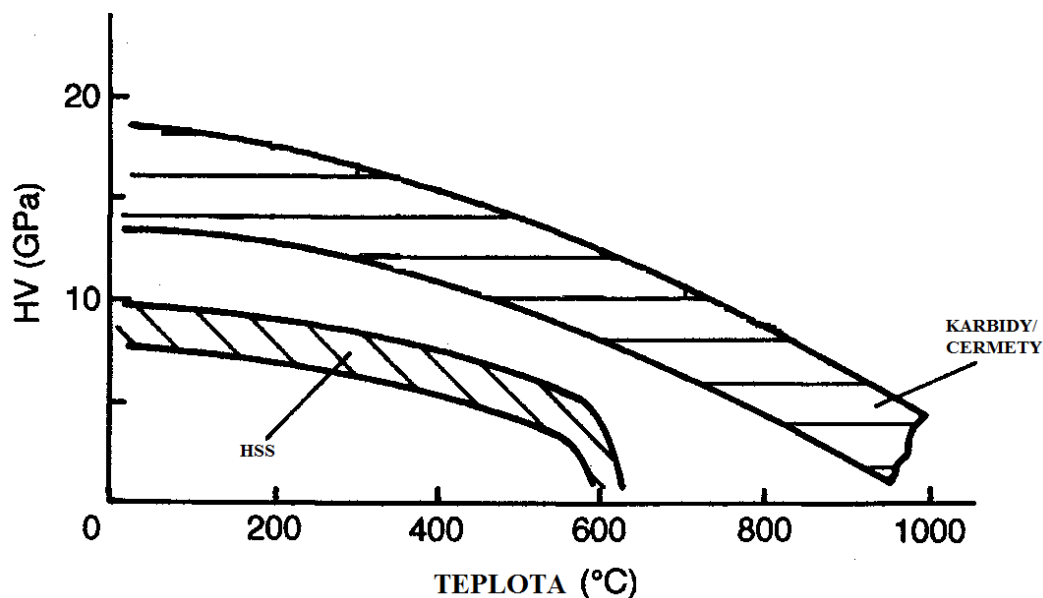
	Složení	Označení	Druh obrábění	
			hrubování	dokončování
I	18% W	HS18-0-1	-	-
		HS18-1-2-5	+	-
II	12% W	HS12-1-4-5	+	+
		HS10-4-3-10	+	+
III	6% W + 5% Mo	HS6-5-2	-	-
		HS6-5-3	+	+
		HS6-5-2-5	+	-
IV	2% W + 9% Mo	HS2-9-1	-	-
		HS2-9-2	-	-
		HS2-10-1-8	+	-

Tabulka 2 – Složení rychlořezné oceli a její využití. [9]

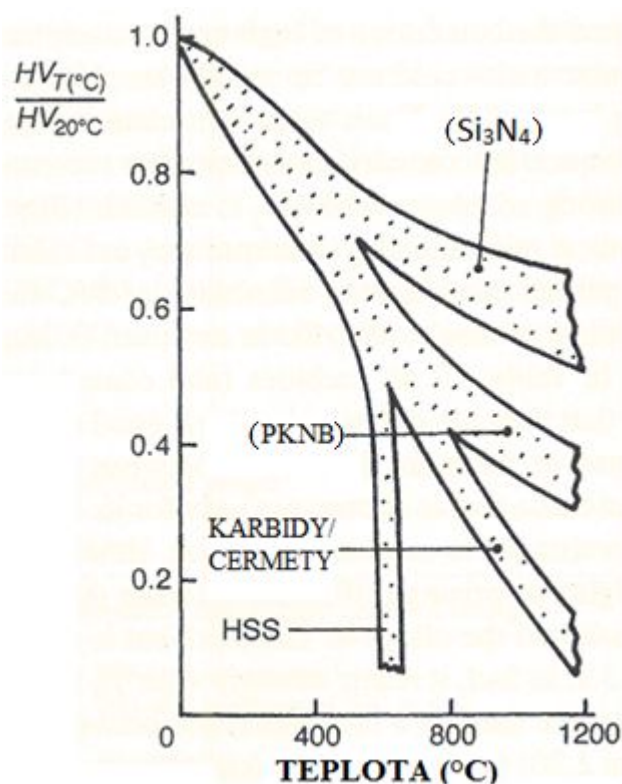
Tabulka 2 názorně ukazuje rozdělení rychlořezných ocelí do 4 skupin od nejvyššího obsahu W k nejnižšímu, přiřazuje k těmto ocelím značení a určuje, zda jsou vhodné na hrubovací nebo dokončovací operace.

1.4 Srovnání vlastností cermetů, SK a HSS

Na následujících grafech (Obrázky 6 – 10) je vidět srovnání mechanických a fyzikálních vlastností výše popsaných nástrojových materiálů.



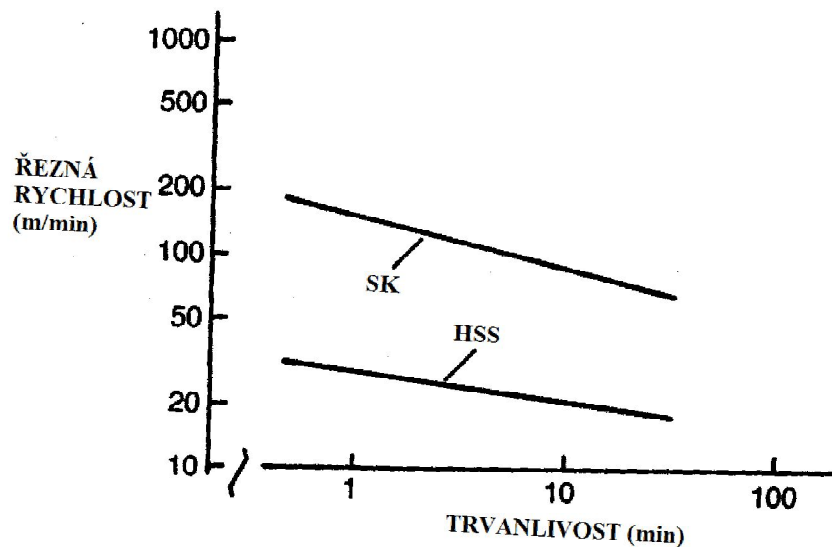
Obrázek 6 – Tvrdost materiálů v závislosti na teplotě. [7]



Obrázek 7 – Relativní tvrdost materiálů jako funkce teploty. [7]

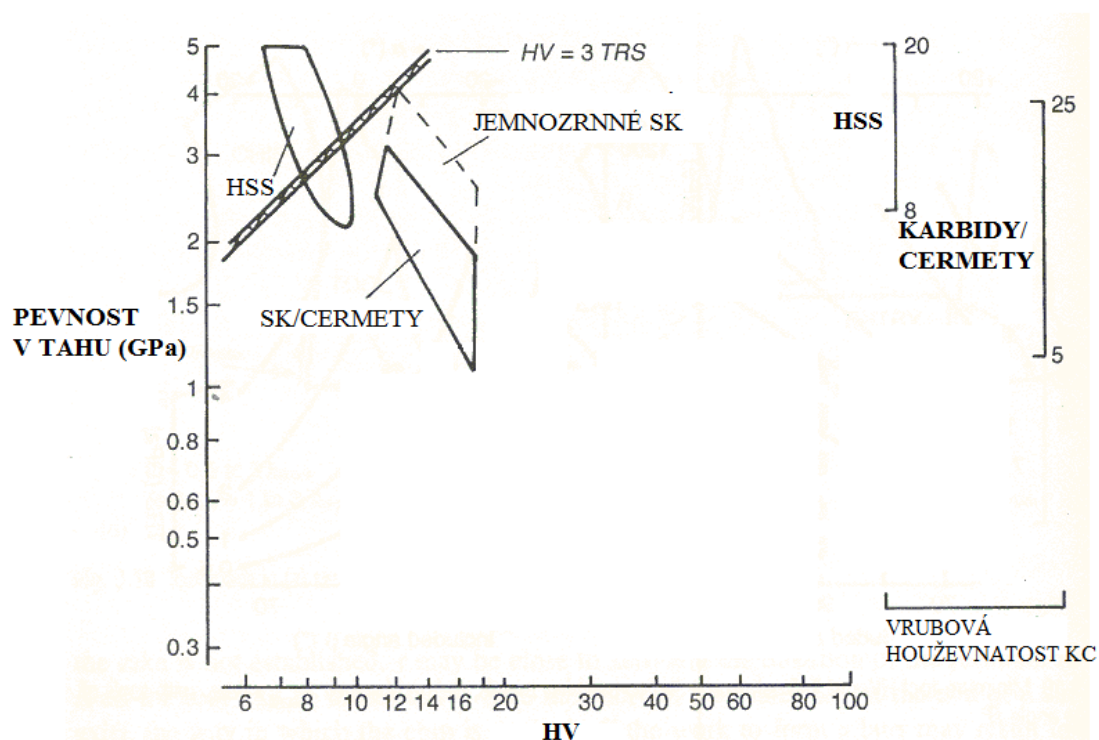
Z obrázku 6 je vidět, že tvrdost cermetu a slinutého karbidu může být při stejné teplotě až dvojnásobná oproti rychlořezné oceli, a také že tvrdost HSS při přibližně 600 °C rychle klesá. Z obrázku 7 je patrné, že tvrdost při zvyšující se teplotě klesá u cermetů a SK pomaleji vůči tvrdosti při teplotě 20 °C než u HSS. Ve vztahu k vystružování lze říci, že rychlořezná

ocel není příliš vyhovující materiál, protože při vyšších teplotách, kterých je při vystružování dosahováno, nemá dostatečnou tvrdost.



Obrázek 8 – Vyjádření Taylorova vztahu pro obrábění nízkolegované oceli. [7]

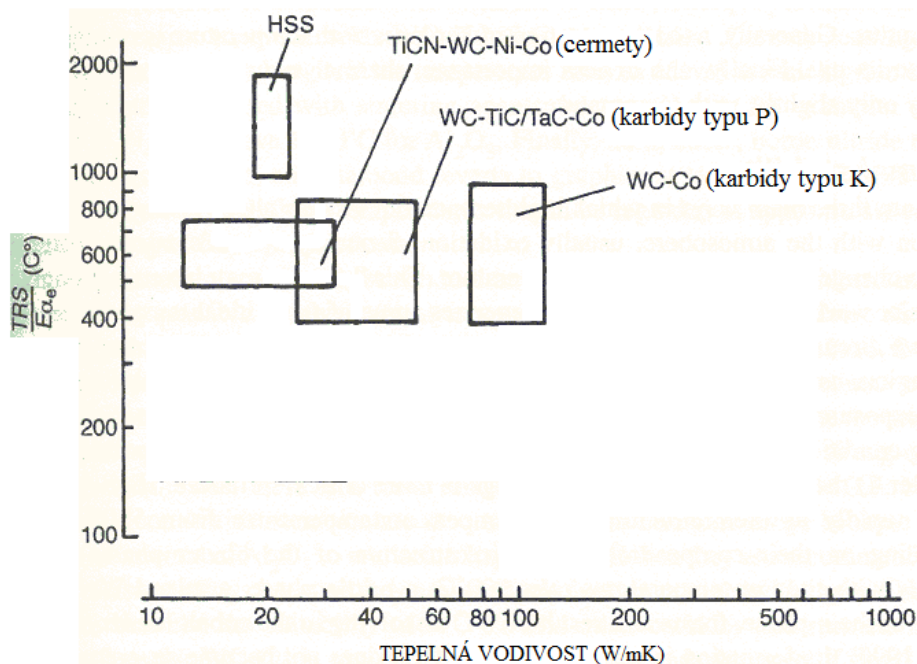
Obrázek 8 vyjadřuje vztah mezi řeznou rychlostí a trvanlivostí pro slinuté karbidy a rychlořeznou ocel při obrábění nízkolegované oceli. Z grafu je patrné, že při stejné trvanlivosti dosahují SK několikanásobné rychlosti oproti HSS, a lze předpokládat, že cermety by dosahovaly ještě vyšší rychlosti a trvanlivosti než SK, jak dokládají příklady níže.



Obrázek 9 – Rozsah pevností v tahu a tvrdostí dle vickerse. [7]

Obrázek 9 ukazuje vztah mezi tvrdostí dle Vickerse a pevností v tahu pro rychlořeznou ocel, slinuté karbidy, jemnozrnné SK a cermety. Na Obrázku 9 je vyznačená též vrubová houževnatost těchto materiálů. Jak je vidět, HSS dosahuje nejvyšší pevnosti

v tahu, ale zároveň nejnižší tvrdosti HV. Nejvyšší tvrdosti a zároveň pevnosti v tahu dosahují jemnozrné SK. Vyšší vrubovou houževnatost má rychlořezná ocel. Čára $HV = 3 TRS$ značí předpoklad, že mez kluzu je $HV/3$, tedy jinak řečeno, nad křivkou $HV = 3 TRS$ dojde k tečení materiálu ještě dříve, než nastane lom.



Obrázek 10 – Materiálová charakteristika tepelnou vodivostí a odolností proti teplotním šokům. [7]

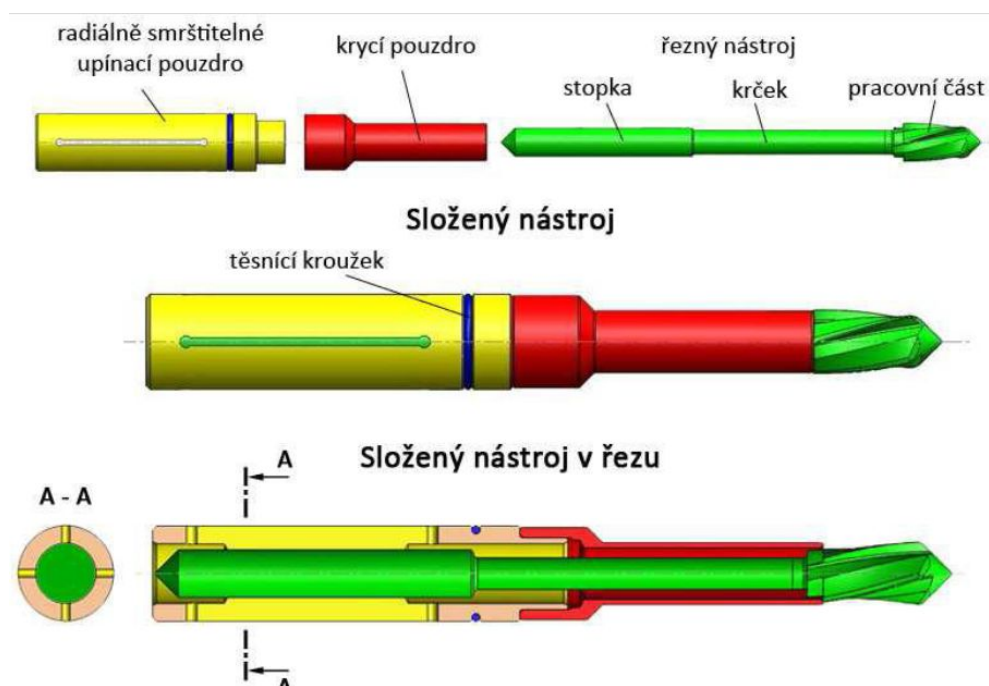
Obrázek 10 vyjadřuje změnu teploty při ochlazování, která generuje tahové teplotní napětí, rovné TRS, pokud teplotní napětí nemohlo relaxovat. Lze říci, že největší teplotní napětí vzniká při ochlazování v rychlořezných ocelích, a že největší tepelnou vodivost mají slinuté karbidy typu K a poté SK typu P.

1.5 Příklady aplikace cermetových výstružníků

Především firma HAM-FINAL se zabývala testováním cermetových výstružníků ve srovnání s výstružníky ze SK. Dle experimentů dosáhl cermet několikanásobně vyšší řezné rychlosti při delší trvanlivosti. Vysoké řezné rychlosti ale vyžadují intenzivní chlazení s centrálním přívodem procesní kapaliny, které výstružník VRV-1 (viz Obrázek 11), použitý při jednom z experimentů, dovoluje. Podmínky experimentu:

- díra H7,
- hloubka $h = 11$ mm,
- ocel dle ČSN 11 523,
- drsnost $Ra 0,8$,
- výstružník ze SK nahrazen cermetovým výstružníkem.

Výsledkem bylo snížení nákladů o 345 000 Kč/rok a zvýšení produktivity (zkrácení výrobního času o 4,7 s/ks). [10]



Obrázek 11 – Sestava výstružníku VRV od firmy HAM-FINAL. [5]

Dle dalšího článku jsou cermetové výstružníky vhodné především pro obrábění konstrukčních, nízkouhlíkových a nelegovaných ocelí, ale byly úspěšně nasazeny i pro ocel dle ČSN 15 131. Podmínky a výsledky experimentu:

v_c [m/min]	f_{ot} [mm/ot]	a_p [mm]
180	0,6	0,1
Válcovitost [mm]	Ra	Životnost [m]
0,01	0,4 – 0,8	35

Tabulka 3 – Podmínky a výsledky experimentu při vystružování oceli dle ČSN 15 131. [11]

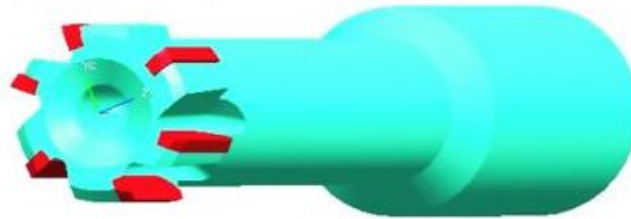
Z výsledků lze vidět, že při experimentu bylo dosaženo dobré válcovitosti, drsnosti a vysoké životnosti nástroje. [11]

Podobně se vystružování legované oceli věnoval článek firmy Gühring. Při experimentu byla vystružována ocel dle ČSN 16 231. Podmínky a výsledky experimentu:

v_c [m/min]	f_{ot} [mm/ot]
120	1,2
Kruhovitost [μm]	Rz [μm]
max 3	3,5 - 4

Tabulka 4 - Podmínky a výsledky experimentu při vystružování oceli dle ČSN 16 231. [12]

Při experimentu byl využit cermetový výstružník pro obrábění neprůchozí díry o $\varnothing 18,08$ mm s centrálním chladicím kanálem (viz Obrázek 12). Některé cermetové výstružníky od této firmy běžně dosahují životnosti až 60 m a to i při obrábění oceli dle ČSN 15 142. [12]



Obrázek 12 – Cermetový výstružník použitý při vystružování oceli dle ČSN 16 231. [12]

Další firmou, která se zabývá výrobou výstružníků, je August Beck společně s firmou SK-Technik. August Beck vyrábí cermetové výstružníky HCS s vnitřním přívodem chladicí kapaliny a extrémně nestejným dělením břitů pro výrazně vyšší řezné parametry než dovolují výstružníky ze SK. Tyto výstružníky dosahují drsnosti povrchu $Rz < 2 \mu\text{m}$. (viz Obrázek 13) [13]



Obrázek 13 – Cermetový výstružník HCS od August Beck. [13]

Od výstružníků z rychlořezné oceli v současné době firmy spíše upouštějí a využívají materiály, které dovolují vyšší produktivitu, tedy výše zmíněné cermety a slinuté karbidy. Ale dle firmy August Beck jsou výstružníky z rychlořezné oceli novou érou a znovu se k nim navrací, protože jsou robustní, necitlivé a cenově výhodné. Musí mít ale vnitřní přívod chladicí kapaliny, protože při vysokých teplotách rychle klesá jejich tvrdost, a speciálně upravenou geometrii. Díky tomu dosahují až 4x vyšší řezné a posuvové rychlosti a dvojnásobné životnosti oproti klasickým HSS výstružníkům. [14]

Hlavním cílem této diplomové práce je na základě výsledků dosažených v diplomové práci ing. Martina Šmejkalů navrhout a otestovat postup pro výrobu díry 8H6 na držáku VDI. A následně tento postup otestovat ve firmě HOFMEISTER s.r.o, kde je držák VDI vyráběn. Nový postup by měl vyřešit aktuální problémy, které nastávají při výrobě díry.

HOFMEISTER s.r.o. je strojírenská firma, která se zabývá především výrobou obráběcích nástrojů, jejich ostřením a servisem a výrobou přípravků. VDI držák je nástrojový držák pro upínání nástrojů s válcovou stopkou do revolverové hlavy soustruhu. Existuje více druhů VDI držáků, tato práce se ale věnuje pouze jednomu konkrétnímu, a to držáku s označením E2 52 40 08 (viz Obrázek 14).



Obrázek 14 – VDI držák. [4]

Na držáku se vystružuje pouze prostřední neprůchozí díra 8H6 do hloubky 61 mm, do které se upíná nástroj, a pouze výrobou této díry se práce zabývá. Dvě boční díry stačí jen vyvrtat, slouží pouze k přívodu řezné kapaliny. V příloze je doložen výrobní výkres tohoto držáku. [4]

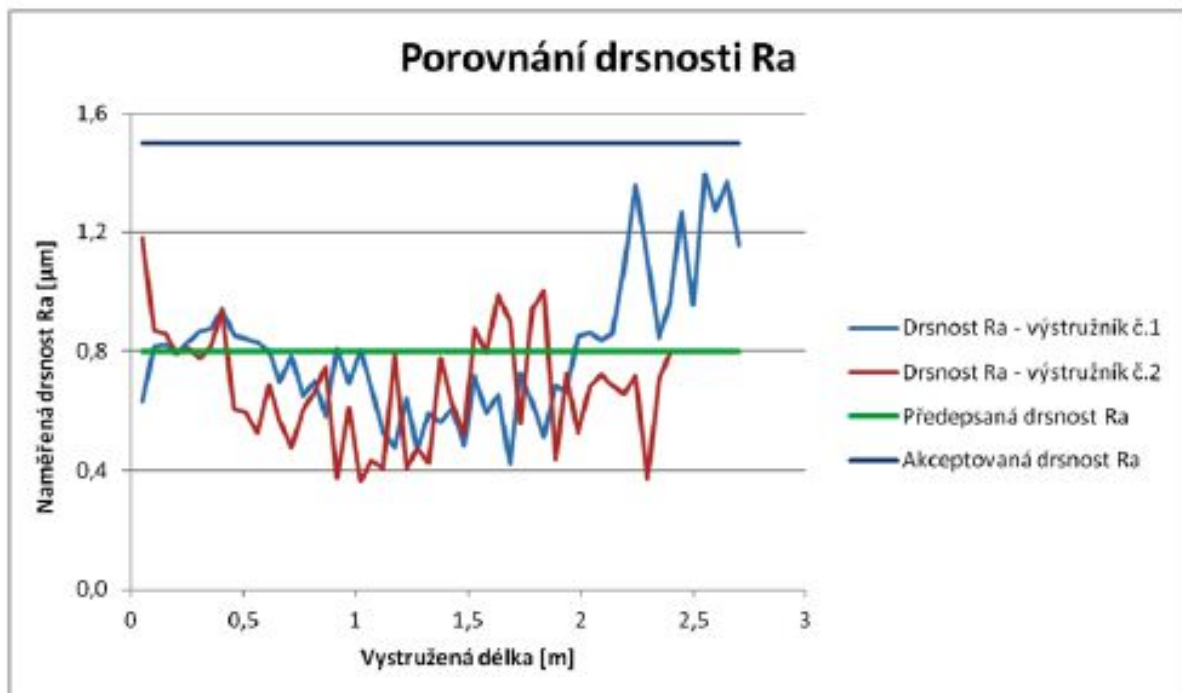
Zlepšení postupu pro výrobu této díry se věnovala již diplomová práce Ing. Martina Šmejkal, proto další kroky a výsledky zde uvedené na ni budou navazovat. Následující kapitola jeho kroky a výsledky popisuje.

2 ROZBOR A HODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ V DP Ing. MARTINA ŠMEJKALA [4]

2.1 Stav výroby díry 8H6 ve firmě před testováním Ing. Martina Šmejkal

Na úvod této kapitoly je nutné zmínit, jaký byl stav výroby před započítáním řešení diplomové práce Ing. Martin Šmejkal a k jakým problémům docházelo.

Ve firmě HOFMEISTER s.r.o. je vyráběn nástrojový držák VDI s označení E2 52 40 08, jak bylo napsáno již v úvodu. Firma si výstružníky pro výrobu díry 8H6 vyrábí sama a pro výrobu je použitý slinutý karbid. Při vystružování ale dochází k problémům. Největším problémem je kolísavá trvanlivost výstružníků (50 – 300 děr/1 výstružník) a dále nedodržování předepsané drsnosti Ra 0,8 (viz Obrázek 15).



Obrázek 15 – Porovnání drsnosti Ra. [4]

Tyto hodnoty byly naměřeny přímo ve firmě Hofmeister při výrobě děr dvěma výstružníky. První výstružník vyrobil 53 kusů a musel být vyměněn, druhý výstružník vyrobil 47 kusů.

Dále jsou uvedeny výsledky experimentů prováděných v halových laboratořích KTO na ZČU v Plzni. Pro experimenty byly navrženy ve spolupráci s firmou HAM-FINAL dva nové postupy a nové nástroje. Testované technologické postupy jsou popsány v Tabulkách 5 – 7. Jedná se o stávající technologický postup firmy HOFMEISTER a dále dva upravené technologické postupy. V nových dvou postupech je výstružník ze SK nahrazen výstružníkem cermetovým, v prvním je navíc před vystružování zařazena technologie vyhrubování.

2.2 Testované technologické postupy

STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGICKÝ POSTUP FIRMY HOFMEISTER									
OPERACE:		NÁSTROJ	UPÍNÁNÍ	z	v_c [m/min]	n [ot/min]	f [mm/ot]	v_f [mm/min]	Zp. posuv [mm/min]
1	Navrtání do h = 6,5 mm o \varnothing 7,8 mm	čelní válcová fr. o \varnothing 7 mm z SK	Kleština	2	77	3500	0,05	170	8000
2	Vrtání do h = 61 mm	Šr. vrták 8xD \varnothing 7,8 mm ze SK s povl. TiAlN	Hydroupí-nač	2	49	2000	0,1	190	8000
3	Vrtání do h = 69 mm	Šr. vrták 10xD \varnothing 7,1 mm ze SK s povl. TiAlN	Kleština	2	49	2000	0,1	190	8000
4	Sražení hrany 60°	Tvarová fr. \varnothing 6 mm ze SK	Kleština	4	94	5000	0,02	100	8000
5	Vystružování do h = 61 mm	Výstružník 8xD \varnothing 8H6 ze SK s povl. DARWIN	Hydroupí-nač	6	80	3200	0,4	1280	30000
STROJ	MCV 750A	VNITŘNÍ CHLAZENÍ	Blasocut 35 combi - koncentrace 7%, tlak 17,5 bar	MATERIÁL OBROBKU			12050. 3	PEVNOST MATERIÁLU	550 Mpa

Tabulka 5 – Stávající technologický postup firmy HOFMEISTER. [4]

NOVÝ TECHNOLOGICKÝ POSTUP OD FIRMY HAM-FINAL									
OPERACE:		NÁSTROJ	UPÍNÁNÍ	z	v_c [m/min]	n [ot/min]	f [mm/ot]	v_f [mm/min]	Zp. posuv [mm/min]
1	Navrtání do h = 6,5 mm o \varnothing 7,8 mm	čelní válcová fr. o \varnothing 7 mm z SK	Kleština	2	77	3500	0,05	170	8000
2	Vrtání do h = 61 mm	Šr. vrták 8xD \varnothing 7,8 mm ze SK s povl. TiAlN	Hydroupí-nač	2	49	2000	0,1	190	8000
3	Vrtání do h = 69 mm	Šr. vrták 10xD \varnothing 7,1 mm ze SK s povl. TiAlN	Kleština	2	49	2000	0,1	190	8000
4	Vyhrubování do h = 61,2 mm	Výhrubník 10xD \varnothing 7,75H8 mm ze SK s povl. TiAlN	Tribos	6	25	1027	0,18	185	8000
5	Sražení hrany 60°	Tvarová fr. \varnothing 6 mm ze SK	Kleština	4	94	5000	0,02	100	8000
6	Vystružování do h = 61 mm	Výstružník 8xD \varnothing 8H6 z cermetu	Hydroupí-nač	6	140	5573	0,18	1003	30000
STROJ	MCV 750A	VNITŘNÍ CHLAZENÍ	Blasocut 35 combi - koncentrace 7%, tlak 17,5 bar	MATERIÁL OBROBKU			12050. 3	PEVNOST MATERIÁLU	550 Mpa

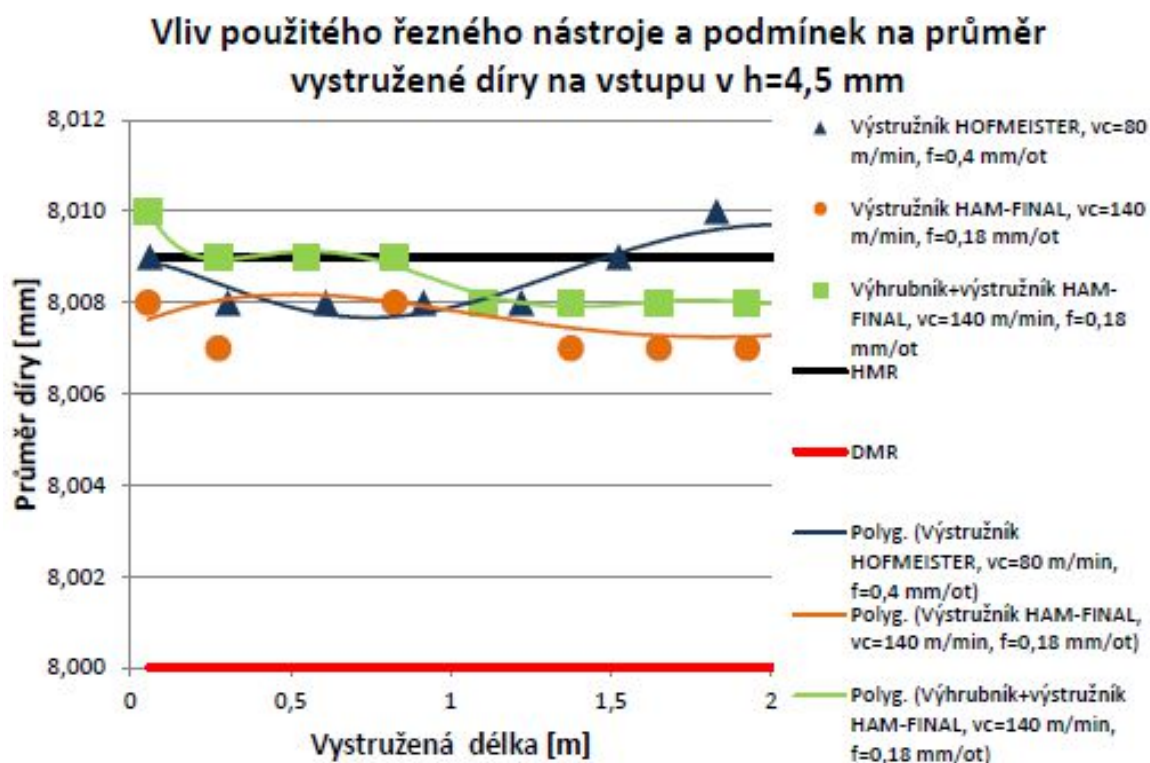
Tabulka 6 – Nový technologický postup firmy HAM-FINAL. [4]

STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGICKÝ POSTUP S JINÝM TYPEM VÝSTRUŽNÍKU									
OPERACE:		NÁSTROJ	UPÍNÁNÍ	z	v_c [m/min]	n [ot/min]	f [mm/ot]	v_f [mm/min]	Zp. posuv [mm/min]
1	Navrtání do h = 6,5 mm o \varnothing 7,8 mm	čelní válcová fr. o \varnothing 7 mm z SK	kleština	2	77	3500	0,05	170	8000
2	Vrtání do h = 61 mm	Šr. vrták 8xD \varnothing 7,8 mm ze SK s povl. TiAlN	hydroupín ač	2	49	2000	0,1	190	8000
3	Vrtání do h = 69 mm	Šr. vrták 10xD \varnothing 7,1 mm ze SK s povl. TiAlN	kleština	2	49	2000	0,1	190	8000
4	Sražení hrany 60°	Tvarová fr. \varnothing 6 mm ze SK	kleština	4	94	5000	0,02	100	8000
5	Vystružování do h = 61 mm	Výstružník 8xD \varnothing 8H6 z cermetu	hydroupín ač	6	140	5573	0,18	1003	30000
STROJ	MCV 750A	VNITŘNÍ CHLAZENÍ	Blasocut 35 combi - koncentrace 7%, tlak 17,5 bar	MATERIÁL OBROBKU			12050. 3	PEVNOST MATERIÁLU	550 Mpa

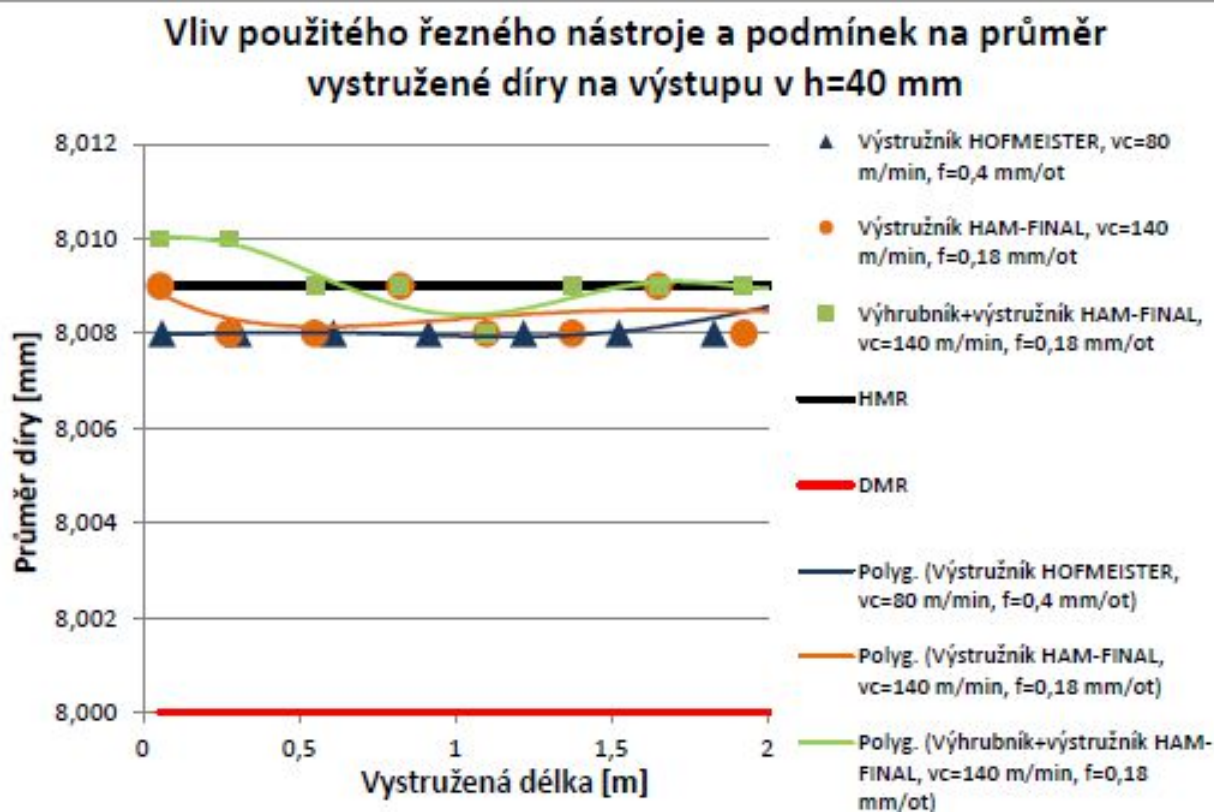
Tabulka 7 – Stávající technologický postup s jiným typem výstružníku. [4]

Během testování jednotlivých postupů byly měřeny určité parametry díry a nástroje, těmito parametry byl průměr díry, válcovitost, drsnost Ra a Rz a opotřebení nástroje na čele a na hřbetě. Na následujících grafech (Obrázky 16 - 19) jsou vyznačené naměřené hodnoty týkající se parametrů díry.

2.3 Naměřené hodnoty průměrů, válcovitosti a drsnosti

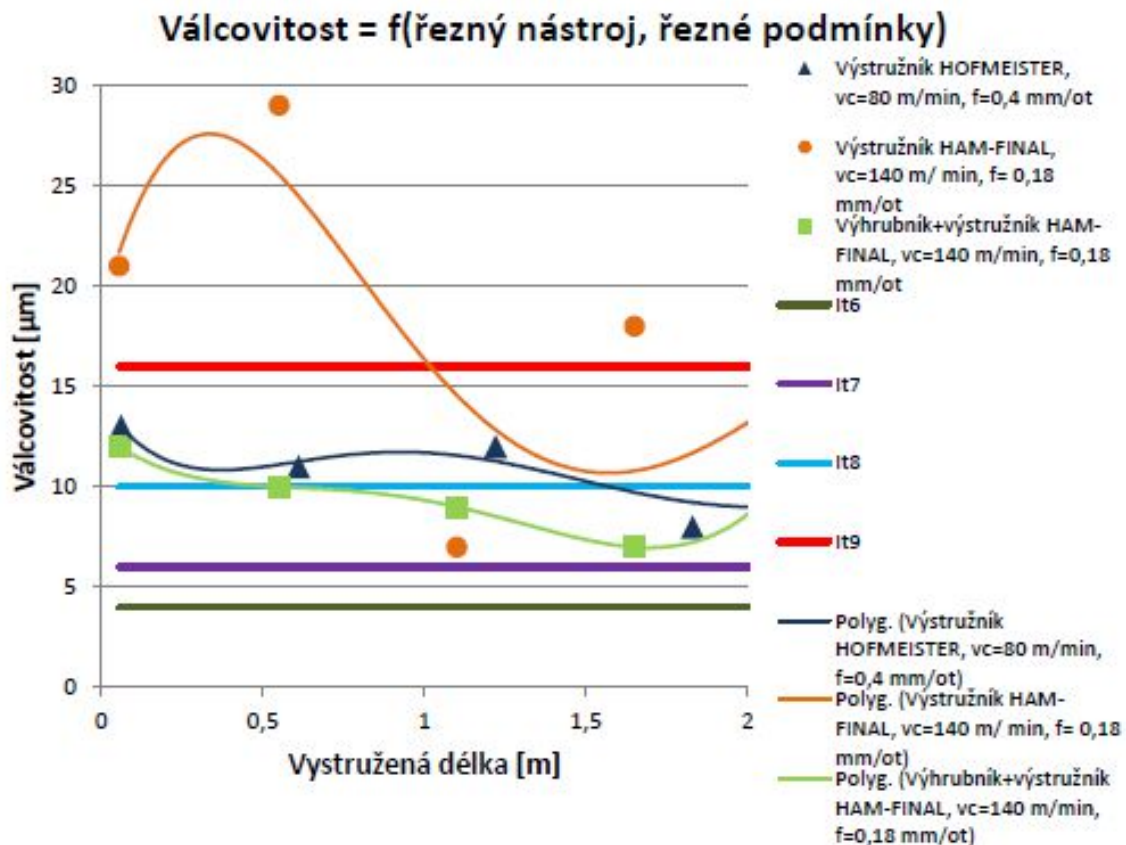


Obrázek 16 – Průměr díry v hloubce 4,5 mm. [4]



Obrázek 17 – Průměr díry v hloubce 40 mm. [4]

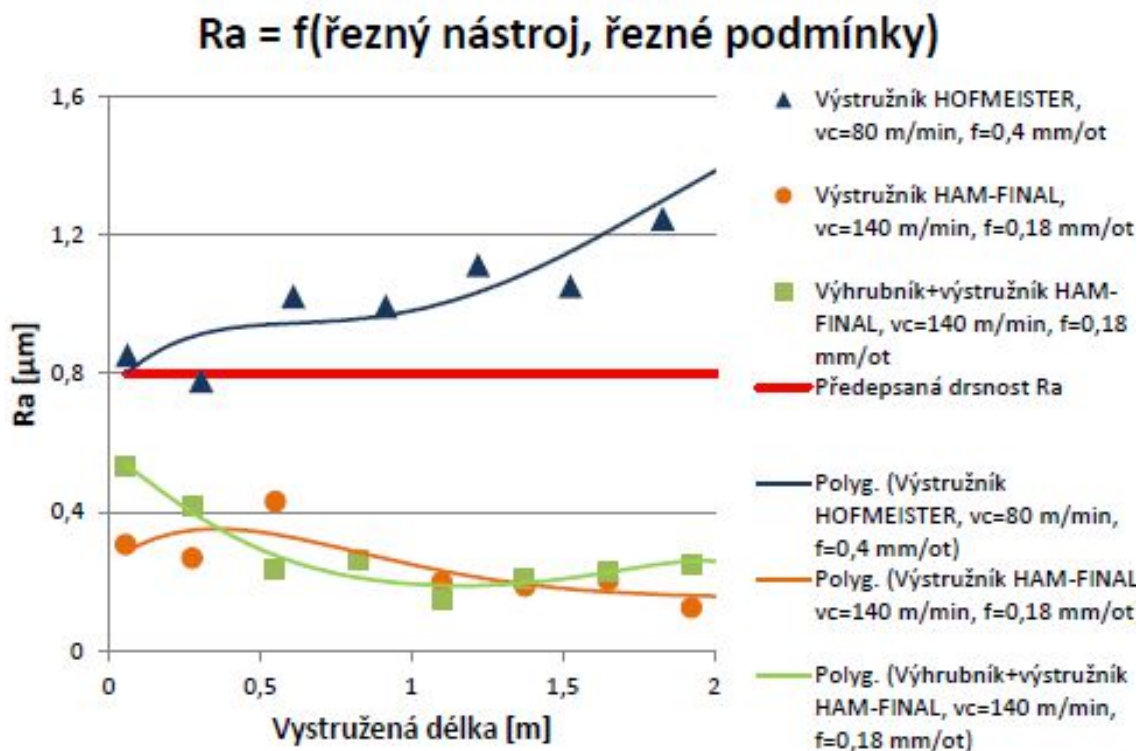
Průměr díry byl měřen na vstupu a v hloubce 40 mm. Jak je vidět z Obrázku 14 a Obrázku 15, stávající postup s výstružníkem HOFMEISTER nesplnil kritéria, na vstupu začal po určité délce překračovat stanovený HMR. Nový postup s výhrubníkem potřeboval v obou hloubkách určitou délku na srovnání, ale poté už nepřekračoval HMR. Poslední postup splnil kritéria v obou případech.



Obrázek 18 – Válcovitost. [4]

Na Obrázku 18 jsou zachycené průběhy válcovitosti pro jednotlivé postupy a také hodnoty tříd přesnosti od IT6 do IT 9. Ani jeden z nástrojů nesplnil předepsanou hodnotu válcovitosti, tedy IT 6. Nejvíce se předepsané hodnotě přiblížil cermetový nástroj od HAM-FINAL společně s výhrubníkem. Naopak velmi špatně dopadl samotný cermetový výstružník od HAM-FINAL, který se pohyboval mezi IT 7 až IT 11.

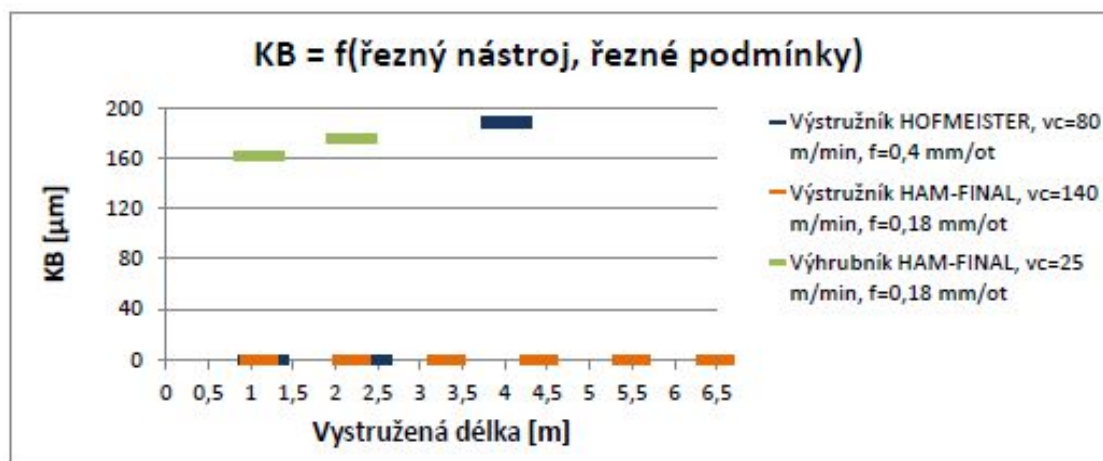
Na Obrázku 19 je graf drsnosti R_a , kde je vyznačena mezní hodnota R_a 0,8. Je tedy velmi patrné, že výstružník ze SK od HOFMEISTER dopadl velmi špatně, pouze jedna hodnota splnila předepsané kritérium. Další dvě technologie splnily kritérium bez problému, hodnota R_a se pohybovala od 0,5 do 0,1 μm a v průběhu experimentu se zlepšovala. U parametru R_z nebylo udáno kritérium, ale přesto se měřil. Jeho průběh dopadl téměř stejně jako u parametru R_a .



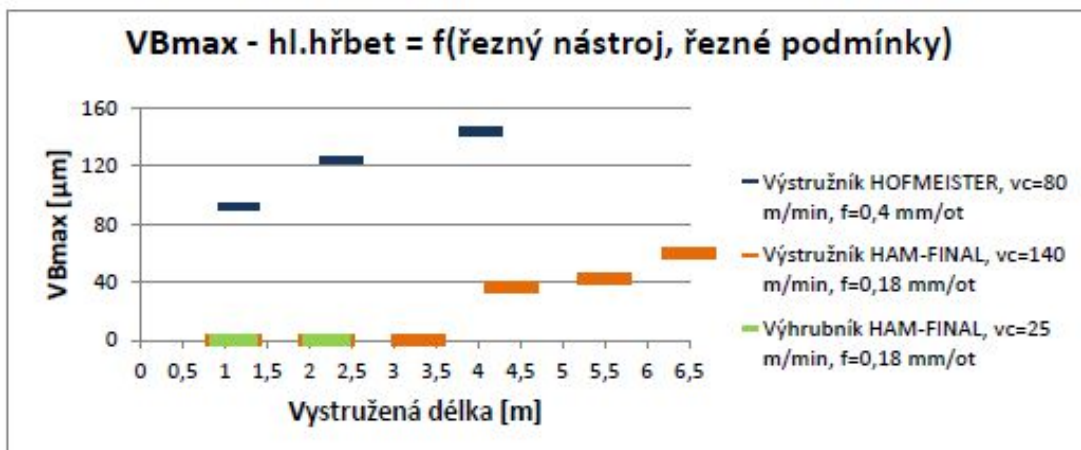
Obrázek 19 – Drsnost Ra. [4]

2.4 Hodnocení opotřebení nástrojů

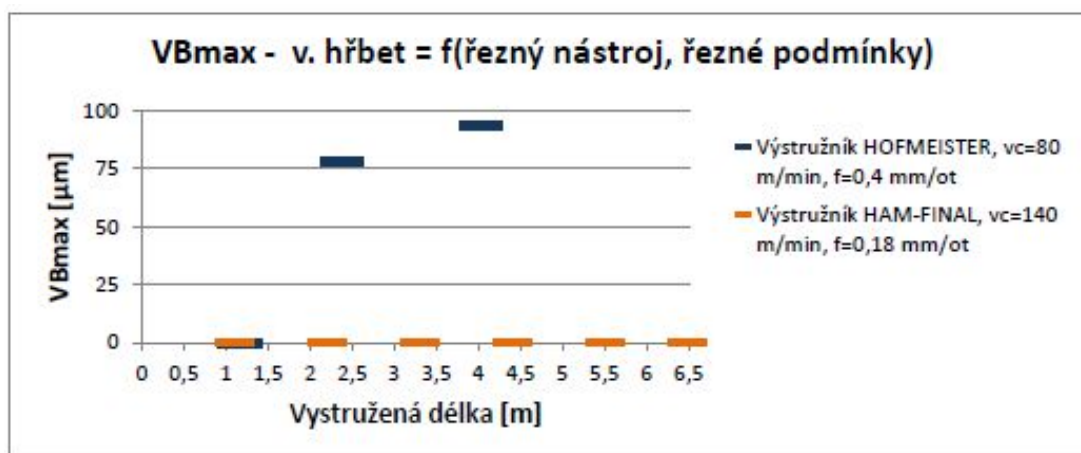
Byly měřeny hodnoty opotřebení na čele (KB; Obrázek 20), hlavním hřbetu (VB_{max} – hl.hřbet; Obrázek 21) a vedlejším hřbetu (VB_{max} – vedl. hřbet; Obrázek 22).



Obrázek 20 – Opotřebení na čele. [4]



Obrázek 21 – Opatření na hlavním hřbetu. [4]

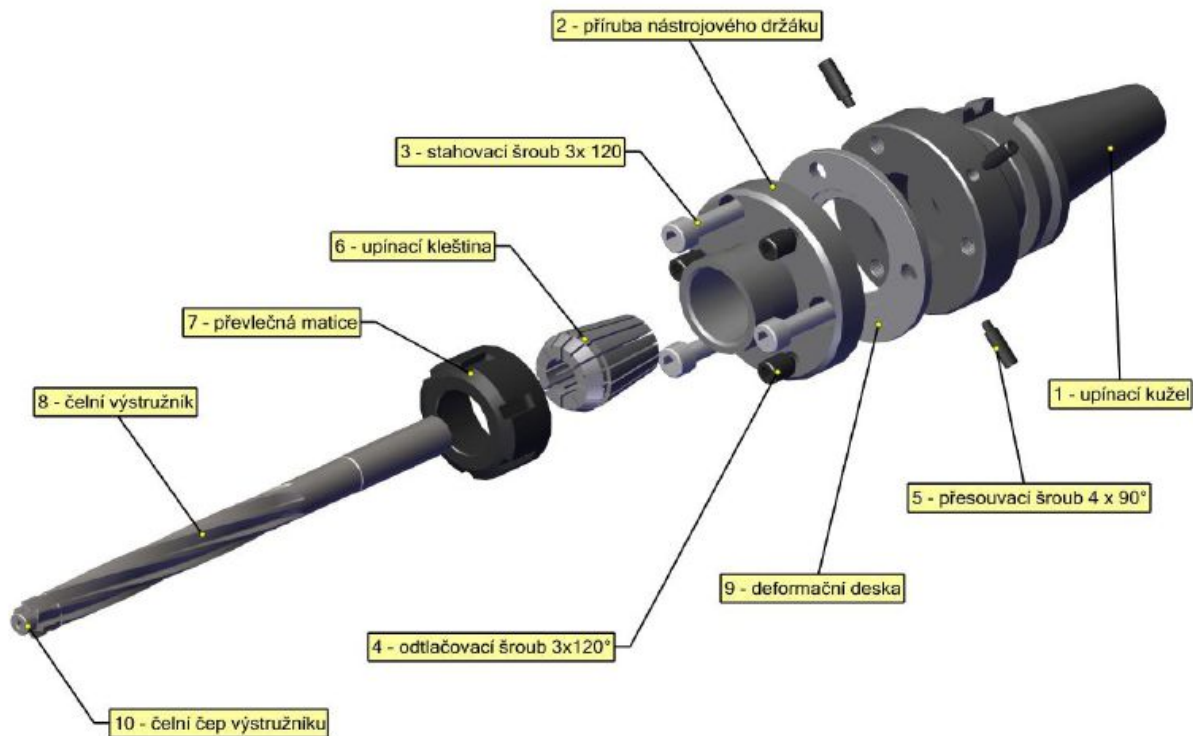


Obrázek 22 – Opatření na vedlejším hřbetu. [4]

3 NÁVRH NOVÉHO ŘEŠENÍ ZA ÚČELEM ZVÝŠENÍ PRODUKTIVITY A SPOLEHLIVOSTI

3.1 Návrh řešení špatné válcovitosti

Z ekonomického hlediska dopadl nejlépe postup s cermetovým výstružníkem bez výhrubníku. Během experimentu ale došlo k určitým problémům, kvůli kterým nemohl být tento nový technologický postup aplikován v praxi. Prvním problémem byla nevyhovující válcovitost, která zdaleka nedosahovala na předepsané IT6, jak bylo vidět výše na Obrázku 18. Tento problém se pokusíme odstranit jiným způsobem upnutí výstružníku. V předchozích experimentech byl výstružník upnut do hydroupínače, ten bude následně vyměněn za nástrojový systém HAM-FINAL RC (viz Obrázek 23). Je to aktivní systém středění nástroje od firmy HAM-FINAL (RC = regulace centricity). Účelem tohoto systému je sjednocení osy otáčení s osou upnutého nástroje. Výhodou systému je, že centricky seřízený nástroj řeže materiál téměř jen břitý na čele a nekopíruje geometrické nepřesnosti předpracované díry. Nevýhodou je nutnost seřízení systému před obráběním, které je pracné a vyžaduje zručnost a proškolení. [15]



Obrázek 23 – Popis nástrojového systému HAM-FINAL RC. [15]

Postup seřízení nástrojového systému:

- 1 Upnout upínací kužel do dutiny vřetena.
- 2 Uvolnit odtlačovací šrouby.
- 3 Stahovací šrouby mírně dotáhnout.
- 4 Nastavit dotek úchylkoměru na obvod příruby.
- 5 Při otáčení vřetena seřídít dotahováním případně povolováním radiálních přesouvacích šroubů házení příruby do 0,005 mm.
- 6 Stahovací šrouby dotáhnout napevno.
- 7 Překontrolovat dotažení a případně dotáhnout napevno přesouvací šrouby, poté znovu zkontrolovat házivost příruby.

- 8 Odpovídající kleštinu vložit do převlečné matice a volně zašroubovat.
 - 9 Výstružník zasunout do kleštiny a ustavit axiálně na doraz.
 - 10 Dotáhnout klíčem převlečnou matici.
 - 11 Lehce přitáhnout všechny odtlačovací šrouby.
 - 12 Nastavit úchylkoměr na dolní čep výstružníku.
 - 13 Otáčením vřetene zjistit hodnotu maximální a minimální házivosti.
 - 14 Nastavit číselník úchylkoměru tak, aby hodnota 0 byla uprostřed mezi maximální a minimální hodnotou.
 - 15 Pootočením vřetena nastavit hlavici do první seřizovací polohy (tak aby jeden z odtlačovacích šroubů se nacházel na protilehlé straně od dotykového čidla úchylkoměru).
 - 16 Sledovat hodnotu úchylky na úchylkoměru, a pokud vykazuje zápornou hodnotu, pak citlivým dotažením odtlačovacího šroubu na opačné straně dosáhnout nulové hodnoty.
 - 17 Natočit systém do další seřizovací polohy (další odtlačovací šroub na protilehlé straně).
 - 18 Sledovat hodnotu a postupovat jako v bodu 16.
 - 19 Stejně postupovat i u posledního odtlačovacího šroubu.
 - 20 Kontinuálním otáčením vřetena o 360° kontrolovat házivost po celém obvodě.
- [15]

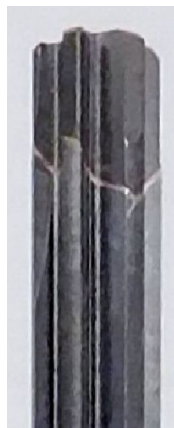
Dále by se tedy mělo testovat, zda se pomocí tohoto upínacího systému dosáhne lepší válcovitosti díry.

3.2 Návrh řešení usmýknuté hlavičky cermetového výstružníku

Druhým problémem, ke kterému došlo během experimentů v rámci diplomové práce Ing. Martina Šmejkal, byla selhání pájeného spoje cermetové hlavičky. K usmýknutí pravděpodobně došlo vlivem překročení dovoleného smykového napětí τ_{Dt} v pájeném spoji. Smykové napětí se vypočte:

$$\tau = \frac{F}{S}$$

Ze vzorce plyne, že smykové napětí závisí přímo úměrně na zatěžovací síle a nepřímo úměrně na velikosti pájené plochy. Pro snížení smykového napětí byla proto rovinná pájená plocha na výstružníku změněna na „vlnovcovou“ plochu. Tím se dosáhlo zvětšení pájené plochy. Pro další experimenty jsou využity takto upravené výstružníky s „vlnovcem“ (viz Obrázek 24).



Obrázek 24 – Upravená pájená plocha cermetového výstružníku.

3.3 Srovnání podmínek experimentu s podmínkami v Hofmeister

Pro návrh experimentu je nutné zjistit, jaký je aktuální stav a podmínky ve firmě Hofmeister. Od experimentů, které byly součástí DP Ing. Martina Šmejkal, došlo při výrobě díry k určitým změnám. Na stroji AXA-DBZ, na kterém je VDI držák vyráběn, došlo k opravám. Před opravami byl problém s unikáním oleje, který se dostával do procesní kapaliny a zvyšoval její koncentraci z požadovaných 6-8% až na 14%. Problém je po opravě vyřešen.

Dále došlo ke změně procesní kapaliny. Dříve používaná kapalina CIMSTAR 620 je polysyntetická, čirá, vodou ředitelná a mikrojemná emulze, vhodná pro obrábění všech železných a téměř všech neželezných materiálů. Výrobce doporučuje použití v měkké vodě (< 50 ppm) a koncentraci 5 – 10 %. Nyní firma používá kapalinu QUAKERCOOL 3530. Tato kapalina je vodou ředitelná polysyntetická se středním obsahem minerálního oleje, je vhodná pro broušení a obrábění všech běžně používaných materiálů. Tvrdost vody by měla být 90 – 450 ppm a koncentrace 4 – 10 % dle operace. [16,17]

Poslední úpravou, ke které došlo, je změna povlaku na výstružníku ze slinutého karbidu. Původně používaný povlak DARWIN (TiAlN s vysokým obsahem hliníku) byl změněn na nanokompozitní povlak TiAlSiN. Tato nová vrstva by měla mít vyšší adhezi než původně používaná, proto se očekává vyšší trvanlivost nástroje.

4 NÁVRH A REALIZACE EXPERIMENTÁLNÍHO STUDIA, VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

Experiment by měl vést k vyřešení problémů uvedených v předchozích kapitolách. Během testování se bude měnit výstružník, tlak procesní kapaliny při vystružování a způsob upnutí výstružníku. Kombinace uvedených proměnných bude z důvodu časové náročnosti omezena. Opakovat se bude pouze kombinace, která bude nejpravděpodobněji dále aplikována ve společnosti HOFMEISTER, a dále kombinace, kterou společnost aktuálně aplikuje při výrobě VDI držáku (viz Tabulka 8). Experiment bude probíhat v halové laboratoři Regionálního technologického institutu na multifunkčním horizontálním soustruhu CTX Beta 1250. Během experimentu se bude kontrolovat na mikroskopu:

- 1) Opotřebení vrtáku
 - a) Na čele
 - b) Na hlavním hřbetu
- 2) Opotřebení výstružníku
 - a) Na čele
 - b) Na hlavním hřbetu
 - c) Na vedlejším hřbetu

Na zkušební placce z oceli 12050.3 se bude vyhodnocovat:

- 1) Skutečný průměr díry
- 2) Válcovitost díry
- 3) Kolmost díry
- 4) Kruhovitost v pěti řezech
- 5) Drsnost Ra a Rz

Všechny uvedené parametry se budou vyhodnocovat na 6 vystružených dírách a 3 vrtaných dírách. Měření bude probíhat v metrologické laboratoři KTO. Každým výstružníkem a vrtákem budou vystružované dva obrobky (na jednom obrobku je 93 děr, viz dále podkapitola 4.2 Zkušební placka a materiál).

	NÁSTROJ	UPNUTÍ	Tlak procesní kap. [bar]	v_c [m/min] f_{ot} [mm]	Opakování
1	Cermet (Ham-final), $\varnothing 8,009$	RC hlavice	30	140 0,3	2x
2	Cermet (Ham-final), $\varnothing 8,007$	RC hlavice	100	140 0,3	Bez opakování
3	Cermet (Ham-final), $\varnothing 8,007$	Hydroupínač	30	140 0,3	Bez opakování
4	Slitutý karbid (Hofmeister)	RC hlavice	30	80 0,4	1x

Tabulka 8 – Návrh experimentálního studia.

4.1 Charakteristika experimentálních zařízení

4.1.1 Obráběcí stroj

Pro experimenty byl vybrán multifunkční soustruh CTX Beta 1250 (viz Obrázek 25) od firmy DMG Mori. Jeden z důvodů pro výběr tohoto stroje bylo možné vyzkoušení vlivu tlaku 100 bar při vystružování.



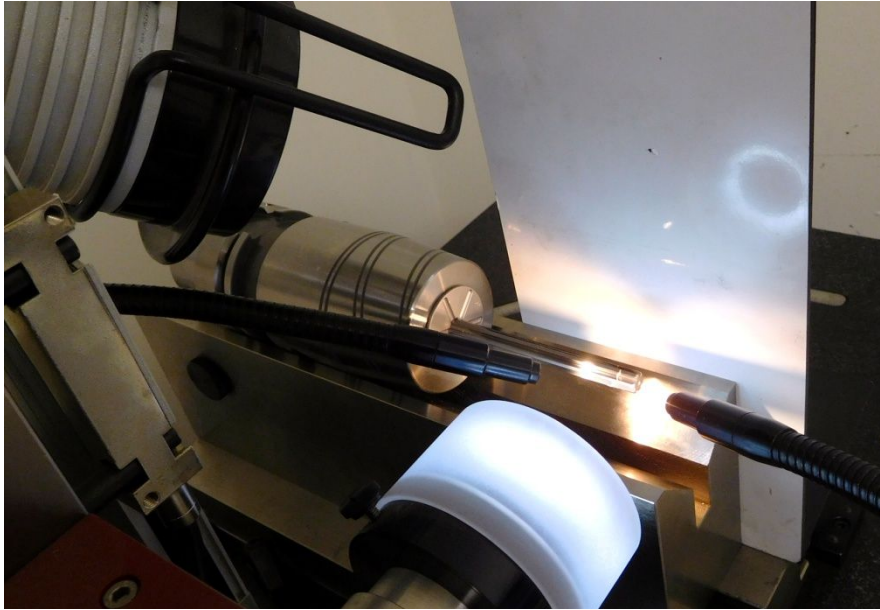
Obrázek 25 – Soustružnické centrum CTX Beta 1250 od DMG Mori. [18]

4.1.2 Mikroskop Multicheck PC 500

Na mikroskopu (viz Obrázky 26, 27) bylo průběžně kontrolováno opotřebení na vrtáku a výstružníku. Mikroskop umožňuje měřit velikost opotřebení a ukládat fotky.



Obrázek 26 – Mikroskop multicheck PC 500. [4]



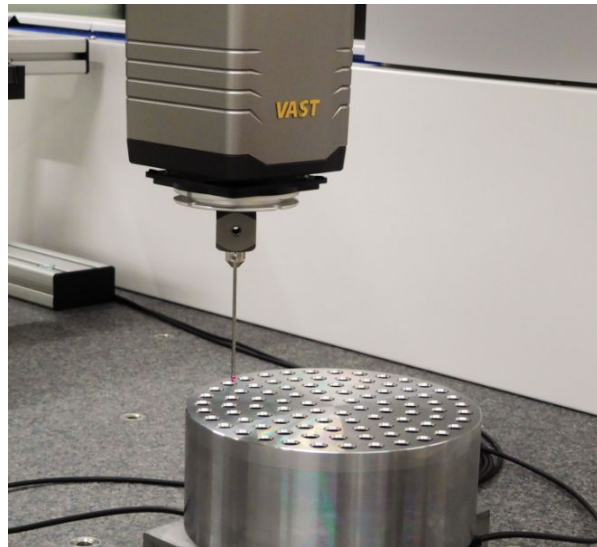
Obrázek 27 – Výstružník na mikroskopu.

4.1.3 3D souřadnicový měřicí stroj ZEISS Prismo navigator

3D souřadnicový měřicí stroj od firmy ZEISS v metrologické laboratoři KTO využívá software CALYPSO a je osazen skenovacím senzorem VAST gold. Zařízení pracuje na principu dotykového skenování. Na tomto přístroji byly měřeny průměry, válcovitost, kruhovitost a kolmost děr. (viz Obrázky 28 a 29)



Obrázek 28 – 3D souřadnicový měřicí stroj ZEISS Prismo navigátor. [19]



Obrázek 29 – Senzor VAST gold.

4.1.4 Drsnoměr Hommel Etamic T8000

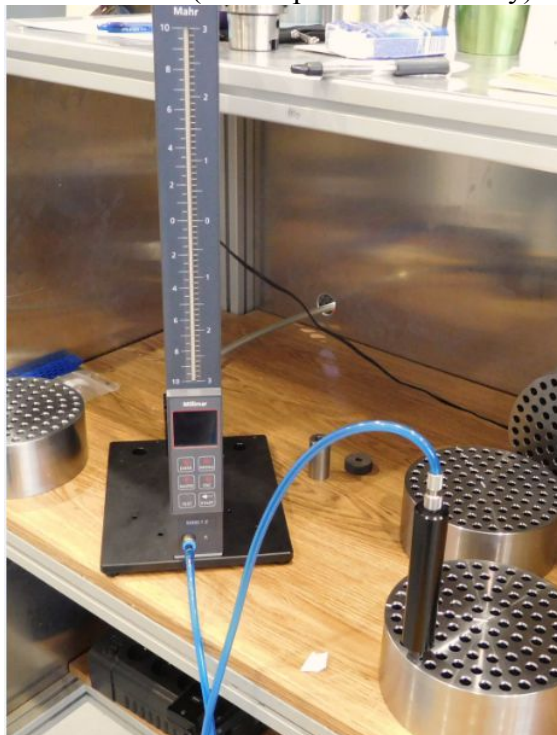
Na drsnoměru (Obrázek 30) byla měřena drsnost vystružených a vrtaných děr Ra a Rz.



Obrázek 30 – Drsnoměr Hommel Etamic T8000. [22]

4.1.5 Vzduchový měřicí přístroj Mahr – Millipneu s 1840

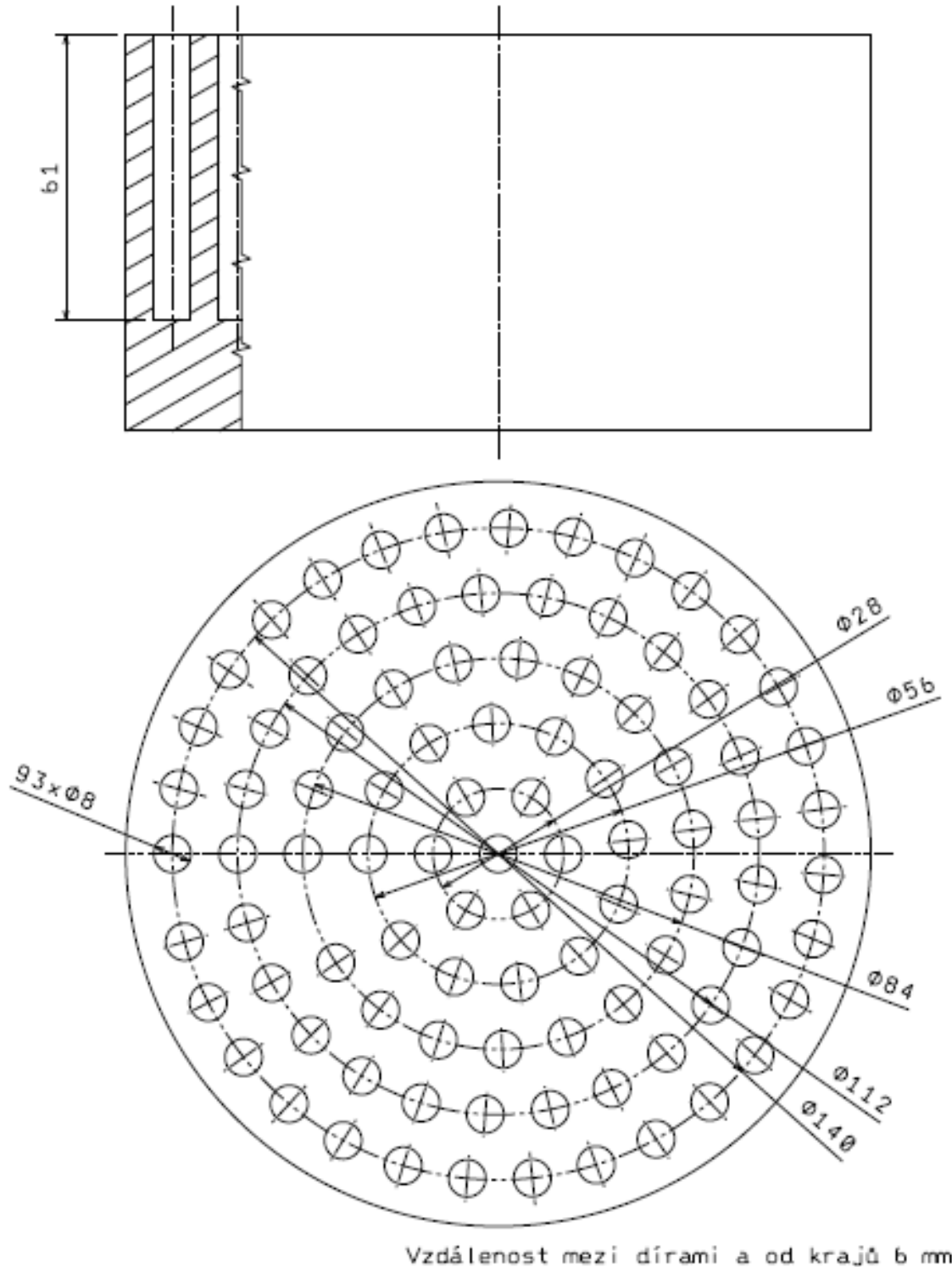
Vzduchovým měřicím přístrojem Mahr – Millipneu byly měřené průměry děr (9 děr na každé placce), ve dvou řezech (na vstupu a na konci díry).



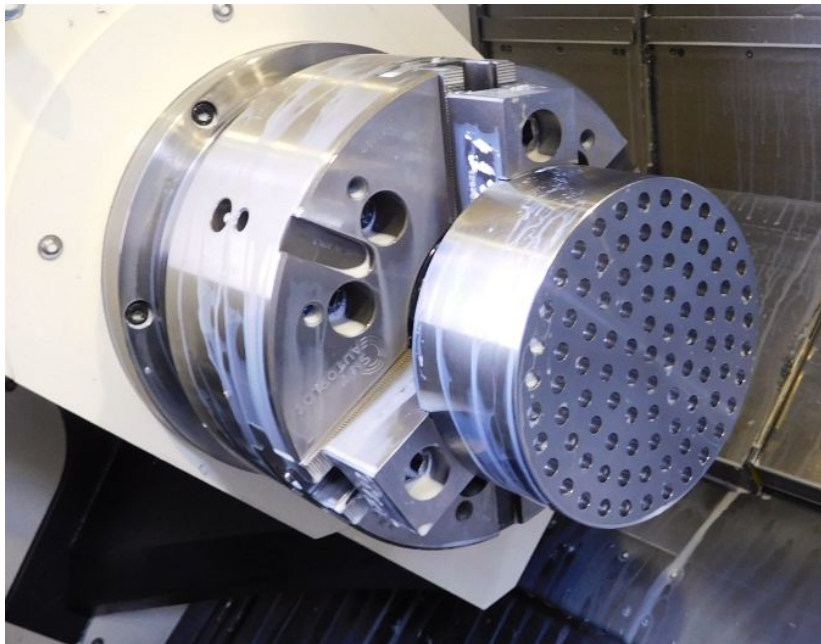
Obrázek 31 – Vzduchový měřicí přístroj Mahr – Millipneu.

4.2 Zkušební placka a materiál

Pro experiment byly použité placky o \varnothing 160 mm. Díry jsou na placce rozmístěné v polárních souřadnicích, vzdálenost mezi dírami byla zvolená 6 mm (vzdálenost roztečných kružnic 14 mm). Na jedné placce je 93 děr (viz Obrázek 32). Protože byla placka upnuta do tříčelistového sklíčidla, nebylo nutné nechávat na horní ploše volné místo pro upnutí (viz Obrázek 33).



Obrázek 32 – Rastr rozložení děr na obrobku.



Obrázek 33 – Upnutí placky na soustruhu.

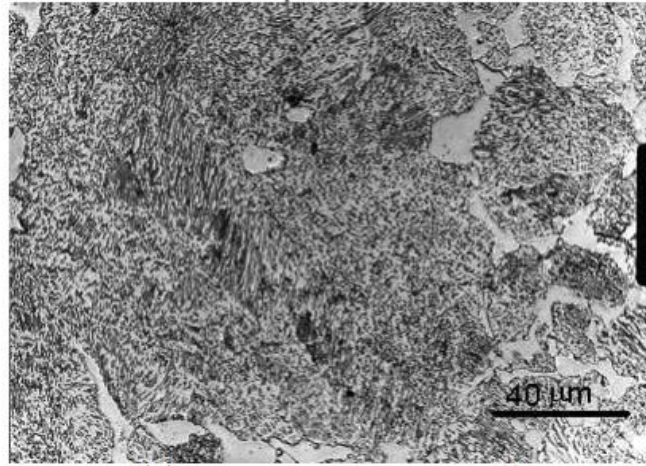
Pro výrobu VDI držáků používá firma HOFMEISTER konstrukční uhlíkovou ocel 12050 (materiálový list této oceli viz PŘÍLOHA 1 – Materiálový list oceli 12050 [20]). Konkrétně pro držák E2 52 40 08 je ve stavu 12050.3 tedy žíhaná na měkko. Pro experiment byl tedy zvolen stejný materiál. V Tabulce 9 jsou rozsahy obsahu jednotlivých prvků v této oceli a v Tabulce 10 jsou mechanické vlastnosti oceli 12050.3. Na Obrázku 34 je 500x zvětšená struktura této oceli po žíhání na měkko.

Složení dle ČSN 41 2050	Chemický prvek	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
	Obsah [%]	0,42-0,50	0,50-0,80	0,17-0,37	max 0,25	max 0,30	max 0,30	max 0,040	max 0,040

Tabulka 9 – Složení oceli 12050. [20]

			12 050.3 700°C 24 hod
Mez kluzu	Rp0,2	MPa	281
Mez pevnosti	Rm	MPa	606
Tažnost	A5	%	29
Tvrдость		HV ₁₀	166
Kontrakce	Z	%	50,3
Modul pružnosti v tahu	E	GPa	204

Tabulka 10 – Mechanické vlastnosti oceli 12050.3 [20]



Obrázek 34 – Struktura oceli po žhání na měkko. [20]

4.3 Použité nástroje a upínače

Šroubovité vrták od výrobce OSG o \varnothing 7,8 byl upnutý do hydroupínače SCHUNK s označením 206 406 – 03 \varnothing 20. (viz Obrázek 35)



Obrázek 35 – Šroubovité vrták o \varnothing 7,8 upnutý v hydroupínači.

Jeden šroubovité vrták o \varnothing 7,1 byl upnutý do kleštiny. (viz Obrázek 36)

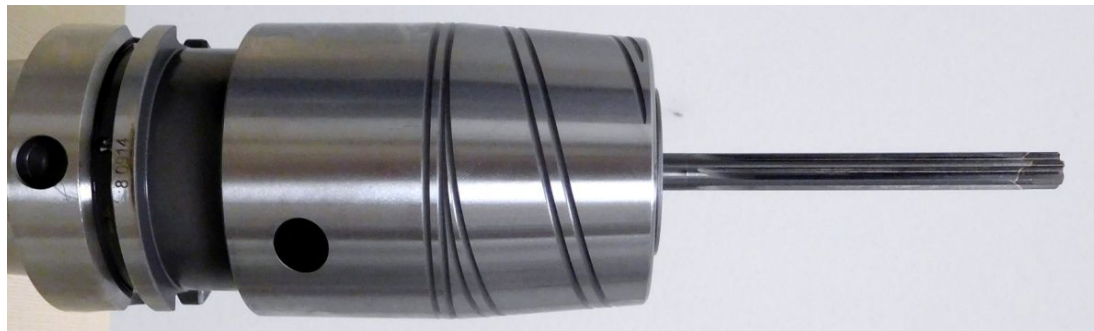


Obrázek 36 – Šroubovité vrták o \varnothing 7,1 upnutý do kleštiny.

Výstružníky byly upnuté v RC seřizovací hlavici od firmy Ham-final s označením 6355-022-001 HSK A63 D11-20 (viz Obrázek 37), jeden cermetový výstružník od firmy Ham-final byl upnut v hydroupínači (viz Obrázek 38).



Obrázek 37 – Výstružník upnutý v RC seřizovací hlavici.



Obrázek 38 – Výstružník upnutý v hydroupínači.

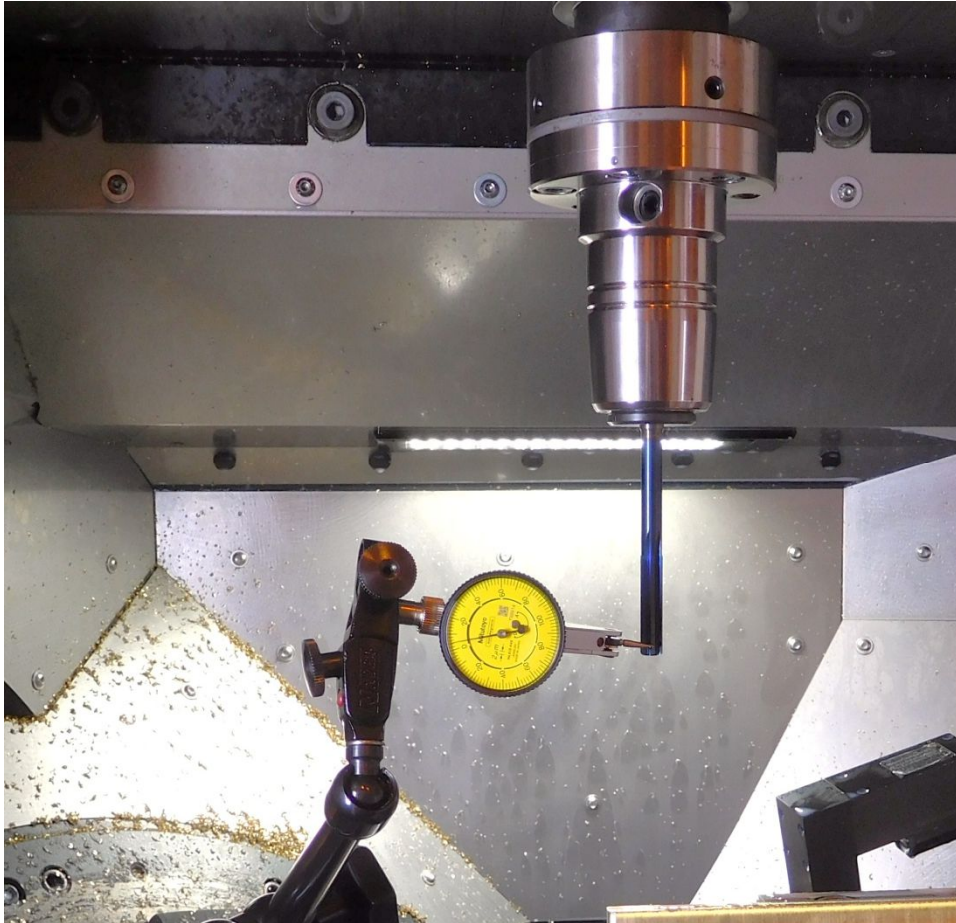
Dále byla použita dvoubřitá čelní válcová fréza o $\varnothing 7$ mm na frézování pilotní díry upnutá v kleštině a srážec od firmy Hofmeister, upnutý v hydroupínači.

4.4 Seřizování výstružníku v RC hlavici

Seřizování výstružníků v RC hlavici probíhalo dle výše popsaného návodu (3.1 Návrh řešení špatné válcovitosti) na multifunkčním obráběcím stroji DMU 40 eVo linear (viz Obrázek 39). Tento stroj byl zvolen z důvodu možnosti plynulého otáčení vřetena, což je nezbytné při potřebě natočení zubu nástroje přesně proti číselníkovému úchytkoměru. Všechny výstružníky byly seřizeny na házení $2 \mu\text{m}$, oproti tomu házení neseřizeného výstružníku upnutého v hydroupínači bylo $12 \mu\text{m}$.



Obrázek 39 – Multifunkční obráběcí stroj DMU 40 eVo linear. [21]

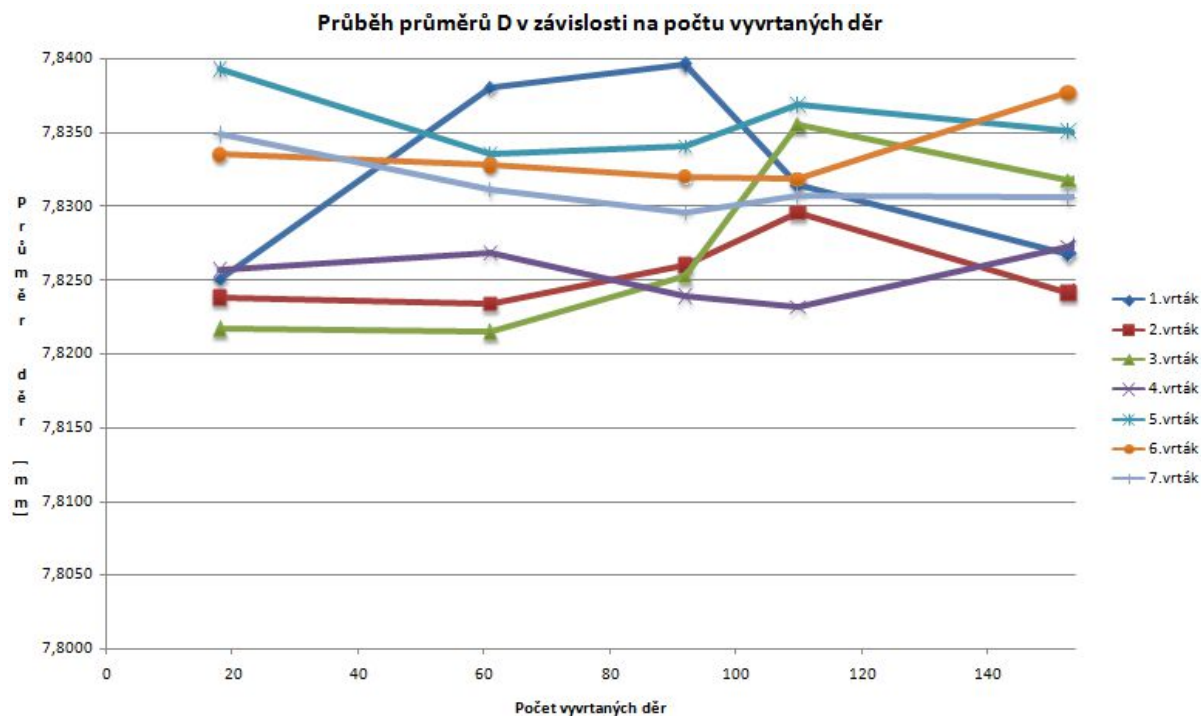


Obrázek 40 – Seřizování výstružníku v RC hlavici.

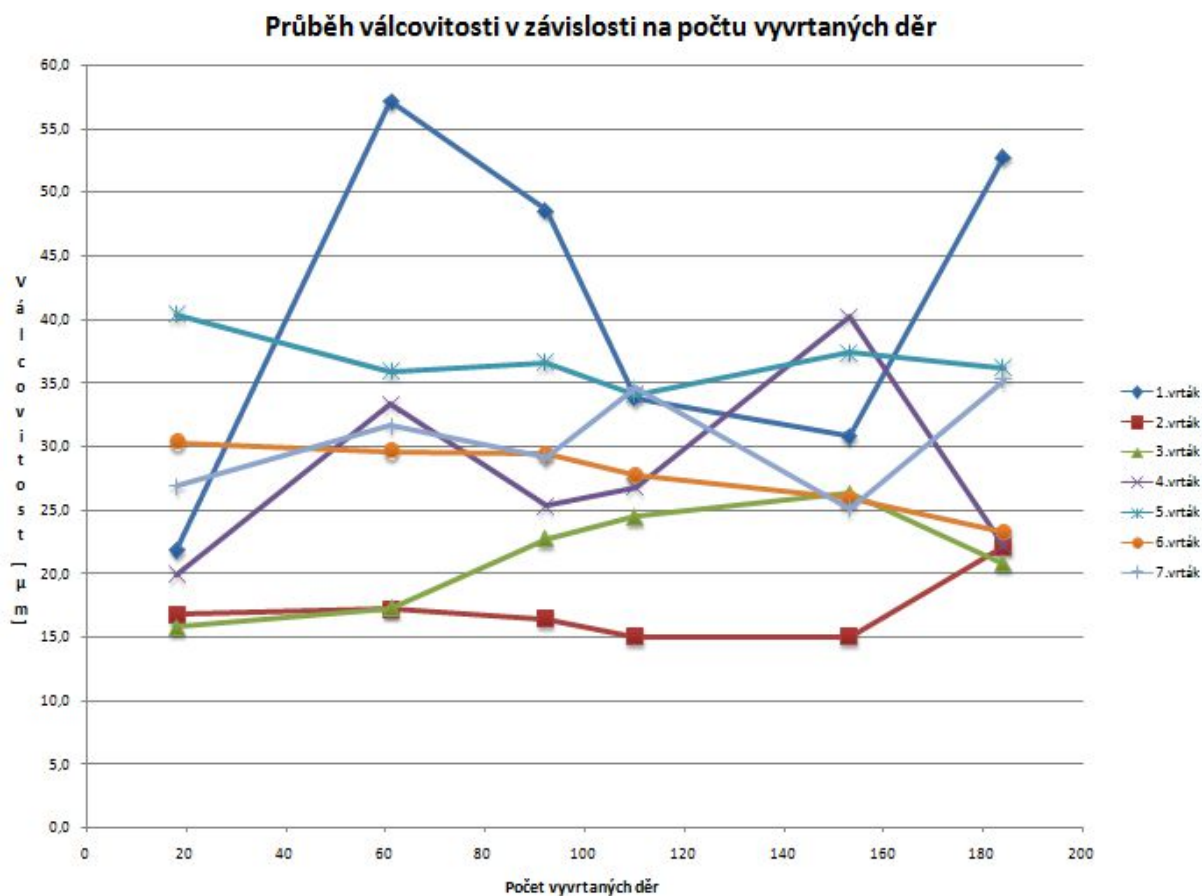
4.5 Naměřené výsledky a vyhodnocení

4.5.1 Vyhodnocení vrtaných děr

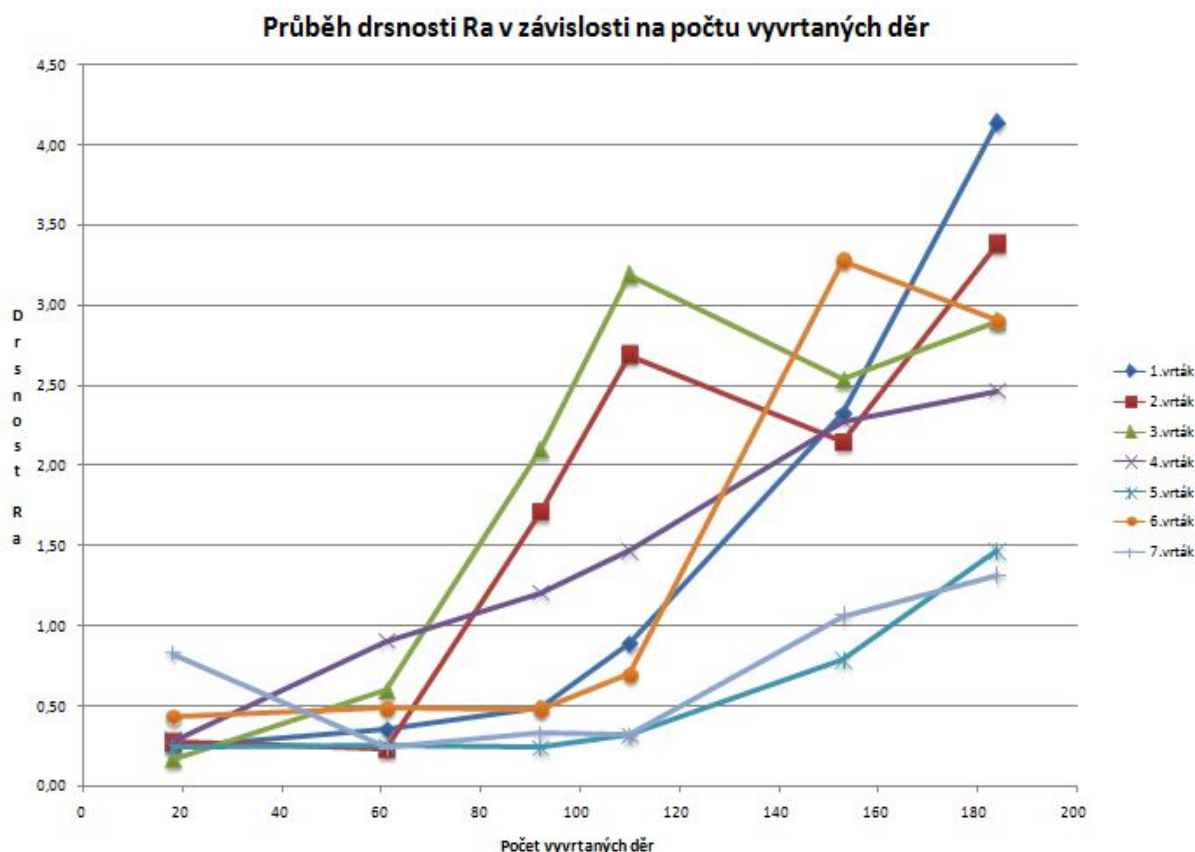
U vrtaných děr se vyhodnocoval průměr D , válcovitost, kolmost, kruhovitost v pěti řezech, drsnost R_a a R_z . Pro názornost je v této kapitole uveden pouze graf zobrazující průběh průměrů, válcovitosti a drsnosti R_a . Naměřená data jsou v příloze. Z grafů průměrů a válcovitosti (Obrázek 41, 42) je vidět, že ačkoliv se jednalo o stále stejné vrtáky při stejných podmínkách, hodnoty velmi kolísají v rámci jednoho vrtáku, ale především jsou velké rozdíly mezi jednotlivými vrtáky. Nejmenší naměřený průměr je 7,8215 mm a největší naměřený průměr je 7,8396 mm, přičemž požadovaný $\varnothing D$ je 7,8 mm.



Obrázek 41 – Průběh průměrů D v závislosti na počtu vyvrtaných děr.



Obrázek 42 – Průběh válcovitosti v závislosti na počtu vyvrtaných děr.



Obrázek 43 – Průběh drsnosti Ra v závislosti na počtu vyvrtaných děr.

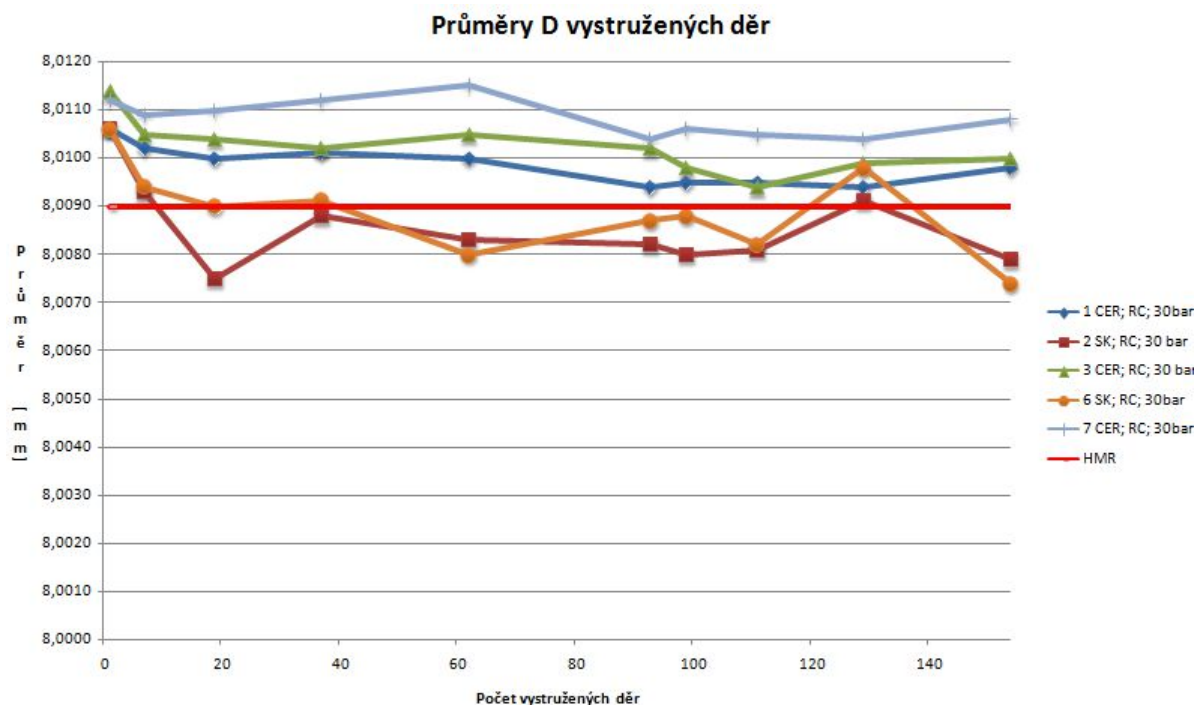
Z grafu drsnosti Ra (Obrázek 43) je vidět, že se drsnost s rostoucí vyvrtanou délkou zhoršuje. Důležitější ovšem bude srovnání drsnosti po vrtávání a po vystružování (viz další kapitola 4.5.3 Zpřesnění vystružených děr).

4.5.2 Vyhodnocení vystružených děr

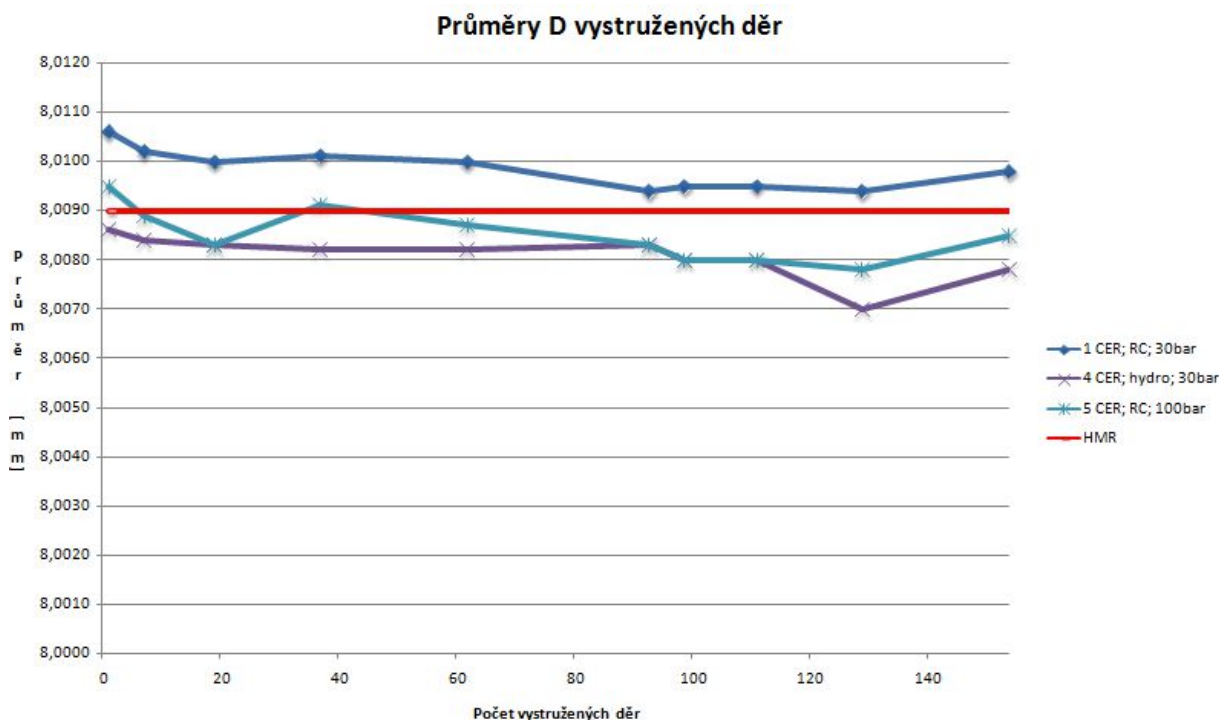
Na úvod je nutné popsat průběh, jakým se měnily proměnné (viz Tabulka 11). U vystružených děr se vyhodnocoval průměr, válcovitost, kolmost, kruhovitost, drsnost Ra a Rz. Tolerance průměru u díry 8H6 je 8,000 – 8,009, předepsaná drsnost je Ra 0,8. V následujícím grafu (Obrázek 44) je průběh průměrů vystružených děr po výstružnicích ze slinutého karbidu a cermetu (při podmínkách: RC hlavice, 30 bar). Dále je zde také vyznačený horní mezní rozměr (HMR). Je vidět, že cermetový nástroj o \varnothing 8,009 překračoval HMR, což je způsobeno tím, že průměr nástroje je na horním mezním rozměru. Ale hodnoty příliš nekolísají i při opakování, problém by se tedy mohl vyřešit přebroušením výstružníku na menší průměr. Na obrázku 45 je opět graf pro průběh průměrů s vlivem upnutí a zvýšeného tlaku. Lze říci, že průběhy jsou opět velmi stabilní, ale posunuté níže, jelikož výstružníky měly menší průměr (\varnothing 8,007 mm, viz Tabulka 11).

Č.	VÝSTRUŽNÍK	UPNUTÍ	TLAK
1	Cermetový (\varnothing 8,009)	RC hlavice	30
2	Slinutý karbid	RC hlavice	30
3	Cermetový (\varnothing 8,009)	RC hlavice	30
4	Cermetový (\varnothing 8,007)	Hydroupínač	30
5	Cermetový (\varnothing 8,007)	RC hlavice	100
6	Slinutý karbid	RC hlavice	30
7	Cermetový (\varnothing 8,009)	RC hlavice	30

Tabulka 11 – Postup změny proměnných během testování.



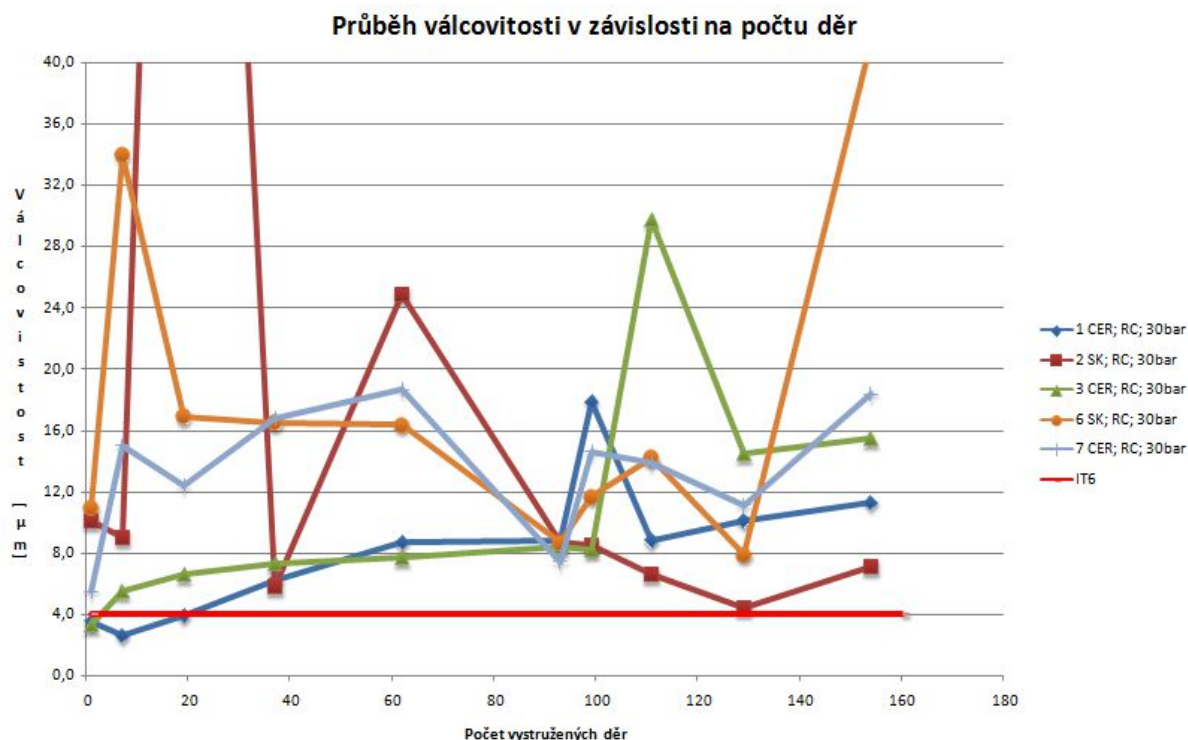
Obrázek 44 – Průběh průměrů D vystružených děr v závislosti na vystružené dráze.



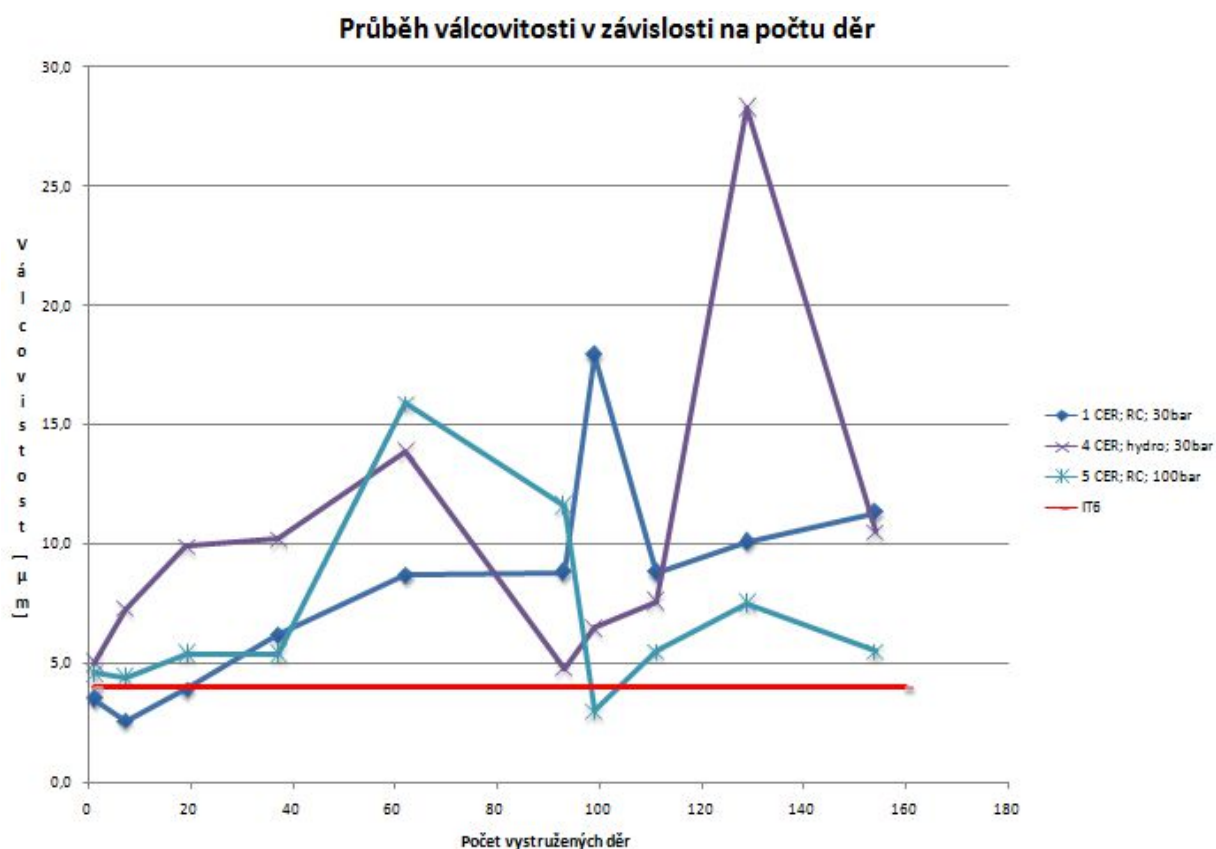
Obrázek 45 - Průběh průměrů D s vlivem tlaku a upínání.

Dále je na Obrázku 46 je průběh válcovitostí opět pro výstružníky ze SK a cermetu při stejných podmínkách, na grafu je zvýrazněná tolerance válcovitosti pro IT6. Podstatně horší válcovitosti dosahoval výstružník ze SK. IT6 překračovali téměř všechny naměřené hodnoty, ale nejvíce se přiblížil cermetový výstružník v RC hlavici. Na dalším Obrázku 47 je graf válcovitosti s vlivem tlaku a upnutí, lze říci, že alespoň v tomto případě nevykazuje

vystružování při tlaku 100 bar výrazné zlepšení. Při upnutí výstružníku do hydroupínače se válcovitost zhoršila.

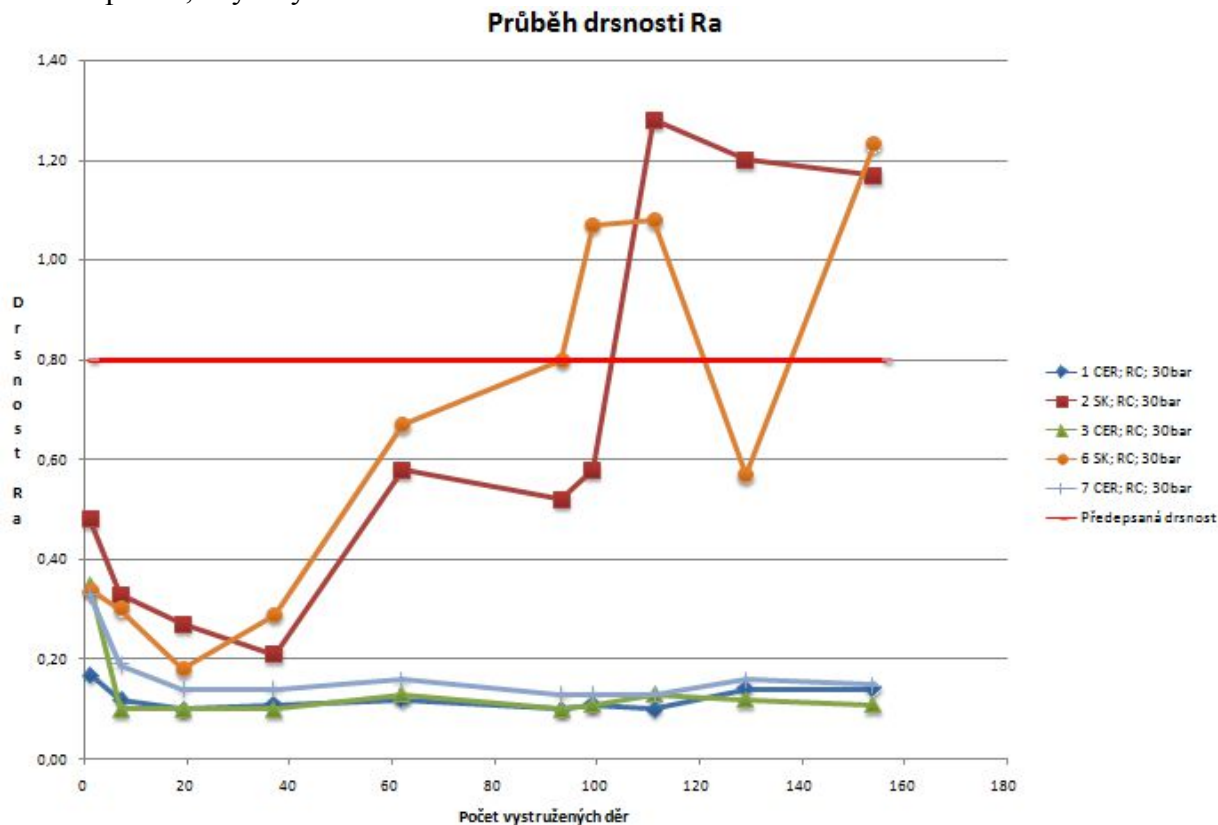


Obrázek 46 – Průběh válcovitosti v závislosti na vystružené délce pro vybrané výstružníky.

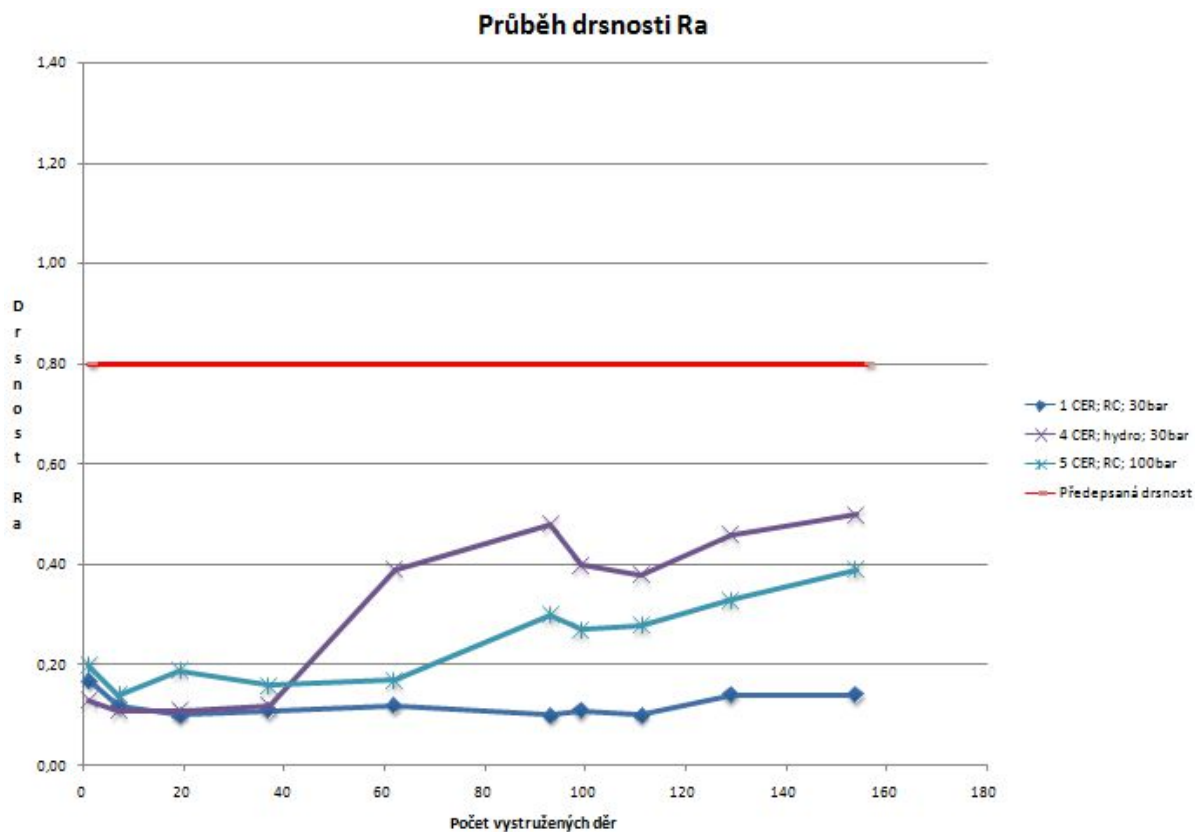


Obrázek 47 – Průběh válcovitosti v závislosti na vystružené délce pro vybrané výstružníky.

Na dalších grafech je vidět průběh drsnosti Ra. Na Obrázku 48 je drsnost pro cermetové a SK výstružníky při stejných podmínkách (upnutí v RC hlavici při tlaku 30 bar). Drsnost po výstružnicích ze SK je výrazně horší a překračuje předepsanou drsnost (Ra 0,8 - viz graf), oproti tomu drsnost po cermetových výstružnicích je velmi stabilní a dosahuje výrazně lepších hodnot. Na dalším grafu (Obrázek 49) je průběh drsnosti s vlivem tlaku a upínání, zvýšený tlak drsnost zhoršil.

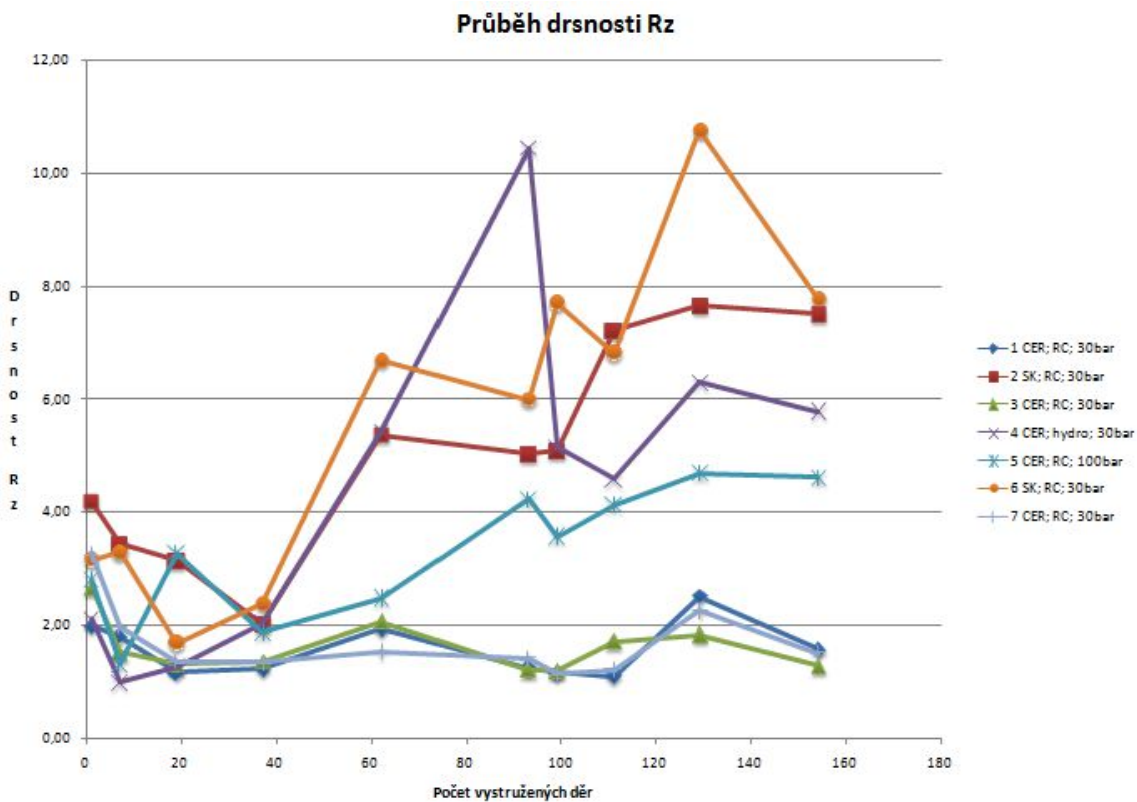


Obrázek 48 – Průběh drsnosti Ra pro vybrané výstružníky.



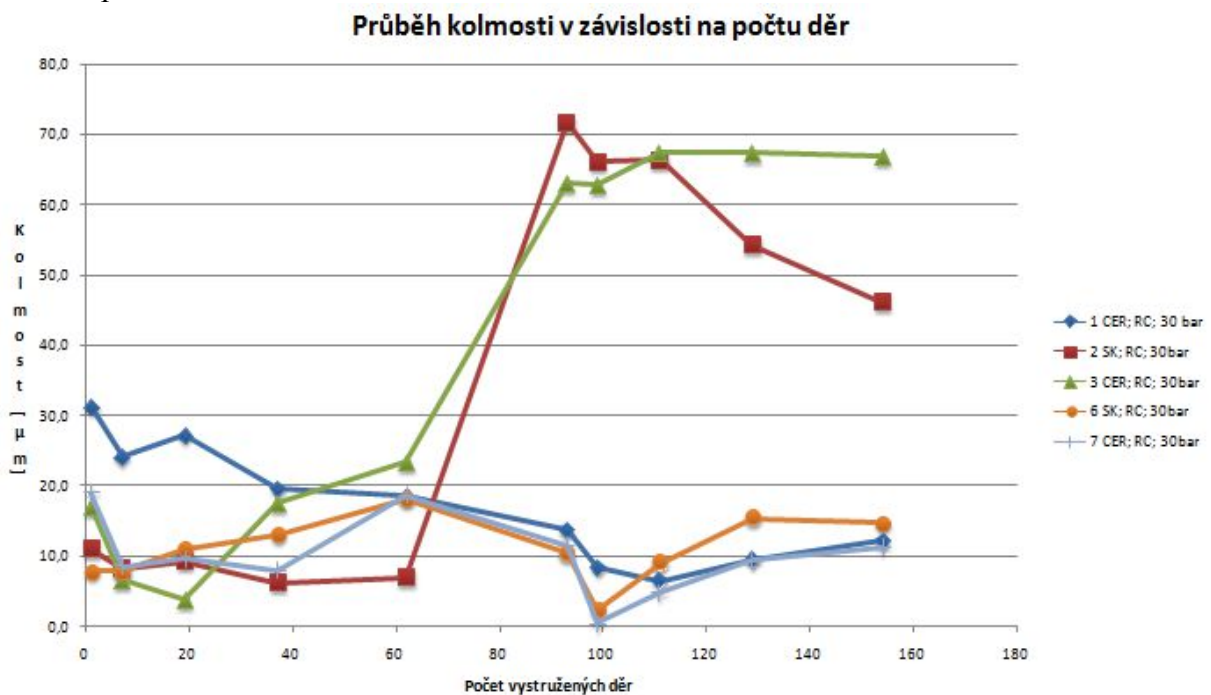
Obrázek 49 – Průběh drsnosti Ra pro vybrané výstružníky.

Obrázek 50 zobrazuje souhrnný graf pro průběh drsnosti Rz, kde jsou průběhy podobné jako u drsnosti Ra.



Obrázek 50 – Průběh drsnosti Rz.

Na dalším grafu (Obrázek 51) je pro zajímavost průběh kolmosti. Z velmi rozdílných hodnot lze usuzovat, že na kolmost nemá materiál výstružníku vliv, ale pravděpodobně je spíše závislá na přesnosti obrobku a přesnosti upnutí. Je zde vidět, jak se kolmost výrazně změnila při změně obrobku



Obrázek 51 – Průběh kolmosti děr.

Z výsledků v této kapitole lze říci, že cermetový výstružník dosahoval nižších hodnot válcovitosti, lepší drsnosti a celkové výsledky tohoto výstružníku byly stabilnější. Na celkové zhodnocení ale ještě bude mít vliv opotřebení výstružníků, technicko-ekonomické zhodnocení a experiment ve firmě Hofmeister.

4.5.3 Zpřesnění vystružených děr

Koeficientem zpřesnění se vyjadřuje stupeň zmenšení tvarové nepřesnosti polotovaru a obrobku (nebo obrobku po dvou operacích). Je dán poměrem nepřesnosti před a po obrábění.

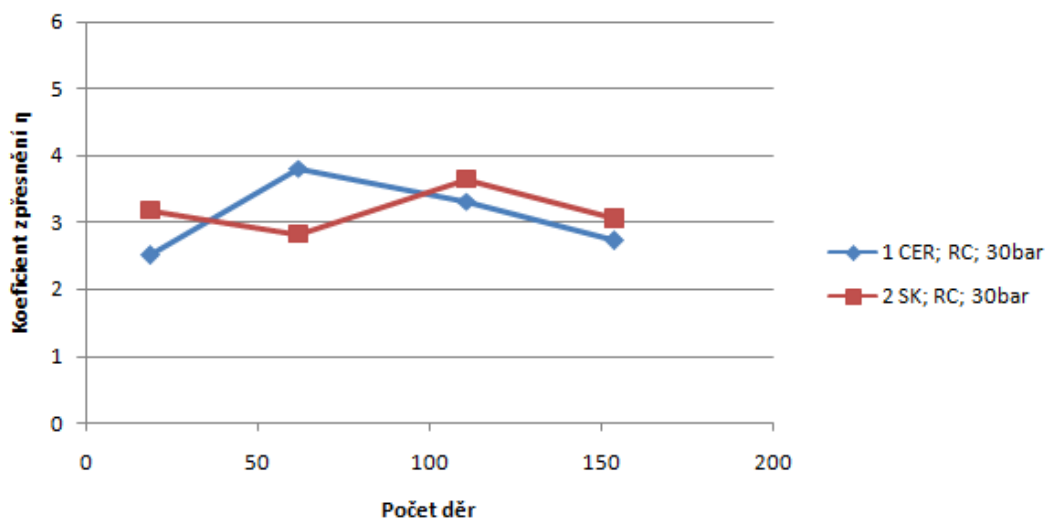
$$\eta = \frac{\Delta h}{\Delta y}$$

Rovnice 1 – Koeficient zpřesnění.

V následujících grafech (Obrázky 52 - 54) je srovnání koeficientu zpřesnění díry po 1. cermetovém výstružníku a 1. SK výstružníku. Koeficient byl ale počítán z hodnot dvou po sobě jdoucích děr, protože nebylo možné jednu díru měřit před vystružováním a po vystružování. Byly proto na každé placce tři díry pouze vrtané.

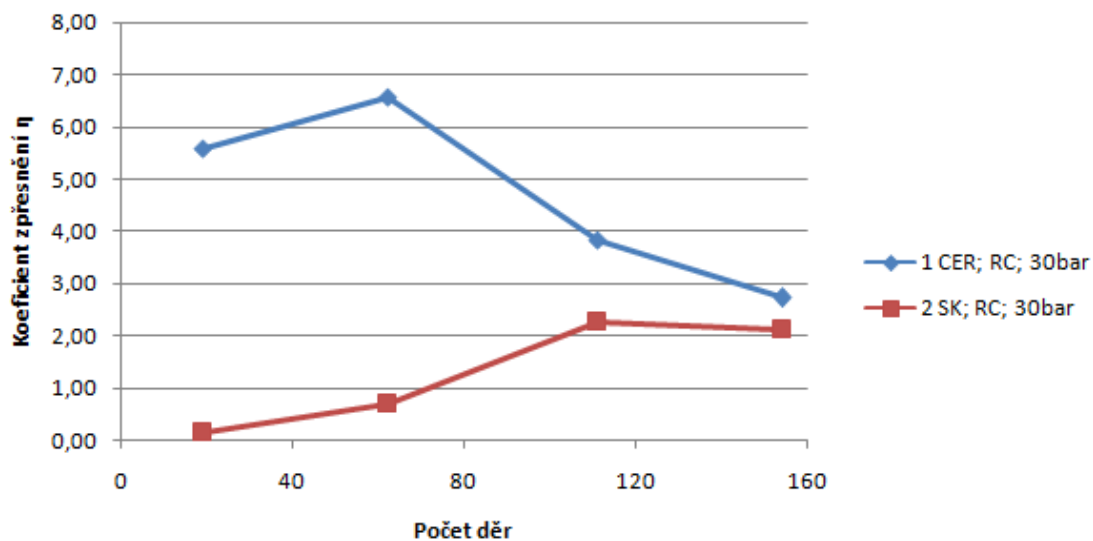
Z grafu koeficientu zpřesnění průměru lze říci, že zpřesnění bylo u obou výstružníků srovnatelné. Z dalších dvou grafů je vidět, že cermetový výstružník dosáhl vyššího zpřesnění. V některých případech vyšla hodnota pro SK výstružník menší než 1, což by znamenalo, že se na příklad válcovitost zhoršila oproti vrtání. Lze to vysvětlit tím, že se neměřila válcovitost před a po vystružování stejné díry, pravděpodobně se tedy nezhoršila, ale ani příliš nezlepšila.

Koeficient zpřesnění průměru η

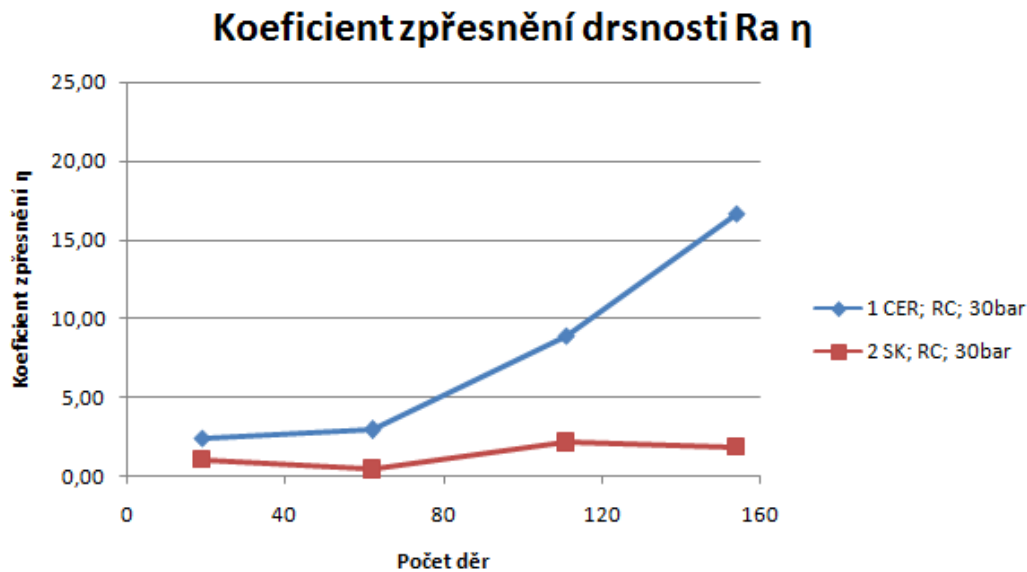


Obrázek 52 – Průběh koeficientu zpřesnění průměru díry.

Koeficient zpřesnění válcovitosti η



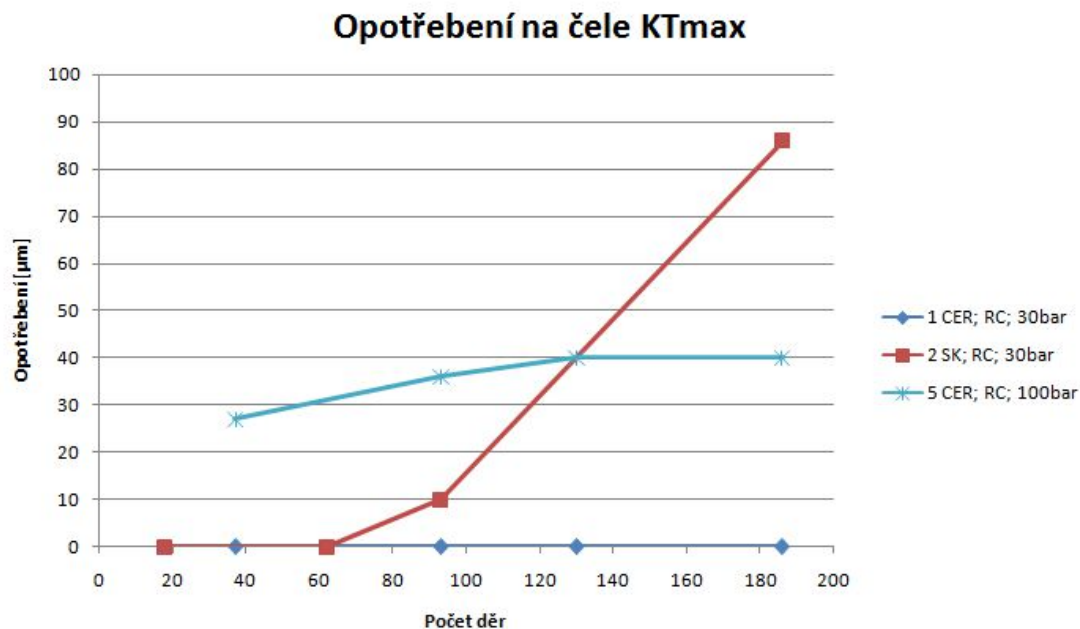
Obrázek 53 – Průběh koeficientu zpřesnění válcovitosti.



Obrázek 54 – Průběh koeficientu zpřesnění drsnosti R_a .

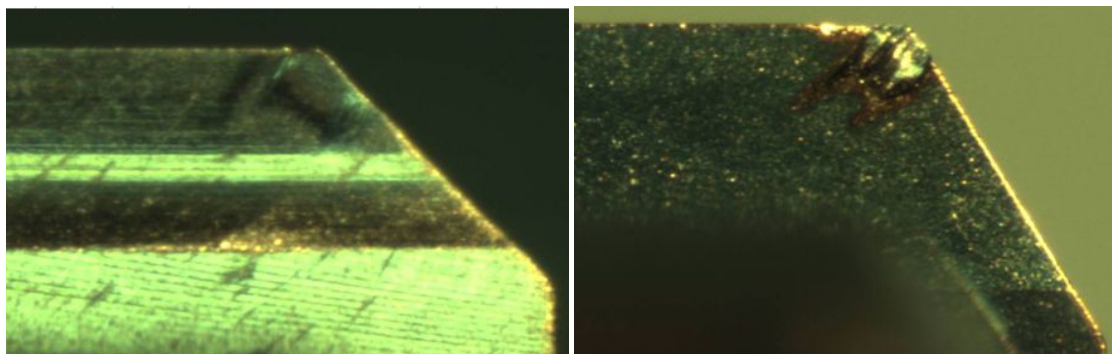
4.5.4 Opotřebení výstružníků

Na mikroskopu bylo měřeno a foceno opotřebení. Kontrolováno bylo maximální opotřebení na čele KT_{max} , hlavním hřbetu $VB_{max_{hl}}$ a vedlejším hřbetu $VB_{max_{vedl}}$. V grafech je vždy srovnání 1. cermetového a 1. SK výstružníku (většinou vykazovaly menší opotřebení) a porovnání s výstružníkem obrábějícím při tlaku procesní kapaliny 100 bar. Dále jsou zde přiloženy fotky opotřebení na jednotlivých plochách. Všechny naměřené hodnoty jsou v příloze. Některé hodnoty jsou vynechané, protože nebyly naměřené z důvodu problémů s mikroskopem.

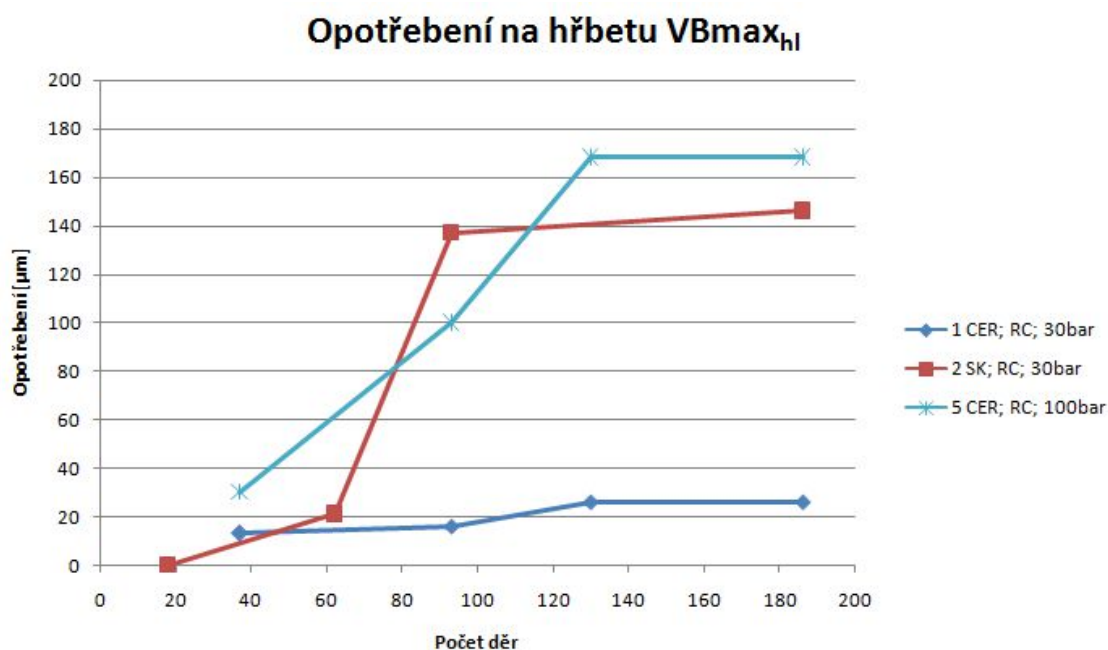


Obrázek 55 – Průběh opotřebení výstružníků na čele KT_{max} .

Z grafu výše (Obrázek 55) je vidět, že opotřebení se zvětšilo při zvýšení tlaku procesní kapaliny. Na cermetovém výstružníku při tlaku 30 bar nebylo měřitelné žádné opotřebení, zatímco na SK výstružníku dosahovalo 86 μm při obrobení 186 děr.

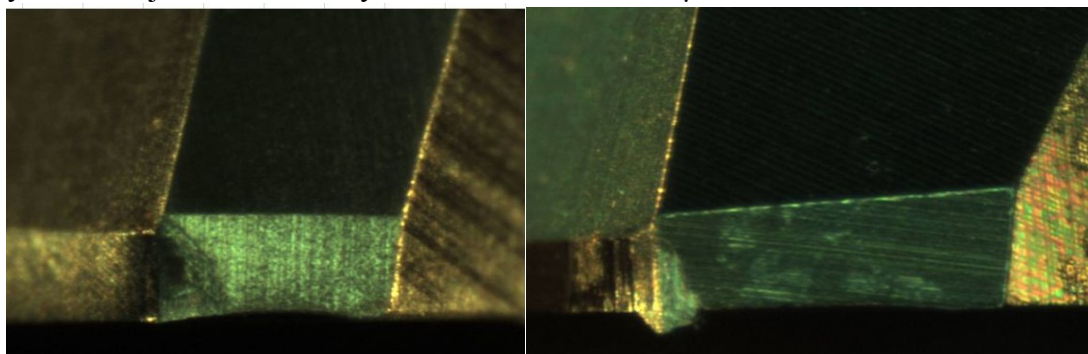


a) b)
Obrázek 56 – Opotřebení na čele po 186 dírách a) cermetový výstr. b) SK výstr.

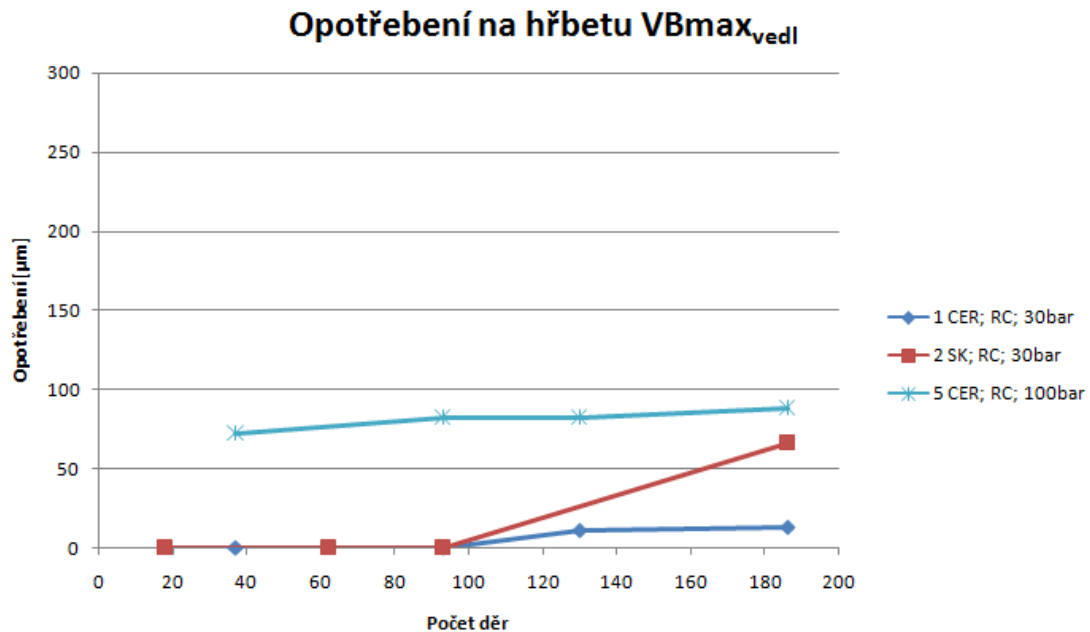


Obrázek 57 – Průběh opotřebení výstružníků na hlavním hřbetu $VB_{max_{hl}}$.

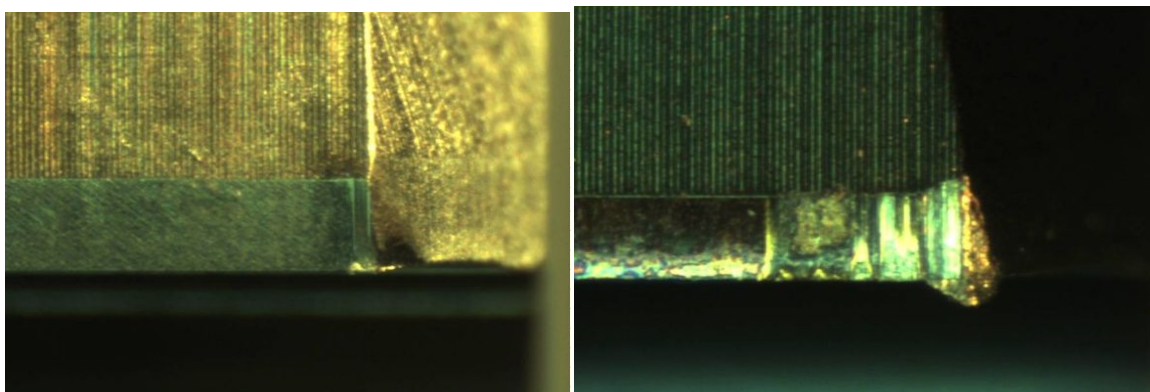
Graf opotřebení na hlavním hřbetu (Obrázek 57) vykazuje podobný průběh jako předchozí opotřebení na čele. U cermetového výstružníku byly měřitelné hodnoty, ale byly nízké ve srovnání s dalšími. Na Obrázku 58 jsou fotky opotřebení po 186 dírách. Na SK výstružníku je dobře viditelný nárůstek o velikosti 71 μm .



a) b)
Obrázek 58 – Opotřebení na hlavním hřbetu po 186 dírách a) cermetový výstr. b) SK výstr.



Obrázek 59 – Průběh opotřebení na vedlejším hřbetu VBmax_{vedl}.



a)

b)

Obrázek 60 – Opotřebení na vedlejším hřbetu po 186 dírách a) cermetový výstr. b) SK výstr.

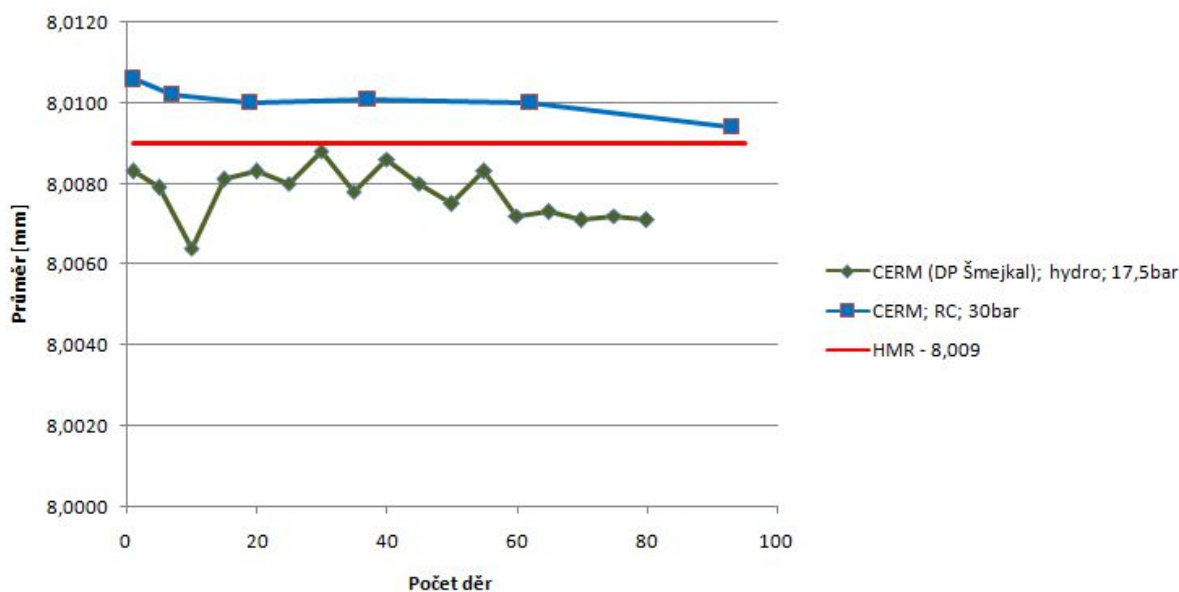
Opotřebení na vedlejším hřbetu má podobný průběh jako opotřebení na hlavním hřbetu. Na Obrázku 60 je opět vidět nárůstek na SK výstružníku o velikosti 66 µm.

Z hodnot opotřebení vychází, stejně jako v předchozí kapitole, lépe výstružník cermetový, ale pouze při tlaku procesní kapaliny 30 bar. Zvýšení tlaku kapaliny zvyšuje i tlak na břit nástroje a pravděpodobně způsobuje nárůst opotřebení.

4.5.5 Srovnání výsledků s výsledky DP Ing. Martina Šmejkal

V této kapitole je důležité především srovnání válcovitostí, protože úkolem bylo najít řešení pro zlepšení válcovitosti. Ale je zde uvedené i srovnání průměrů a drsností Ra. Na úvod je nutné vědět, že srovnání je pouze orientační, protože podmínky experimentů byly naprosto odlišné. Experimenty probíhaly na jiných strojích, výsledky byly vyhodnocovány na jiných zařízeních, jednalo se o jinou tavbu materiálu. V DP Ing. Martina Šmejkal bylo vystružováno méně děr, ale měření bylo provedeno na více dírách. Tlak procesní kapaliny byl v předchozích experimentech 17,5 bar. V prvním grafu (Obrázek 61) jsou srovnávány průměry děr a je zde vyznačen horní mezní rozměr 8,009 mm.

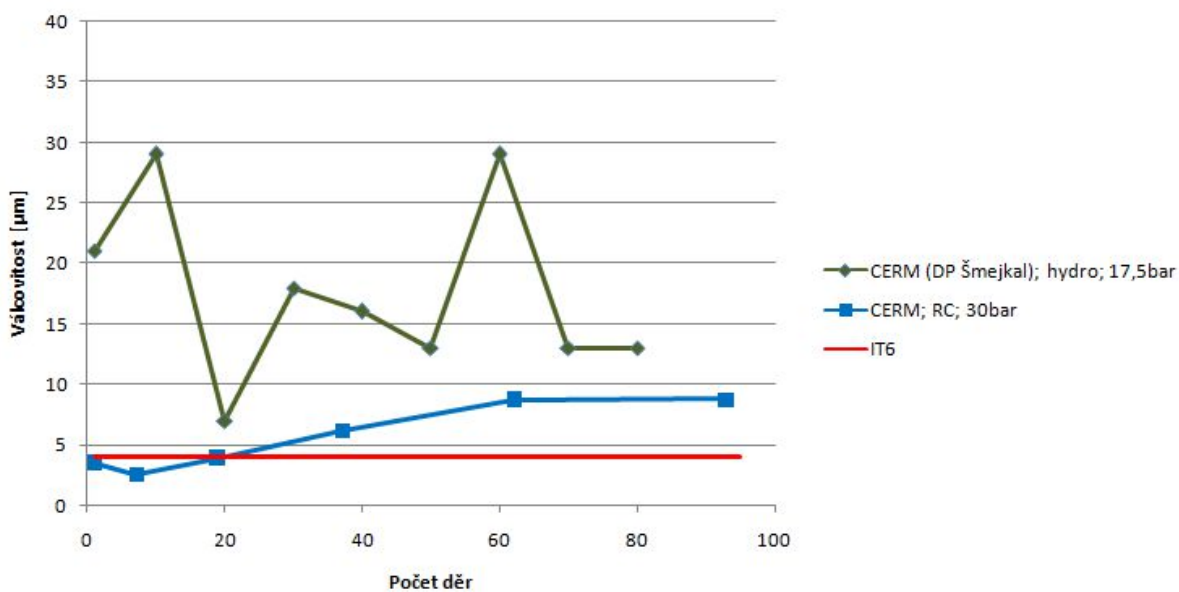
Průběh průměrů D podle počtu vystružených děr



Obrázek 61 – Srovnání průměrů s DP p. Šmejkal.

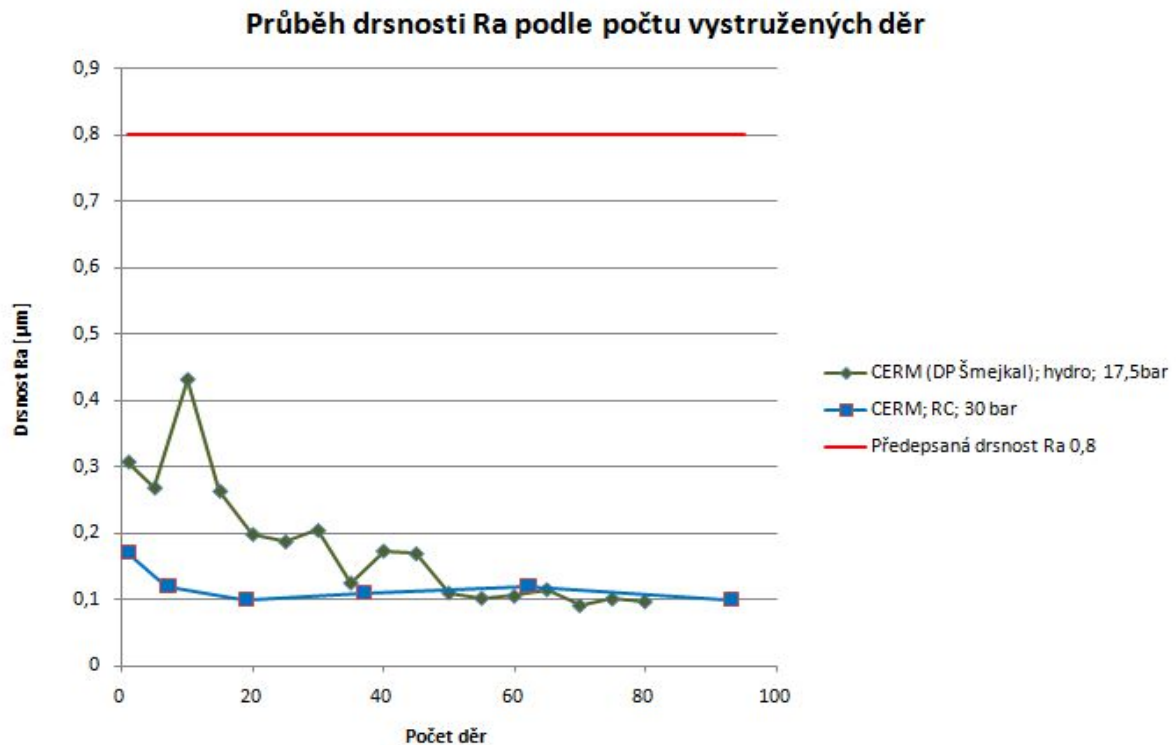
Na dalším grafu (Obrázek 62) je srovnání válcovitostí a tolerance válcovitosti pro IT6. Z tohoto grafu lze říci, že došlo ke zlepšení válcovitosti, ale v toleranci se pohybují pouze první tři hodnoty.

Průběh válcovitosti podle počtu vystružených děr



Obrázek 62 – Srovnání válcovitostí s DP p. Šmejkal.

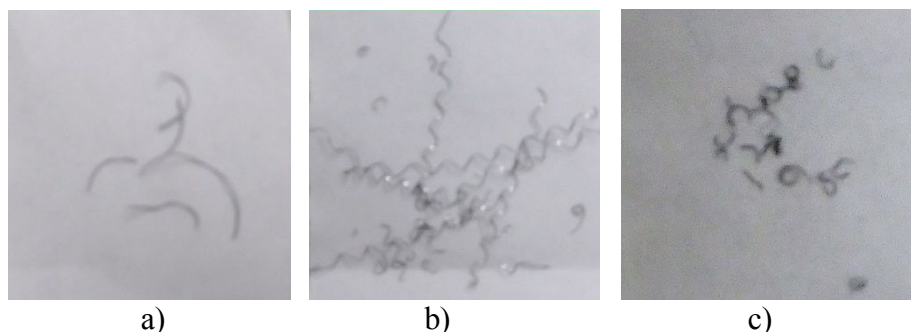
Na třetím grafu (Obrázek 63) je srovnání drsnosti Ra.



Obrázek 63 – Srovnání drsnosti Ra s DP p. Šmejkal.

4.5.6 Zhodnocení třísek po vystružování

Na následujících obrázcích jsou zobrazené třísky, které se tvořily během vystružování. Při použití SK výstružníku firmy Hofmeister vznikaly obloukovité třísky dělené, dle ISO normy spadající do třídy 6.2 (viz Obrázek 64a). Při vystružování cermetovým výstružníkem při tlaku procesní kapaliny 30 bar vznikaly třísky vlnité šroubovitě dlouhé, dle ISO normy klasifikované jako třída 4.1 (viz Obrázek 64b). Při zvýšení tlaku procesní kapaliny na 100 bar se změnila tříska na obloukovitou třísku dělenou, spadající do třídy 6.2 (viz Obrázek 64c). Pro obrábění jsou vhodné třísky třídy 6.2 a naopak třída 4.1 je nevhodná, tvrzení lze podložit i tím, že třísky vlnité šroubovitě dlouhé zůstávaly napěchované v díře (viz Obrázek 65).



Obrázek 64 – Druhy třísek vznikajících při a) SK výstružníku a 30 bar b) cermetovém výstružníku a 30 bar c) cermetovém výstružníku a 100 bar.



Obrázek 65 – Vlnité šroubovitě třísky zůstávající napěchované v díře.

4.5.7 Matematicko–statistická analýza výsledků

Matematicko-statistická analýza je provedena pro výsledky týkající se cermetového výstružníku v RC hlavici při tlaku procesní kapaliny 30 bar. Tyto výsledky představují pouze výběrový soubor. Jelikož neznáme a nemůžeme znát základní soubor, vyhodnocujeme z výběrového souboru charakteristiky, které ho popisují. Těmito charakteristikami jsou střední hodnota, rozptyl, směrodatná odchylka, variační koeficient, korelační koeficient a interval spolehlivosti. U analýzy průměrů D je určena také funkce, která průběh průměrů (x) v závislosti na počtu vystružených děr (y) popisuje. Průběh je nejlépe popsán logaritmickou funkcí:

$$y = a * \ln(x) + b$$

Rovnice 2 – logaritmická funkce popisující průběh průměrů v závislosti na počtu děr.

Analýza průměrů D

	1. výstružník	2. výstružník	3. výstružník
$x_{\text{prům.}}$	8,00990	8,01020	8,01090
s_x^2	0,0000002	0,0000003	0,0000001
s_x	0,00040	0,00054	0,00038
c_x	0,00005	0,00007	0,00005
r_{xy}	-0,80652	-0,74637	-0,62518
Interval spolehlivosti (95%)	8,00962 – 8,01008	8,00992 - 0,01054	8,01063 – 8,01107
Popisující funkce	$y = -867510,11 * \ln(x) + 1805075,22$	$y = -600736,621 * \ln(x) + 1250035,58$	$y = -713194,282 * \ln(x) + 1484083,631$

Tabulka 12 – Matematicko-statistická analýza průměrů D .

Analýza drsnosti Ra

	1. výstružník	2. výstružník	3. výstružník
$x_{\text{prům.}}$	0,12100	0,13500	0,16600
s_x^2	0,00052	0,00585	0,00367
s_x	0,02283	0,07649	0,06059
c_x	0,18866	0,56656	0,36500
r_{xy}	-0,07435	-0,38796	-0,53310
Interval spolehlivosti (95%)	0,10792 – 0,13408	0,09117 – 0,17883	0,13128 – 0,20072

Tabulka 13 – Matematicko-statistická analýza drsnosti Ra.

Analýza válcovitosti

	1. výstružník	2. výstružník	3. výstružník
$x_{\text{prům.}}$	8,18000	10,68000	13,38000
s_x^2	20,46844	59,22178	19,28844
s_x	4,52421	7,69557	4,39186
c_x	0,55308	0,72056	0,32824
r_{xy}	0,75348	0,66247	0,25509
Interval spolehlivosti (95%)	5,58761 – 10,77239	6,27040 – 15,08960	10,86344 – 15,89656

Tabulka 14 – Matematicko-statistická analýza válcovitosti.

5 REÁLNÝ EXPERIMENT VE FIRMĚ HORMEISTER s.r.o.

5.1 Preexperiment v halové laboratoři

Pro experimenty ve firmě Hofmeister zůstal cermetový výstružník o \varnothing 8,0085 mm. Jak je vidět z grafu na Obrázku 44 (Obrázek 44 – Průběh průměrů D vystružených děr v závislosti na vystružené dráze.) při průměru výstružníku \varnothing 8,009 mm (tedy pouze o 0,0005 mm větší) překračoval průměr horní mezní rozměr. Dalo se tedy očekávat, že tímto nástrojem bude překračován také, což je pro výrobu VDI držáků nepřijatelné. Pro vyřešení problému byl nástroj poslán zpět do firmy Ham-final na přebroušení. Firma poté zaslala přebroušený výstružník o \varnothing 8,006 mm a ještě jeden o \varnothing 8,007 mm. Pro experimenty byl zvolen výstružník o \varnothing 8,007 mm, jelikož byl tento průměr vyzkoušen při předchozích experimentech. Dalším problémem, který se řešil, byly třísky zůstávající v díře. Proto byl proveden krátký experiment, kdy se měnila posuvová rychlost ve snaze změnit třísku tak, aby nezůstávala v díře. Výstružníkem o \varnothing 8,007 mm byly vystruženy dvě díry stejným postupem jako v předchozích experimentech (Tabulka 7 – Stávající technologický postup s jiným typem výstružníku. [4]).

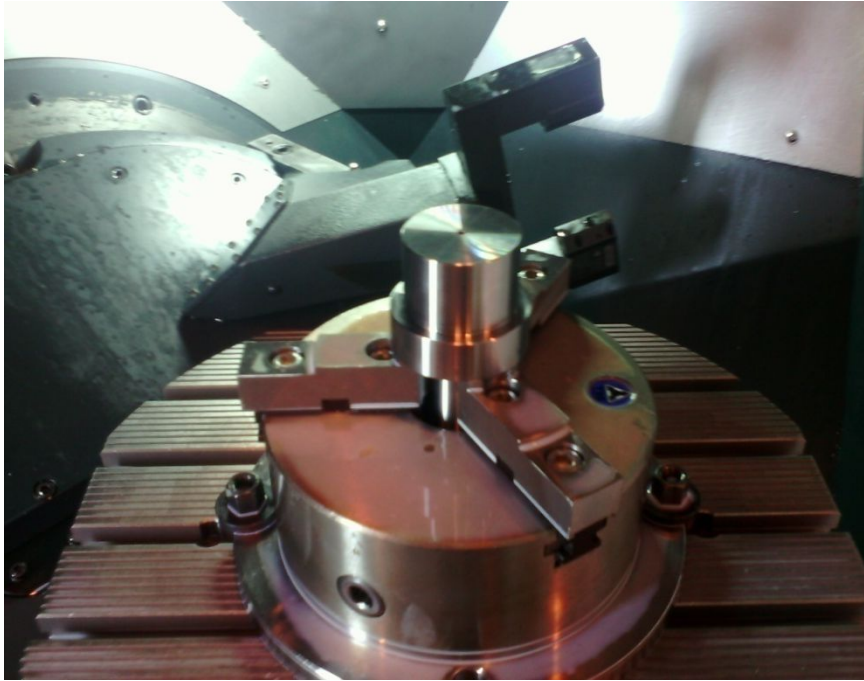
Pro experiment byl dodán polotovár z oceli 12050.3 z firmy Hofmeister, aby byla zajištěna stejná tavba materiálu, jakou používají momentálně ve firmě. Dále byl pro tento experiment zvolen obráběcí stroj DMU 40 eVo linear, což je multifunkční obráběcí centrum se svislou osou rotace. Jedná se tedy o stroj se stejnou koncepcí, jako používají ve výše uvedené firmě. Z tohoto důvodu byl stroj zvolen. Mimo jiné byl na tomto stroji také seřizován výstružník v RC hlavici (viz Obrázek 39 – Multifunkční obráběcí stroj DMU 40 eVo linear. [21]). Jak bylo napsáno výše, byl měněn také posuv při vystružování (viz Tabulka 15). Obrobek byl na stroji upnut v tříčelistovém sklíčidle (viz Obrázek 66). Na obou dírách byl následně změřen průměr na vzduchovém měřicím přístroji (Obrázek 31 – Vzduchový měřicí přístroj Mahr – Millipneu.) a drsnost Ra a Rz na přenosném drsnoměru Mahr – Marsurf M300. Výsledky z měření jsou zaznamenány v Tabulce 16.

Popis změn řezných podmínek při vystružování			
	Původní podmínky	1. díra	2. díra
v_c [m/min]	140	140	140
n [ot ⁻¹]	5570	5570	5570
f_{ot} [mm]	0,3	0,2	0,5
v_f [mm/min]	1671	1114	2785

Tabulka 15 – Popis změn řezných podmínek.

Výsledné naměřené hodnoty dvou děr						
	Průměr horní		Průměr dolní		Ra	Rz
	max	min	max	min		
1. díra	8,0085	8,0082	8,0082	8,0080	0,49	3,125
2. díra	8,0085	8,0083	8,0088	8,0083	0,3	2,687

Tabulka 16 – Výsledné naměřené hodnoty dvou děr.



Obrázek 66 – Upnutí obrobku na stroji DMU 40 eVo linear v tříčelist'ovém sklíčidle.

Ačkoliv se změnila posuvy, zůstávaly třísky napěchované v díře (viz Obrázek 67). Pro vyřešení by se musela změnit geometrie výstružníku. I přes tento problém ale následoval reálný experiment ve firmě Hofmeister při výrobě VDI držáků.



Obrázek 67 – Napěchované třísky.

5.2 Experiment ve firmě Hofmeister

Ve firmě Hofmeister jsou VDI držáky vyráběny na obráběcím vertikálním centru AXA-DBZ a obrobky jsou upnuty po dvou kusech pomocí prizma (viz Obrázek 68). Pro experiment mělo být využito upnutí výstružníku do RC seřizovací hlavice, bohužel Firma nemá na obráběcím centru vhodný upínací kužel, proto byl výstružník upnut do hydroplastického upínače Schunk. Pro výstružník byly nastaveny stejné podmínky, jako při prvním experimentu (viz Tabulka 17). Pro experiment byly k dispozici dva výstružníky ($\varnothing 8,007$ a $\varnothing 8,006$ mm). U každé díry bylo kontrolování házení pomocí

číselníkového úchylkoměru, průměr pomocí vzduchového měřicího přístroje a u třech děr byla měřena drsnost Ra.



Obrázek 68 – Upnutí obrobku ve firmě Hofmeister.

Řezné podmínky (vystružování) během experimentu

v_c [m/min]	n [ot ⁻¹]	f_{ot} [mm]	v_f [mm/min]
140	5570	0,3	1670
Předepsaná hloubka vrtání [mm]	Skutečná hloubka vrtání [mm]	Předepsaná hloubka vystružování [mm]	Skutečná hloubka vystružování [mm]
55	52,1	51	51,4

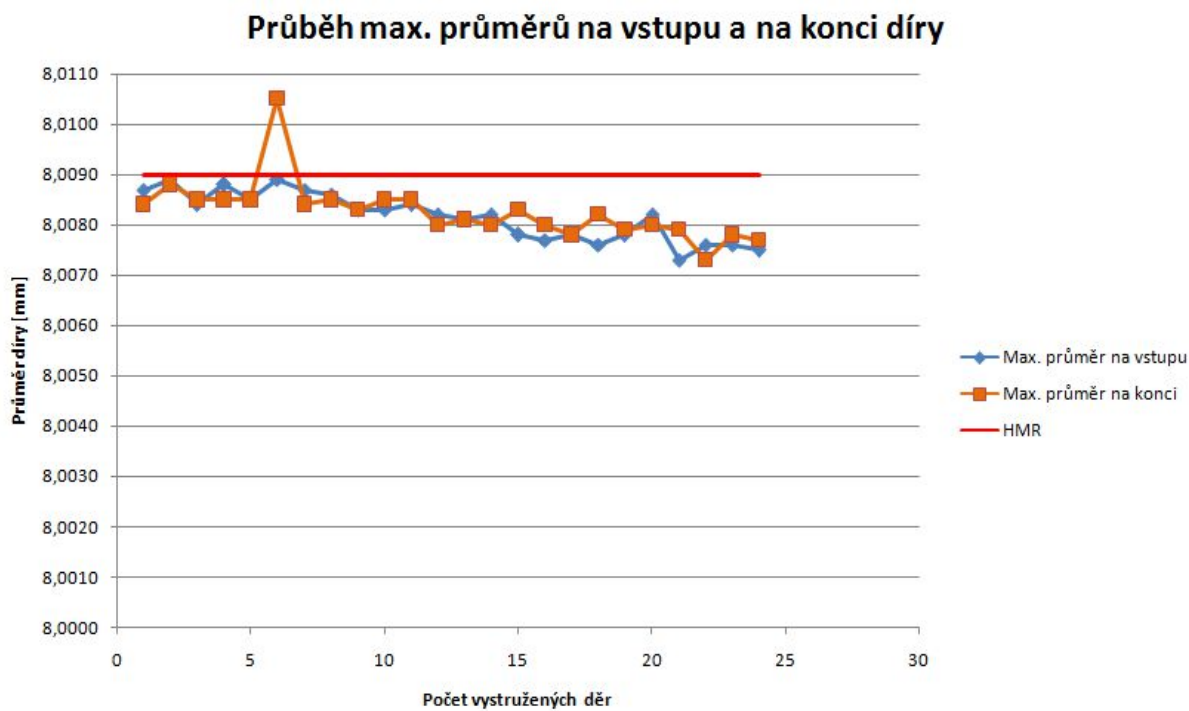
Tabulka 17 – Podmínky reálného experimentu.

5.3 Výsledky experimentu

Prvním výstružníkem bylo vyrobeno 24 děr, na 25. díře se výstružník ukroutil (viz Obrázek 69). Druhý výstružník se ukroutil hned na první díře. Na následujícím grafu (Obrázek 70) je průběh maximálních průměrů na hotových 24 dířích, Všechny hodnoty kromě jedné jsou v toleranci 8,000 – 8,009 mm. V Tabulce 18 jsou drsnosti třech měřených děr. Dále jsou rozebrány možné příčiny, které mohly způsobit ukroucení výstružníku.



Obrázek 69 – Ukroucený cirkonový výstružník.

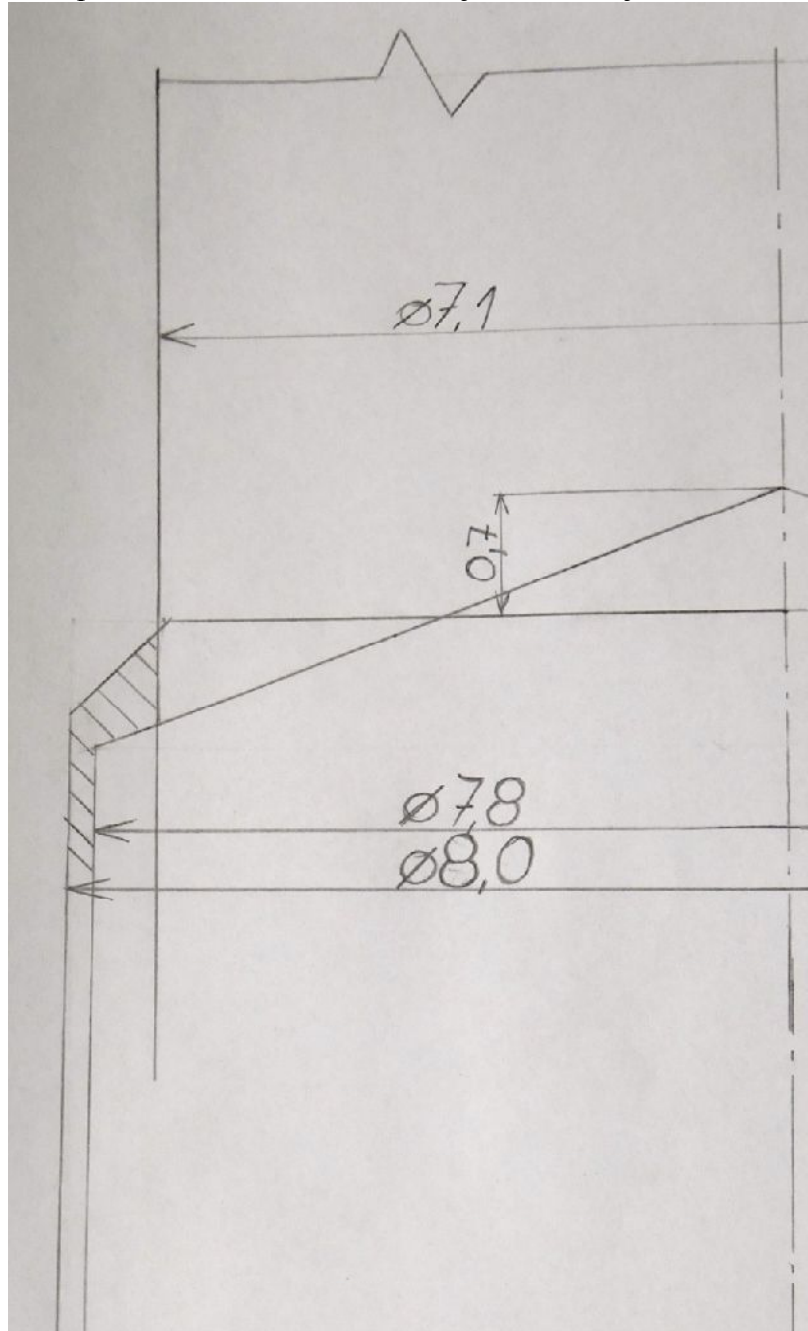


Obrázek 70 – Průběh maximálních průměrů děr na vstupu a na konci.

Poř. číslo díry	Drsnost Ra [μm]
1	0,60
10	0,30
20	0,19

Tabulka 18 – Drsnost Ra třech měřených děr.

Během experimentu byl nastaven přejezd (délka) vrtání o pouhých 0,7 mm přes dráhu výstružníku (viz Tabulka 17 – Podmínky reálného experimentu.). Pokud se podíváme na náčrty vrtáků a výstružníku v koncových polohách (viz Obrázek 71), vidíme plochu, kterou měl výstružník obrábět (vyšrafovaná plocha). V kombinaci s pýchováním třísky před výstružníkem pravděpodobně narostl tlak na nástroj, až došlo k jeho ukroucení.



Obrázek 71 – Vrtáky a výstružník v koncových polohách.

6 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro zhodnocení experimentu je nutné přihlídnout také k technicko-ekonomickému zhodnocení, jelikož výrobce se snaží produkovat své výrobky s co nejnižšími náklady. Varianty se liší ve výrobním čase a nákladech na nástroje, které jsou rozebrány dále. Pro výpočet nákladů na výrobu jedné díry je potřeba znát čas, náklady na nástroje a hodinovou sazbu stroje. Z hlediska nástrojů se varianty liší pouze ve výstružnicích, z tohoto důvodu je v nákladech počítána pouze cena výstružníku, protože v tomto bodě je důležitý především rozdíl mezi jednotlivými variantami. Je známá hodinová sazba stroje použitého při experimentech v halových laboratořích, proto se nejedná o skutečné náklady firmy při výrobě VDI držáku.

Náklady při použití SK výstružníku:

- Cena výstružníku: 2150 Kč
- Hodinová sazba stroje: 1400 Kč
- Doba výroby 1 díry: 2,348 min (0,0391 hod)
- Počet děr 1 výstružníkem: 90 děr

Při přibližně 90 dírách začne výstružník obrábět díry s drsností Ra horší než 0,8, tedy horší než je předepsaná drsnost. Počet děr 90 byl určen pomocí lineární regrese. Průběhu drsnosti Ra nejvíce odpovídá funkce:

$$y = 135,3971 * x - 17,8236$$

Rovnice 3 – Funkce popisující průběh drsnosti pro SK výstružník.

Náklady na 1 díru:

$$N = 2150/90 + 1400*0,0391 = \underline{78,63 \text{ Kč}}$$

Rovnice 4 – Náklady na výrobu 1 díry SK výstružníkem.

Náklady při použití cermetového výstružníku:

- Cena výstružníku: 4950 Kč
- Hodinová sazba stroje: 1400 Kč
- Doba výroby 1 díry: 2,365 min (0,0394 hod)
- Počet děr 1 výstružníkem: 180 děr

Doba výroby je změněna vyšší rychlostí, která zkracuje strojní čas, ale také je dána dobou nutnou pro seřízení házení výstružníku. Zde je uvažována doba pro seřízení 5 min, je ale velmi závislá na zručnosti a zapracování pracovníka, může se tedy snížit. Počet děr obrobených jedním výstružníkem je uvažován 180, jelikož celou dobu při obrábění dvou placek (180 děr) dosahoval výstružník stabilních výsledků, ale nevíme, jak by se choval dále.

Náklady na 1 díru:

$$N = 4950/180 + 1400*0,0394 = \underline{82,66 \text{ Kč}}$$

Rovnice 5 – Náklady na výrobu 1 díry cermetovým výstružníkem.

Rozdíl nákladů na výrobu jedné díry je 4,03 Kč, nevíme ale, zda by cermetový výstružník neobrobil více děr, kdyby experiment pokračoval. Tím by se mohly náklady vyrovnat. Dále je nutné zvážit funkční hledisko, jelikož díry vystružené cermetovým výstružníkem vykazovaly lepší drsnost, válcovitost a stabilnější průměry.

7 ZÁVĚR

Práce se zabývala vystružováním vysoce přesných děr na VDI držáku. Konkrétně se jednalo o díru 8H6. První cíl práce byl teoretický: popsat vliv cermetu na kvalitu, produktivitu a spolehlivost vystružování v porovnání se slinutým karbidem a rychlořeznou ocelí. Cíl byl splněn popsáním vlastností výše uvedených materiálů a to především vlastností důležitých pro vystružování, jejich srovnáním, a dále popsáním případů praktického využití cermetu při vystružování.

Dalším cílem bylo navrhnout a otestovat technologii pro zefektivnění vystružování díry 8H6 a zlepšení jejích vlastností. Největším problémem při výrobě této díry na VDI držáku ve firmě Hofmeister byla velmi různorodá trvanlivost výstružníku ze SK a špatné hodnoty drsnosti Ra. Tyto problémy byly vyřešeny nasazením cermetového výstružníku místo SK výstružníku, objevil se ale problém se špatnou válcovitostí díry a s usmýknutou cermetovou hlavičkou výstružníku, výše zmíněné ale bylo řešeno v diplomové práci Ing. Martina Šmejkal. V této práci byl řešen problém s válcovitostí a usmýknutou cermetovou hlavičkou. V experimentech byl proto využit cermetový výstružník od firmy Ham-final s upravenou pájenou plochou, která má zvýšit pevnost pájené plochy ve smyku. Na pěti výstružnicích použitých při experimentech nedošlo k usmýknutí, tedy tento částečný cíl byl splněn.

Pro vyřešení špatné válcovitosti byly výstružníky upnuté do RC seřizovací hlavičky, která umožňuje nastavit házení nástroje. Tím došlo ke zlepšení válcovitosti, ačkoliv válcovitost většiny děr stále nedosahovala na předepsané IT6. Otázkou je, zda je opravdu nutné, aby válcovitost díry byla maximálně 4 μm . Ve firmě kontrolují z geometrických tolerancí pouze házení díry, u kterého je předepsáno max 0,05 mm. Další hlediska dopadla velmi dobře, parametry díry byly stabilní, cermetový výstružník vykazoval menší opotřebení než SK výstružník. Nevýhodou bylo pěchování třísky ve vystružené díře.

Posledním cílem práce bylo otestovat navrženou technologii přímo ve firmě Hofmeister, kde je VDI držák vyráběn. Firma měla o testování zájem, bylo ale nutné počkat, až dostanou zakázku na VDI držáky. Bohužel testování neproběhlo příliš úspěšně, jelikož se první výstružník ukroutil již na 25. díře a druhý výstružník se ukroutil hned na 1. díře. Nicméně cíl byl splněn, ačkoliv ne s uspokojivým výsledkem.

Celkové zhodnocení technologií:

	SK výstružník	Cermetový výstružník
Průměr		
Drsnost Ra		
Válcovitost		
Ekonomické hledisko		

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SOVA, F. Technologie obrábění a montáže. Plzeň, ZČU 2001.
- [2] AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění – Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela, 1. vyd. Praha: Scientia, s.r.o, 1997. Přel. z: Modern metal cutting – A Practical Hand Book.
- [3] HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Praha, MM publishing, s.r.o. 2008. 240 s. ISBN 978-80-254—2250-2
- [4] ŠMEJKAL, M. Produktivní vystružování moderními výstružníky II. Plzeň 2014, Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
- [5] FIALA, S., KOUŘIL, K., ŘEHOŘ, J., 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.
- [6] TECHNIK, R. Vystružovací nástroje s břity z cermetu a PVD povlakem: Diplomová práce. Brno, VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 98s.
- [7] CHILDS, Thomas et al. Metal machining: theory and applications. New York: Elsevier, 2000. Viii, 408 s. ISBN 0-340-69159-X.
- [8] KOČMAN, K. Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [9] KLOCKE, F. Manufacturing processes. 1, Cutting. Berlin: Springer, ©2011. 504 s. RWTH edition. ISBN 978-3-642-11978-1.
- [15] MATOUŠ, P. Technická ilustrace a animace nástrojového systému HAM-FINAL RC pro praktické použití. Plzeň 2014, Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM:
- [10] FIALA, S., HLADÍK, P. Cermetové výstružníky. MM Průmyslové spektrum [online]. 14.4.2004, [cit. 2016-2-9]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/cermetove-vystruzniky.html>
- [11] KOUŘIL, K., VANĚK, V. Dokončovací operace vystružování. MM Průmyslové spektrum [online]. 14.6.2006, [cit. 2016-2-9]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/dokoncovaci-operace-vystruzovani.html>
- [12] PLÁNIČKA, F. Výstružníky ze špičkových materiálů zvyšují produktivitu. MM Průmyslové spektrum [online]. 25.4.2007, [cit. 2016-2-9]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vystruzniky-ze-spickovych-materialu-zvysuji-produktivitu.html>
- [13] DVOŘÁK, L. Nástroje pro vystružování otvorů. MM Průmyslové spektrum [online]. 11.6.2008, [cit. 2016-2-9]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nastroje-pro-vystruzovani-otvoru.html>

WEBOVÉ STRÁNKY VÝROBCŮ:

[14] [online]. [cit. 2016-2-9] Dostupné z: http://www.beck-tools.de/en/news/single-view/news/hochstleistung-im-bereich-der-hss-reibahlen-ein-neues-zeitalter-beginnt/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=06642a3a08be02ad263920ff1db95f13

[16] [online]. [cit. 2016-3-21] Dostupné z: <http://www.cimcool.com/wp-content/uploads/manage-msds-pif/pif/cs620nfm.pdf>

[17] [online]. [cit. 2016-3-21] Dostupné z: <http://www.ekolube.cz/p/quakercool-3530-ff-25-kg--16748>

[18] [online]. [cit. 2016-3-30] Dostupné z: <http://uk.dmgmori.com/products/lathes/turn-mill-complete-machining-centres/ctx-tc/ctx-beta-1250-tc-4a>

[19] [online]. [cit. 2016-3-31] Dostupné z: http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/produkty/systemy/bridge-type-cmms/prismo-navigator.html

[21] [online]. [cit. 2016-3-31] Dostupné z: <http://en.dmgmori.com/products/milling-machines/universal-milling-machines-for-5-sided-5-axis-machining/dmu-evo/dmu-40-evo-linear>

[20] [online]. [cit. 2016-3-31] Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_12050.3.pdf

[22] [online]. [cit. 2016-5-3] Dostupné z: http://kto.zcu.cz/o-katedre/Vybaveni_katedry/merici_vybaveni_KTO.html

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA 1 – Materiálový list oceli 12050 [20].....	I
PŘÍLOHA 2 – Výrobní výkres VDI držáku E2 52 40 08 [4].....	II
PŘÍLOHA 3 – Výkres cermetového výstružníku [4].....	IV
PŘÍLOHA 4 – Výkres SK výstružníku [4].....	V
PŘÍLOHA 5 – Hodnoty děr po obrábění cermetovým výstružníkem v RC hlavici při 30 bar. VI	
PŘÍLOHA 6 – Hodnoty děr po 1. vrtáku.....	VI
PŘÍLOHA 7 - Hodnoty děr po obrábění SK výstružníkem v RC hlavici při 30 bar.	VII
PŘÍLOHA 8 – Hodnoty děr po 2. vrtáku.....	VII
PŘÍLOHA 9 - Hodnoty děr po obrábění cermetovým výstružníkem v RC hlavici při 30 bar – 1. opakování.....	VIII
PŘÍLOHA 10 – Hodnoty děr po 3. vrtáku.....	VIII
PŘÍLOHA 11 - Hodnoty děr po obrábění cermetovým výstružníkem v hydroupínači při 30 bar.....	IX
PŘÍLOHA 12 – Hodnoty děr po 4. vrtáku.....	IX
PŘÍLOHA 13 - Hodnoty děr po obrábění cermetovým výstružníkem v RC hlavici při 100 bar.	X
PŘÍLOHA 14 – Hodnoty děr po 5. vrtáku.....	X
PŘÍLOHA 15 - Hodnoty děr po obrábění SK výstružníkem v RC hlavici při 30 bar – 1. opakování.....	XI
PŘÍLOHA 16 – Hodnoty děr po 6. vrtáku.....	XI
PŘÍLOHA 17 - Hodnoty děr po obrábění cermetovým výstružníkem v RC hlavici při 30 bar – 2. opakování.....	XII
PŘÍLOHA 18 – Hodnoty děr po 7. vrtáku.....	XII
PŘÍLOHA 19 – Opotřebení vrtáků.....	XIII
PŘÍLOHA 20 – Opotřebení výstružníků.....	XIV
PŘÍLOHA 21 – Házení a průměry děr vystružených ve firmě Hofmeister.....	XV

PŘÍLOHA 1 – Materiálový list oceli 12050 [20]

Ocel 12 050

Materiál : **Uhliková ocel k zušlechťování a povrchovému kalení**

Označení : ČSN 41 2050 (dále jen ocel 12 050)

Zahraniční ekvivalenty -označení

ISO	C60E4	ISO 683-1-87
EURO	C45	EN 10083-2-91
Německo	C45	DIN 17200-84 (1.1191)
Velká Británie	C45	BS EN 100083-2-91
USA	Gr.1043	ASTM A510

Polotovar: Tyč válcovaná za tepla ϕ 14 mm

Chemické složení v %:

	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
dle ČSN	0,42 0,50	0,50 0,80	0,17 0,37	max 0,25	max. 0,30	max 0,30	max 0,040	max. 0,040
aktuální stav	0,51	0,69	0,25	0,15	0,00	0,12	0,023	0,017

Výchozí stav : 12 050.1 - normalizačně žháný

Mechanické vlastnosti dle ČSN 41 20 50 ¹⁾

			12 050.1
Mez kluzu	R_{p0,2}	MPa	min. 325
Mez pevnosti	R_m	MPa	min. 540
Tažnost	A₅	%	min 17
Tvrdost		HB	max 225
Kontrakce	Z	%	
Modul pružnosti v tahu	E	GPa	211
Modul pružnosti ve smyku	G	GPa	79

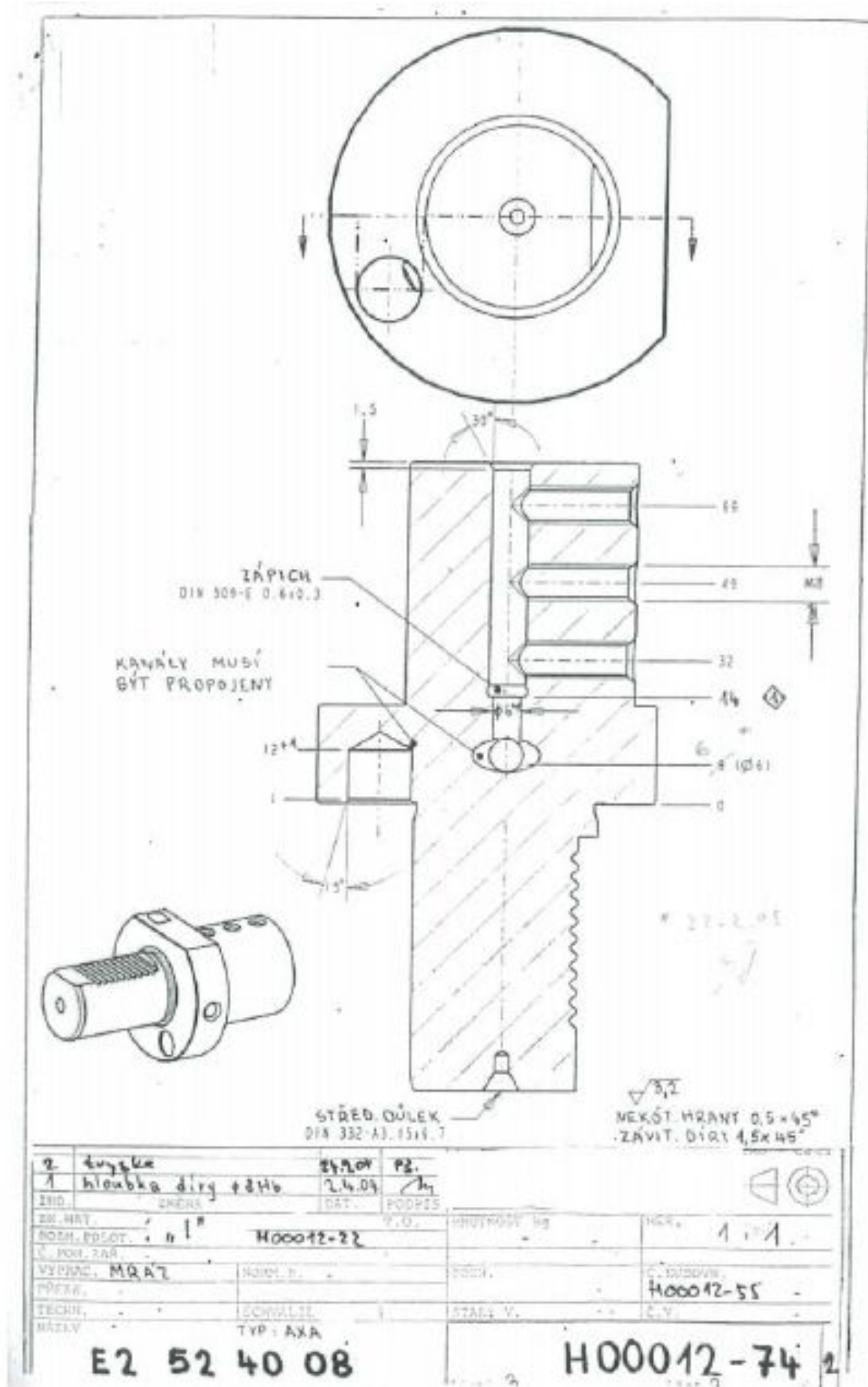
Poznámky: ¹⁾ Lexikon technických materiálů

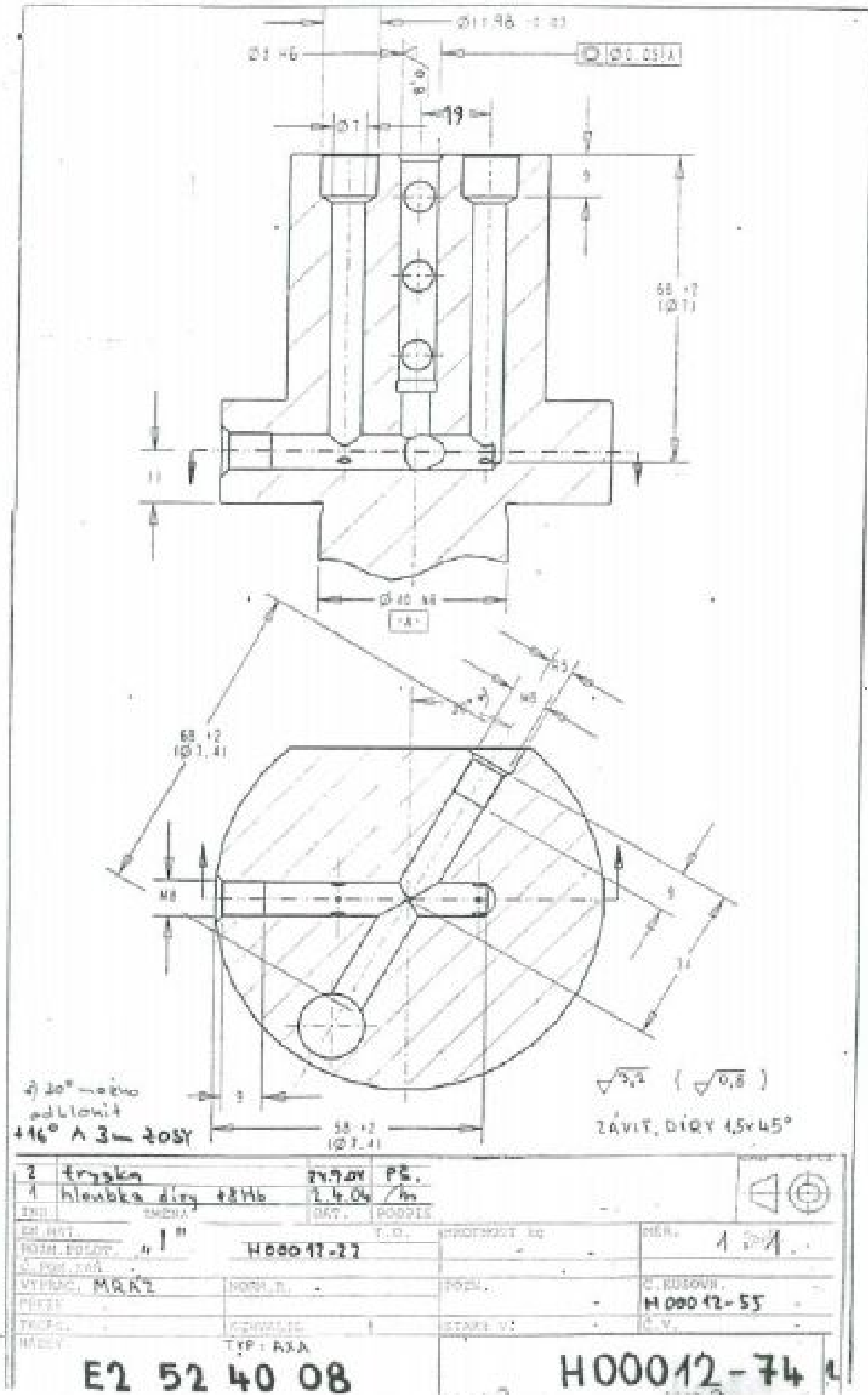
Aktuální stav: 12 050.3 - měkce žháný

Mechanické vlastnosti (zkušební tyče dle ČSN 42 03 15)

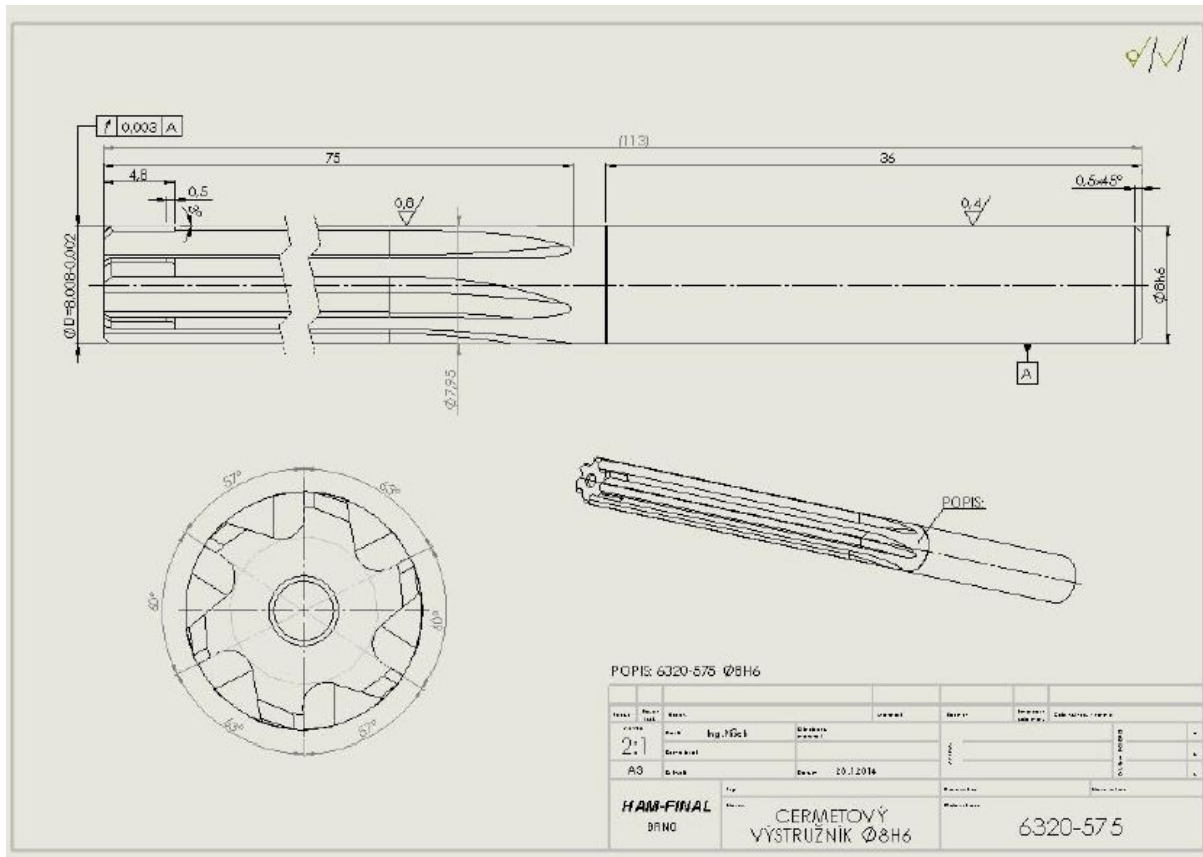
			12 050.3 700°C 24 hod
Mez kluzu	R_{p0,2}	MPa	281
Mez pevnosti	R_m	MPa	606
Tažnost	A₅	%	29
Tvrdost		HV ₁₀	166
Kontrakce	Z	%	50,3
Modul pružnosti v tahu	E	GPa	204

PŘÍLOHA 2 – Výrobní výkres VDI držáku E2 52 40 08 [4]





PŘÍLOHA 3 – Výkres cermetového výstružníku [4]



PŘÍLOHA 5 – Hodnoty děr po obrábění cermetovým výstružníkem v RC hlavici při 30 bar.

Nástroj:		házení:	tlak:	upínání:	v_c [m/min]	f_{ot} [mm]
cermetový, \varnothing 8,009 mm		2 μ m	30 bar	RC hlavice	140	0,3
počet děr(dráha[m])	$\varnothing D$ ze 3D [mm]	válcovitost [μ m]	kolmost [μ m]	kruhovitost (řez 1, 2, 3, 4, 5) [μ m]	Ra [μ m]	Rz [μ m]
1	8,0106	3,5	31,3	1,4; 0,8; 0,7; 0,9; 0,9	0,17	1,99
7	8,0102	2,6	24,1	0,8; 0,8; 0,9; 0,9; 1,0	0,12	1,80
19	8,0100	3,9	27,2	0,9; 0,7; 0,8; 0,7; 0,9	0,10	1,17
37	8,0101	6,2	19,6	2,4; 2,2; 2,4; 2,4; 2,5	0,11	1,22
62	8,0100	8,7	18,6	1,5; 1,5; 1,2; 1,2; 1,5	0,12	1,93
93	8,0094	8,8	13,8	2,6; 1,8; 2,1; 2,1; 2,1	0,10	1,24
99	8,0095	17,9	8,4	4,7; 2,5; 2,9; 4,6; 3,3	0,11	1,16
111	8,0095	8,8	6,5	1,0; 1,0; 1,2; 1,3; 1,0	0,10	1,09
129	8,0094	10,1	9,6	1,4; 1,3; 1,7; 2,1; 2,1	0,14	2,51
154	8,0098	11,3	12,2	2,1; 1,6; 2,0; 2,3; 2,1	0,14	1,58

PŘÍLOHA 6 – Hodnoty děr po 1. vrtáku.

Nástroj:		tlak:	upínání:	v_c [m/min]	f_{ot} [mm]	
šroubovítý vrták ze SK s povlakem TiAlN, \varnothing 7,8 mm		30 bar	kleština	49	0,1	
počet děr(dráha[m])	$\varnothing D$ ze 3D [mm]	válcovitost [μ m]	kolmost [μ m]	kruhovitost (řez 1, 2, 3, 4, 5) [μ m]	Ra [μ m]	Rz [μ m]
18	7,8251	21,8	22,0		0,24	2,23
61	7,8381	57,1	85,2	6,6; 5,6; 7,7; 9,6; 8,8	0,35	2,94
92	7,8396	48,6	43,0	6,8; 10,7; 8,4; 9,2; 8,8	0,49	3,38
110	7,8314	33,8	45,4		0,89	6,43
153	7,8267	30,8	20,4	18,2; 7,5; 7,8; 4,2; 10,9 12,0; 12,1; 17,3; 11,2;	2,33	12,44
184	7,8518	52,8	44,8	8,4	4,14	20,23

PŘÍLOHA 7 - Hodnoty děr po obrábění SK výstružníkem v RC hlavici při 30 bar.

Nástroj: ze SK s povlakem TiAlSiN		házení: 2 μm	tlak: 30	upínání: RC hlavice	v_c [m/min] 80	f_{ot} [mm] 0,4
počet děr(dráha[m])	$\varnothing D$ ze 3D [mm]	válcovitost [μm]	kolmost [μm]	kruhovitost (řez 1, 2, 3, 4, 5) [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	8,0106	10,1	11,1	3,6; 5,0; 6,3; 7,4; 7,8	0,48	4,19
7	8,0093	9,0	8,3	4,0; 5,1; 3,9; 4,2; 5,4	0,33	3,43
19	8,0075	122,2	9,4	1,2; 1,4; 1,5; 4,1; 1,2	0,27	3,14
37	8,0088	5,8	6,3	1,3; 1,1; 1,0; 0,7; 1,1	0,21	2,02
62	8,0083	24,9	7,0	2,3; 1,9; 2,2; 1,6; 2,3	0,58	5,37
93	8,0082	8,7	71,7	5,0; 4,5; 2,9; 4,0; 2,9	0,52	5,02
99	8,0080	8,5	66,1	1,8; 1,4; 1,0; 0,9; 4,2	0,58	5,08
111	8,0081	6,6	66,4	2,1; 1,3; 1,2; 1,3; 2,1	1,28	7,20
129	8,0091	4,4	54,3	1,0; 1,7; 1,3; 1,4; 1,0	1,20	7,65
154	8,0079	7,1	46,2	3,7; 1,4; 1,6; 1,7; 3,7	1,17	7,50

PŘÍLOHA 8 – Hodnoty děr po 2. vrtáku.

Nástroj: šroubovité vrták ze SK s povlakem TiAlN, $\varnothing 7,8$ mm		tlak: 30 bar	upínání: kleština	v_c [m/min] 49	f_{ot} [mm] 0,1	
počet děr(dráha[m])	$\varnothing D$ ze 3D [mm]	válcovitost [μm]	kolmost [μm]	kruhovitost (řez 1, 2, 3, 4, 5) [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
18	7,8238	16,8	18,3		0,27	2,30
61	7,8234	17,2	31,0	14,1; 3,0; 2,3; 6,1; 5,0	0,23	2,29
92	7,8260	16,4	8,2	14,4; 2,9; 3,0; 3,2; 3,6	1,71	9,82
110	7,8296	15,0	66,2		2,69	13,39
153	7,8241	15,0	54,7	11,2; 4,6; 6,7; 4,7; 7,4	2,15	10,68
184	7,8376	22,1	46,2	8,2; 7,1; 5,0; 5,7; 5,0	3,38	17,46

PŘÍLOHA 9 - Hodnoty děr po obrábění cermetovým výstružníkem v RC hlavici při 30 bar – 1. opakování.

Nástroj:		házení:	tlak:	upínání:	v_c [m/min]	f_{ot} [mm]
cermetový, \varnothing 8,009 mm		2 μ m	30 bar	RC hlavice	140	0,3
počet děr(dráha[m])	$\varnothing D$ ze 3D [mm]	válcovitost [μ m]	kolmost [μ m]	kruhovitost (řez 1, 2, 3, 4, 5) [μ m]	Ra [μ m]	Rz [μ m]
1	8,0114	3,3	17,0	1,6; 0,8; 0,5; 0,6; 0,6	0,35	2,66
7	8,0105	5,5	6,6	1,1; 0,9; 0,7; 0,6; 1,4	0,10	1,52
19	8,0104	6,6	3,8	2,2; 1,1; 0,7; 1,1; 2,2	0,10	1,31
37	8,0102	7,3	17,6	2,0; 1,5; 1,4; 1,5; 1,4	0,10	1,36
62	8,0105	7,7	23,4	2,8; 1,8; 1,6; 1,6; 2,8	0,13	2,06
93	8,0102	8,4	63,1	5,0; 4,9; 4,7; 5,9; 5,4	0,10	1,21
99	8,0098	8,2	62,9	1,6; 1,6; 1,6; 6,3; 5,8	0,11	1,19
111	8,0094	29,8	67,4	5,6; 1,6; 1,9; 2,6; 5,6	0,13	1,71
129	8,0099	14,5	67,3	2,6; 2,6; 3,9; 1,7; 2,5	0,12	1,82
154	8,0100	15,5	66,9	2,0; 6,6; 1,9; 3,8; 2,0	0,11	1,28

PŘÍLOHA 10 – Hodnoty děr po 3. vrtáku.

Nástroj:		tlak:	upínání:	v_c [m/min]	f_{ot} [mm]	
šroubovítý vrták ze SK s povlakem TiAlN, \varnothing 7,8 mm		30 bar	kleština	49	0,1	
počet děr(dráha[m])	$\varnothing D$ ze 3D [mm]	válcovitost [μ m]	kolmost [μ m]	kruhovitost (řez 1, 2, 3, 4, 5) [μ m]	Ra [μ m]	Rz [μ m]
18	7,8217	15,8	27,8		0,17	1,82
61	7,8215	17,3	13,9	11,5; 2,3; 2,3; 5,3; 6,9	0,60	5,02
92	7,8253	22,7	26,9	12,7; 6,1; 3,8; 3,1; 3,9	2,10	10,80
110	7,8355	24,5	52,7		3,19	14,72
153	7,8318	26,3	52,4	14,2; 13,2; 5,9; 7,6; 3,9	2,54	12,53
184	7,8355	20,8	49,8	11,2; 6,4; 6,4; 4,1; 4,8	2,90	16,08

PŘÍLOHA 11 - Hodnoty děr po obrábění cermetovým výstružníkem v hydroupínači při 30 bar.

Nástroj:		házení:	tlak:	upínání:	v_c [m/min]	f_{ot} [mm]
cermetový, \varnothing 8,007 mm		12 μ m	30 bar	hydroup.	140	0,3
počet děr(dráha[m])	$\varnothing D$ ze 3D [mm]	válcovitost [μ m]	kolmost [μ m]	kruhovitost (řez 1, 2, 3, 4, 5) [μ m]	Ra [μ m]	Rz [μ m]
1	8,0086	5,0	27,0	3,4; 1,5; 1,0; 0,8; 1,0	0,13	2,10
7	8,0084	7,3	13,3	5,3; 3,4; 2,7; 1,8; 1,6	0,11	0,98
19	8,0083	9,9	13,8	3,9; 2,8; 2,1; 2,0; 3,9	0,11	1,27
37	8,0082	10,2	9,1	3,8; 3,2; 2,9; 2,8; 2,3	0,12	2,03
62	8,0082	13,9	9,4	4,3; 3,5; 2,8; 2,7; 4,3	0,39	5,43
93	8,0083	4,8	42,6	3,3; 2,9; 3,8; 2,6; 2,1	0,48	10,44
99	8,0080	6,5	36,3	3,0; 3,1; 4,9; 3,9; 1,8	0,40	5,14
111	8,0080	7,6	34,4	2,8; 1,6; 1,4; 1,8; 2,8	0,38	4,58
129	8,0070	28,3	29,0	12,9; 10,0; 8,2; 2,6; 3,2	0,46	6,30
154	8,0078	10,5	35,8	4,2; 3,9; 2,9; 2,7; 4,2	0,50	5,77

PŘÍLOHA 12 – Hodnoty děr po 4. vrtáku.

Nástroj:		tlak:	upínání:	v_c [m/min]	f_{ot} [mm]	
šroubovítý vrták ze SK s povlakem TiAlN, \varnothing 7,8 mm		30 bar	kleština	49	0,1	
počet děr(dráha[m])	$\varnothing D$ ze 3D [mm]	válcovitost [μ m]	kolmost [μ m]	kruhovitost (řez 1, 2, 3, 4, 5) [μ m]	Ra [μ m]	Rz [μ m]
18	7,8257	19,9	7,3		0,28	2,27
61	7,8268	33,3	9,8	27,5; 3,7; 5,2; 10,2; 7,4	0,91	6,45
92	7,8239	25,3	15,2	13,8; 2,6; 2,2; 3,0; 2,4	1,21	7,28
110	7,8232	26,8	48,5		1,47	8,29
153	7,8273	40,2	25,0	17,7; 5,3; 4,7; 5,2; 14,6	2,28	12,20
184	7,8356	22,2	33,9	9,2; 4,4; 5,0; 5,2; 4,8	2,47	12,80

PŘÍLOHA 13 - Hodnoty děr po obrábění cermetovým výstružníkem v RC hlavici při 100 bar.

Nástroj:		házení:	tlak:	upínání:	v_c [m/min]	f_{ot} [mm]
cermetový, \varnothing 8,007 mm		2 μ m	100 bar	RC hlavice	140	0,3
počet děr(dráha[m])	$\varnothing D$ ze 3D [mm]	válcovitost [μ m]	kolmost [μ m]	kruhovitost (řez 1, 2, 3, 4, 5) [μ m]	Ra [μ m]	Rz [μ m]
1	8,0095	4,6	10,0	3,3; 0,7; 0,7; 1,0; 0,8	0,20	2,80
7	8,0089	4,4	11,9	2,0; 0,6; 0,7; 0,6; 0,6	0,14	1,31
19	8,0083	5,4	22,4	1,7; 1,0; 0,9; 0,9; 1,7	0,19	3,27
37	8,0091	5,4	20,4	4,0; 1,8; 0,9; 0,7; 0,9	0,16	1,87
62	8,0087	15,9	23,0	5,4; 1,7; 0,8; 0,8; 5,4	0,17	2,47
93	8,0083	11,6	18,5	4,8; 3,5; 1,8; 1,7; 0,9	0,30	4,23
99	8,0080	3,0	13,9	0,9; 0,9; 1,0; 1,3; 1,0	0,27	3,56
111	8,0080	5,5	14,3	2,7; 1,3; 1,0; 0,8; 2,7	0,28	4,13
129	8,0078	7,5	13,9	3,0; 1,6; 1,1; 1,1; 4,0	0,33	4,69
154	8,0085	5,5	18,8	3,0; 2,2; 1,9; 1,8; 3,0	0,39	4,61

PŘÍLOHA 14 – Hodnoty děr po 5. vrtáku.

Nástroj:		tlak:	upínání:	v_c [m/min]	f_{ot} [mm]	
šroubovitý vrták ze SK s povlakem TiAlN, \varnothing 7,8 mm		30 bar	kleština	49	0,1	
počet děr(dráha[m])	$\varnothing D$ ze 3D [mm]	válcovitost [μ]	kolmost [μ]	kruhovitost (řez 1, 2, 3, 4, 5) [μ]	Ra [μ]	Rz [μ]
18	7,8393	40,4	18,3		0,24	2,23
61	7,8335	35,9	20,7	11,3; 3,5; 3,9; 3,5; 4,3	0,25	1,85
92	7,8341	36,6	41,3	8,7; 2,9; 4,0; 6,2; 5,1	0,24	2,11
110	7,8369	34,1	16,2		0,32	3,08
153	7,8351	37,4	40,0	11,3; 8,4; 5,4; 6,7; 8,8	0,79	5,80
184	7,8311	36,2	33,4	10,4; 3,2; 3,1; 3,0; 3,0	1,47	9,03

PŘÍLOHA 15 - Hodnoty děr po obrábění SK výstružníkem v RC hlavici při 30 bar – 1. opakování.

Nástroj: ze SK s povlakem TiAlSiN		házení: 2 μm	tlak: 30	upínání: RC hlavice	v_c [m/min] 80	f_{ot} [mm] 0,4
počet děr(dráha[m])	$\varnothing D$ ze 3D [mm]	válcovitost [μm]	kolmost [μm]	kruhovitost (řez 1, 2, 3, 4, 5) [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	8,0106	11,0	7,9	3,0; 2,3; 1,9; 2,1; 1,6	0,34	3,15
7	8,0094	34,0	7,9	4,3; 5,0; 4,0; 14,8; 2,6	0,30	3,29
19	8,0090	16,9	11,1	4,7; 3,7; 6,0; 7,1; 4,7	0,18	1,68
37	8,0091	16,5	13,1	4,1; 3,1; 4,8; 5,0; 4,2	0,29	2,39
62	8,0080	16,4	18,2	1,9; 1,6; 4,3; 3,8; 1,9	0,67	6,69
93	8,0087	8,7	10,5	3,5; 3,2; 3,0; 2,2; 2,7	0,80	5,99
99	8,0088	11,7	2,4	3,7; 3,5; 3,2; 3,2; 1,8	1,07	7,69
111	8,0082	14,2	9,1	5,3; 5,0; 3,7; 5,3; 5,3	1,08	6,81
129	8,0098	7,9	15,5	1,4; 1,1; 1,2; 0,6; 1,8	0,57	10,74
154	8,0074	41,3	14,8	2,9; 2,3; 1,9; 2,0; 2,9	1,23	7,78

PŘÍLOHA 16 – Hodnoty děr po 6. vrtáku.

Nástroj: šroubovítý vrták ze SK s povlakem TiAlN, $\varnothing 7,8$ mm		tlak: 30 bar	upínání: kleština	v_c [m/min] 49	f_{ot} [mm] 0,1	
počet děr(dráha[m])	$\varnothing D$ ze 3D [mm]	válcovitost [μ]	kolmost [μ]	kruhovitost (řez 1, 2, 3, 4, 5) [μ]	Ra [μ]	Rz [μ]
18	7,8335	30,3	33,4		0,43	3,60
61	7,8328	29,6	21,2	11,1; 3,5; 3,9; 3,7; 5,1	0,49	3,51
92	7,8320	29,4	11,4	11,6; 4,7; 4,6; 6,2; 7,3	0,48	3,98
110	7,8319	27,7	49,5		0,70	5,25
153	7,8377	25,9	10,3	13,1; 6,6; 9,9; 4,7; 5,8	3,28	16,90
184	7,8389	23,3	15,9	9,2; 6,2; 3,6; 3,7	2,91	15,12

PŘÍLOHA 17 - Hodnoty děr po obrábění cermetovým výstružníkem v RC hlavici při 30 bar – 2. opakování.

Nástroj: cermetový, \varnothing 8,009 mm		házení: 2 μ m	tlak: 30 bar	upínání: RC hlavice	v_c [m/min] 140	f_{ot} [mm] 0,3
počet děr(dráha[m])	$\varnothing D$ ze 3D [mm]	válcovitost [μ m]	kolmost [μ m]	kruhovitost (řez 1, 2, 3, 4, 5) [μ m]	Ra [μ m]	Rz [μ m]
1	8,0112	5,5	19,0	3,6; 0,6; 0,8; 0,8; 1,2	0,33	3,26
7	8,0109	15,0	8,6	6,3; 7,8; 7,7; 5,9; 5,9	0,19	1,98
19	8,0110	12,4	9,7	4,3; 4,5; 7,1; 8,9; 4,3	0,14	1,36
37	8,0112	16,8	8,0	6,4; 7,0; 8,8; 10,9; 14,5	0,14	1,34
62	8,0115	18,7	18,8	8,3; 8,7; 11,5; 13,8; 8,3	0,16	1,53
93	8,0104	7,4	11,6	5,4; 4,6; 5,6; 6,1; 6,2	0,13	1,42
99	8,0106	14,6	0,6	5,5; 6,4; 8,4; 10,3; 12,4	0,13	1,14
111	8,0105	13,9	4,9	7,6; 8,1; 11,2; 10,6; 7,6	0,13	1,21
129	8,0104	11,1	9,5	6,7; 5,4; 6,1; 6,3; 7,7	0,16	2,25
154	8,0108	18,4	11,3	7,6; 8,2; 11,2; 12,7; 7,6	0,15	1,50

PŘÍLOHA 18 – Hodnoty děr po 7. vrtáku.

Nástroj: šroubovitý vrták ze SK s povlakem TiAlN, \varnothing 7,8 mm		tlak: 30 bar	upínání: kleština	v_c [m/min] 49	f_{ot} [mm] 0,1	
počet děr(dráha[m])	$\varnothing D$ ze 3D [mm]	válcovitost [μ m]	kolmost [μ m]	kruhovitost (řez 1, 2, 3, 4, 5) [μ m]	Ra [μ m]	Rz [μ m]
18	7,8349	26,9	24,8		0,83	6,43
61	7,8311	31,6	30,3	11,4; 2,6; 3,0; 3,3; 5,0	0,24	1,93
92	7,8296	29,1	23,0	10,9; 2,9; 2,8; 2,9; 2,2	0,33	3,10
110	7,8307	34,6	18,5		0,32	3,00
153	7,8306	25,1	7,5	12,4; 3,3; 4,1; 4,8; 4,1	1,06	7,02
184	7,8322	35,2	11,6	10,4; 3,8; 4,2; 4,0; 8,6	1,32	8,34

PŘÍLOHA 19 – Opotřebení vrtáků.

	č. díry	Opotřebení KT		VBmax _{hl}	
		1. břit	2. břit	1. břit	2. břit
Vrták č. 1	7	0	0	0	0
	19	0	0	0	0
	62	0	0	0	0
	93	0	0	0	0
	112	0	0	0	45
	155	60	0	0	90
	186	130	130	100	100
	č. díry	Opotřebení KT		VBmax _{hl}	
		1. břit	2. břit	1. břit	2. břit
Vrták č. 2	19	0	0	0	0
	62	0	0	0	0
	93	0	0	30	60
	130	0	0	40	60
	186	40	70	90	280
	č. díry	Opotřebení KT		VBmax _{hl}	
		1. břit	2. břit	1. břit	2. břit
Vrták č. 3	19	0	0	0	0
	62	0	0	0	0
	93	0	0	0	0
	186	60	100	70	90
	č. díry	Opotřebení KT		VBmax _{hl}	
		1. břit	2. břit	1. břit	2. břit
Vrták č. 4	93	0	0	0	0
	130	40	0	30	40
	186	180	150	60	270
	č. díry	Opotřebení KT		VBmax _{hl}	
		1. břit	2. břit	1. břit	2. břit
Vrták č. 5	37	0	0	0	0
	93	0	0	0	0
	130	0	0	50	50
	186	0	0	56	56
	č. díry	Opotřebení KT		VBmax _{hl}	
		1. břit	2. břit	1. břit	2. břit
Vrták č. 6	18	0	0	0	0
	93	0	0	0	0
	130	0	0	0	0
	186	30	40	90	100
	č. díry	Opotřebení KT		VBmax _{hl}	
		1. břit	2. břit	1. břit	2. břit
Vrták č. 7	93	0	0	0	0
	130	0	0	0	0
	186	180	170	0	0

PŘÍLOHA 20 – Opotřebení výstružníků.

1. výstružník	č. díry	Opotřebení KT			VBmax _{hl}			VBmax _{vedl}		
		1. břit	3. břit	5. břit	1. břit	3. břit	5. břit	1. břit	3. břit	5. břit
	37	0	0	0	0	13	0	0	0	0
	93	0	0	0	13	16	14	11	0	8
	130	0	0	0	13	26	15	12	11	15
	186	0	0	0	13	26	14	11	13	13
2. výstružník	č. díry	Opotřebení KT			VBmax _{hl}			VBmax _{vedl}		
		1. břit	3. břit	5. břit	1. břit	3. břit	5. břit	1. břit	3. břit	5. břit
	18	0	0	0	0	0	0	0	11	0
	62	0	0	0	21	0	0	0	0	0
	93	10	0	10	137	0	133	0	0	0
	186	86	62	83	146	51	71	0	36	66
3. výstružník	č. díry	Opotřebení KT			VBmax _{hl}			VBmax _{vedl}		
		1. břit	3. břit	5. břit	1. břit	3. břit	5. břit	1. břit	3. břit	5. břit
	37	0	0	0			0	0	10	0
	93	0	0	0	67	73	63	0	0	0
	130	68	73	61			63	10	13	27
	186	68	73	61	64	71	68	28	32	30
4. výstružník	č. díry	Opotřebení KT			VBmax _{hl}			VBmax _{vedl}		
		1. břit	3. břit	5. břit	1. břit	3. břit	5. břit	1. břit	3. břit	5. břit
	37	24	30	35	0	30	27	19	13	16
	93	29	19	27	73	64	71	80	16	13
	130	35	19	29	89	82	77	82	234	82
	186	35	45	39	89	214	119	82	234	119
5. výstružník	č. díry	Opotřebení KT			VBmax _{hl}			VBmax _{vedl}		
		1. břit	3. břit	5. břit	1. břit	3. břit	5. břit	1. břit	3. břit	5. břit
	37	27	0	0	30	50	40	72	10	0
	93	36	0	16	100	69	140	82	30	104
	130	40	0	16	168	136	135	82	128	124
	186	40	17	16	168	148	138	88	147	124
6. výstružník	č. díry	Opotřebení KT			VBmax _{hl}			VBmax _{vedl}		
		1. břit	3. břit	5. břit	1. břit	3. břit	5. břit	1. břit	3. břit	5. břit
	37	0	0	0	0	27	61	0	26	19
	93	13	12	12	20	51	11	8	31	31
	130	30	63	63	208	179	213	260	245	216
	186	74	82	73				264	276	260
7. výstružník	č. díry	Opotřebení KT			VBmax _{hl}			VBmax _{vedl}		
		1. břit	3. břit	5. břit	1. břit	3. břit	5. břit	1. břit	3. břit	5. břit
	37	0	0	0	8	8	8	6	6	6
	93	0	0	0	10	143	16	10	10	22
	130	0	26	0	37	164	35	26	22	29
	186	0	41	16	74	170	91	36	31	43

PŘÍLOHA 21 – Házení a průměry děr vystružených ve firmě Hofmeister.

Výsledky dosažené ve firmě Hofmeister					
Poř. Číslo díry	Házení [mm]	ø D dolní [mm]		ø D horní [mm]	
		max	min	max	min
1	0,04	8,0084	8,0081	8,0087	8,0075
2	0,02	8,0088	8,0080	8,0089	8,0083
3	0,02	8,0085	8,0078	8,0084	8,0078
4	0,05	8,0085	8,0078	8,0088	8,0082
5	0,05	8,0085	8,0078	8,0085	8,0073
6	0,08	8,0105	8,0091	8,0089	8,0072
7	0,02	8,0084	8,0076	8,0087	8,0079
8	0,07	8,0085	8,0077	8,0086	8,0079
9	0,02	8,0083	8,0076	8,0083	8,0076
10	0,06	8,0085	8,0082	8,0083	8,0078
11	0,03	8,0085	8,0083	8,0084	8,0083
12	0,10	8,0080	8,0078	8,0082	8,0082
13	0,02	8,0081	8,0080	8,0081	8,0079
14	0,10	8,0080	8,0079	8,0082	8,0081
15	0,01	8,0083	8,0080	8,0078	8,0077
16	0,05	8,0080	8,0077	8,0077	8,0076
17	0,05	8,0078	8,0075	8,0078	8,0078
18	0,02	8,0082	8,0081	8,0076	8,0073
19	0,02	8,0079	8,0076	8,0078	8,0072
20	0,04	8,0080	8,0078	8,0082	8,0082
21	0,03	8,0079	8,0077	8,0073	8,0070
22	0,05	8,0073	8,0073	8,0076	8,0073
23	0,02	8,0078	8,0076	8,0076	8,0073
24	0,01	8,0077	8,0073	8,0075	8,0072