

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: 2303T004 Strojírenská technologie
– technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Analýza a hodnocení integrity povrchu řezných nástrojů a otvorů
po vystružování v reálné výrobě.**

Autor: **Bc. Michal Koutský**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.**

Akademický rok 2013/2014

Prohlášení o autorství

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Autorská práva

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

Poděkování

Rád bych tímto způsobem poděkoval všem lidem, kteří mi rádi a ochotně pomohli při vypracování mé diplomové práce. Jmenovitě bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce panu Doc. Ing. Janu Řehořovi, Ph.D., za jeho cenné rady a připomínky při zpracování tohoto náročného tématu. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Kutlwašerovi za poskytování konzultací, za jeho cenné připomínky a pomáhání při měření některých parametrů pro tuto práci, slečně Ing. Jaroslavě Fulemové za pomoc při měření a panu Doc. Dr. Ing. Antonínu Křížovi za poskytování cenných konzultací v oblasti Integrity povrchu.

Dále bych chtěl poděkovat za ohromnou a nekonečnou podporu mé rodině, přátelům z Pod Věže, spolužákům a kamarádům, kteří i přes nedostatek mého volného času si vždycky našli prostor, aby mě nějakým způsobem povzbudili do dalších dnů, měsíců a roků života.

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

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Koutský	Michal
STUDIJNÍ OBOR	2303T004 Strojírenská technologie – technologie obrábění	
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Řehoř, Ph.D.	Jméno Jan
PRACOVISŤE	ZČU - FST – KTO	
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Analýza a hodnocení integrity povrchu řezných nástrojů a otvorů po vystružování v reálné výrobě.	

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	60	TEXTOVÁ ČÁST	60	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)	Tato diplomová práce se zabývá jednotlivými parametry integrity povrchu, které by měly být měřeny a vyhodnocovány na součástech a výrobcích z reálné výroby. Měřené parametry jsou vytipovány z funkčního hlediska daného výrobku. Poté jsou měřeny a vyhodnocovány v určeném logickém sledu.
KLÍČOVÁ SLOVA	Vystružování, výstružník, Integrita povrchu

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Koutský		Michal
FIELD OF STUDY	2303T004 „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	Analysis and evaluation of surface integrity of cutting tools and reamed holes in real production.		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	60	TEXT PART	60	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

KEY WORDS	Reaming, Reamer, Surface Integrity
BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis deals with various parameters of Surface integrity which should be measured and evaluated on parts and products in real production. The measured parameters are selected from functional aspects of the product. Than are the parameters measured and evaluated in the specified logical sequence.

OBSAH

ZKRATKY A SYMBOLY	1
1 ÚVOD	2
2 TECHNOLOGIE VYSTRUŽOVÁNÍ	3
2.1 ROZDĚLENÍ VYSTRUŽOVACÍCH NÁSTROJŮ	4
2.2 KINEMATIKA VYSTRUŽOVÁNÍ.....	6
2.3 GEOMETRIE JEDNOTLIVÝCH VÝSTRUŽNÍKŮ	7
2.3.1 Geometrie ručního výstružníku	9
2.3.2 Geometrie strojního výstružníku	9
2.3.3 Geometrie strojního nástrčného výstružníku.....	10
2.4 DALŠÍ VZTAHY PRO URČENÍ TECHNOLOGIE VYSTRUŽOVÁNÍ	10
2.4.1 Stanovení velikosti přídávku a tloušťky třísky	11
2.4.2 Trvanlivost vystružovacího nástroje.....	12
2.4.3 Výpočet strojního času	13
2.5 ŘEZNÉ MATERIÁLY V TECHNOLOGII VYSTRUŽOVÁNÍ	14
3 INTEGRITA POVRCHU	16
3.1 SOUBORY DAT INTEGRITY POVRCHU	16
3.2 HISTORIE A VÝVOJ INTEGRITY POVRCHU	19
4 SOUBORY VYTIPOVANÝCH PARAMETRŮ NA KONKRÉTNÍCH OTVORECH	21
4.1 SOUČÁST NAKLÁPĚCÍHO KLIZNÉHO LOŽISKA	21
4.1.1 Vytipované parametry Integrity povrchu.....	24
4.2 SOUČÁST – VDI DRŽÁK NA NÁSTROJ	25
4.2.1 Vytipované parametry Integrity povrchu.....	27
4.3 VYSTRUŽOVANÝ OTVOR V HYDRAULICKÉM SYSTÉMU	29
4.3.1 Vytipované parametry Integrity povrchu.....	30
5 EXPERIMENTY, MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ VYTIPOVANÝCH PARAMETRŮ PRO JEDNOTLIVÉ VYSTRUŽOVANÉ OTVORY	33
5.1 POPIS A PRŮBĚH JEDNOTLIVÝCH EXPERIMENTŮ.....	33
5.1.1 Součást naklápěcího kluzného ložiska.....	33
5.1.2 Součást – VDI držák na nástroj.....	36
5.1.3 Vystružovaný otvor v hydraulickém systému	38
5.2 MĚŘENÍ VYTIPOVANÝCH PARAMETRŮ PRO JEDNOTLIVÉ SOUČÁSTI.....	40
5.2.1 Měření parametrů pro naklápěcí kluzné ložisko	40
5.2.2 Měření parametrů pro VDI držák	47
5.2.3 Měření parametrů pro otvor v hydraulickém systému.....	52
6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	57
7 ZÁVĚR	58
8 POUŽITÁ LITERATURA	59

ZKRATKY A SYMBOLY

Symbol/Zkratka	Jednotka	Popis
TiAlN	[-]	titan aluminium nitrid
PKD	[-]	polykrystalický diamant
PKNB	[-]	polykrystalický nitrid bóru
SK	[-]	slinutý karbid
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
b_α	[mm]	šířka fazetky
f_z	[mm]	posuv na zub
f_{ot}	[mm]	posuv na otáčku
n	[min^{-1}]	otáčky nástroje
h	[mm]	tloušťka třísky
l	[mm]	délka obráběného otvoru
l_a	[mm]	dráha náběhu
l_u	[mm]	dráha přeběhu
l_T	[m]	dráha řezu
L_T	[m]	dráha vystruženého otvoru
p	[mm]	přídavek na obrábění
r_ϵ	[mm]	poloměr špičky nástroje
r_n	[mm]	zaoblení řezné hrany
T	[min]	čas řezného procesu
t_{AS}	[mm]	jednotkový strojní čas
v_c	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	řezná rychlost
v_e	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	rychlost řezného pohybu
v_f	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	posuvová rychlost
R_a	[μm]	průměrná aritmetická odchylka profilu drsnosti
R_z	[μm]	největší výška profilu drsnosti
S_a	[μm]	plošná aritmetická odchylka drsnosti
S_z	[μm]	největší plošná výška drsnosti
z	[-]	počet zubů
α_o	[$^\circ$]	ortogonální úhel hřbetu
α_p	[$^\circ$]	zadní úhel čela
γ_o	[$^\circ$]	ortogonální úhel čela
γ_p	[$^\circ$]	zadní úhel čela
η	[$^\circ$]	úhel výslednice řezné rychlosti
κ_r	[$^\circ$]	úhel nastavení hlavního ostří
κ_r'	[$^\circ$]	úhel nastavení vedlejší ostří
λ	[$^\circ$]	úhel stoupání šroubovice

1 ÚVOD

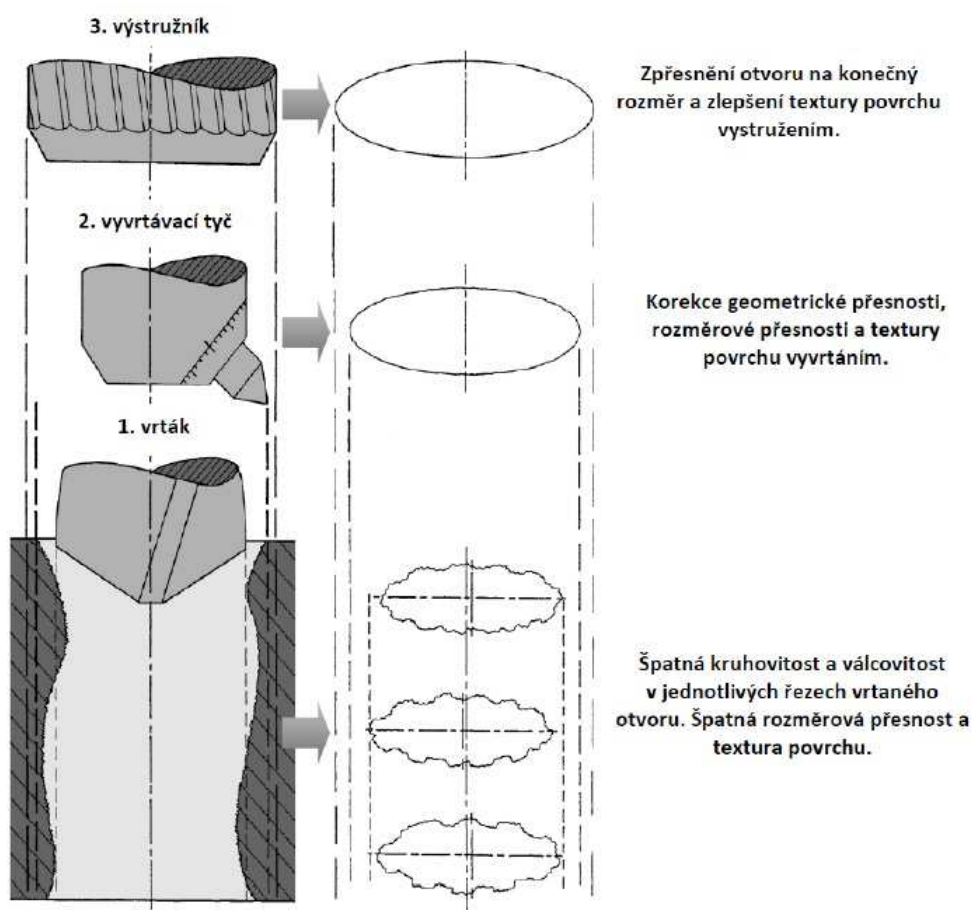
V současné době a prudkém vývoji v jednotlivých oborech a odvětvích je neustále kladen zvyšující se důraz na dlouhodobou spolehlivost a provozuschopnost vznikajících výrobků. Tento trend je převážně sledovaný ve strojírenském průmyslu, kde požadavky na jednotlivé funkční vlastnosti jakéhokoliv výrobku ovlivňují požadavky na trhu a výrobci jsou tak nuceni vyrábět a deklarovat požadované vlastnosti. Díky těmto požadavkům je potřeba vyrábět výrobky nejen o přesných tvarech a rozměrech, ale také s dalšími garantovanými vlastnostmi, které zaručí výslednou dlouhodobou spolehlivost a bezpečnost při provozu. V současné době je potřeba nahlížet na nově vznikající obrobené povrchy nejen z hlediska správné rozměrové a geometrické přesnosti, ale také správně vyhodnotit jeho funkční vlastnosti, ke kterým má daný povrch sloužit.

V poslední době dochází k rychlému vývoji v technologii vystružování a ke zvyšování požadavků na vystružované otvory. Díky přesnému obrábění pomocí vystružování jsou vystružované otvory více využívány na různých výrobcích, kde zaručují různé funkční vlastnosti. Hlavním cílem této práce je právě vyhodnotit funkční vlastnosti jednotlivých výrobků a součástí, na kterých se vyskytují vystružované otvory s různým funkčním využitím a poté vytipovat jednotlivé parametry, které by se daly nebo měly na jednotlivých vystružených otvorech měřit a tím tak deklarovat, že je daný otvor vyhovující pro dané funkční využití. Takovým pohledem na vznikající povrchy a otvory ve vztahu ke konkrétním funkčním vlastnostem se zabývají vědci v oboru Integrity povrchu, který zaznamenává zvýšenou pozornost výzkumných pracovníků a v současné době i společností, které vyrábějí strojní součásti nejvyšší kvality. Právě v oboru Integrity povrchu je popisována řada parametrů a jejich způsobu měření a zjišťování.

Pro jednotlivé analýzy byly poskytnuty následující součásti, na kterých se vyskytuje právě vystružovaný otvor s různou funkcí využití. Součástí naklápěcího kluzného ložiska od společnosti GTW BEARINGS s.r.o. Další součástí je VDI držák na nástroje, který vyrábí společnost HOFMEISTER s.r.o. Jako poslední bude hodnocen materiál GGG60, ze kterého společnost DANFOSS s.r.o. vyrábí hydraulické systémy. Pro testování byly dodány výstružníky od společnosti HAM-FINAL s.r.o., která se právě zabývá výrobou a vývojem nástrojů pro co nejpřesnější třískové obrábění. [18] [19] [20] [21]

2 TECHNOLOGIE VYSTRUŽOVÁNÍ

Před posouzením výběru technologie je vždy důležité vybrat správný postup daných operací, které mají vliv na výsledný povrch a funkčnost vyrobené plochy. V případě třískového obrábění jsou rozděleny operace na hrubovací, které mají za úkol v co nejkratším časovém úseku odebrat větší množství materiálu a na dokončovací operace, které zlepšují kvalitu povrchu a přesnost obrobenej plochy. V případě hrubovacích operací dochází sice k rychlému odebrání velkého objemu materiálu, ale výsledný obrobenej povrch má nízké kvalitativní výsledky (dosahované hodnoty lineární drsnosti povrchu Ra jsou vyšší než 6,3 μm a stupeň přesnosti rozměrů IT je větší než 12). V případě dokončovacích operací nebo také jemného obrábění, kam bezesporu patří technologie vystružování, dochází ke zlepšování rozměrů obrobenej povrchu (dosahované hodnoty parametru Ra se pohybují v rozmezí 0,2 – 1,6 μm a stupeň přesnosti rozměrů IT v rozmezí 6 – 8). V mnoha případech se také objevuje mezioperace, tzv. polohrubování nebo obrábění na čisto, která se zavádí po operaci hrubování a její hlavní funkcí je lepší úprava povrchu po hrubování a snížení geometrických nepřesností. [3] [6] [7]



Obrázek 2-1 Sled operací hrubování (vrtání) – obrábění na čisto (vyvrtávání) – dokončování (vystružování) pro postupné zlepšování kvality povrchu otvoru. [2]

Na obrázku 2-1 je vidět sled operací pro případ vyrobení velmi přesného otvoru s postupným zavedením operací vrtání – vyvrtávání – vystružování. Po vrtání má otvor špatné

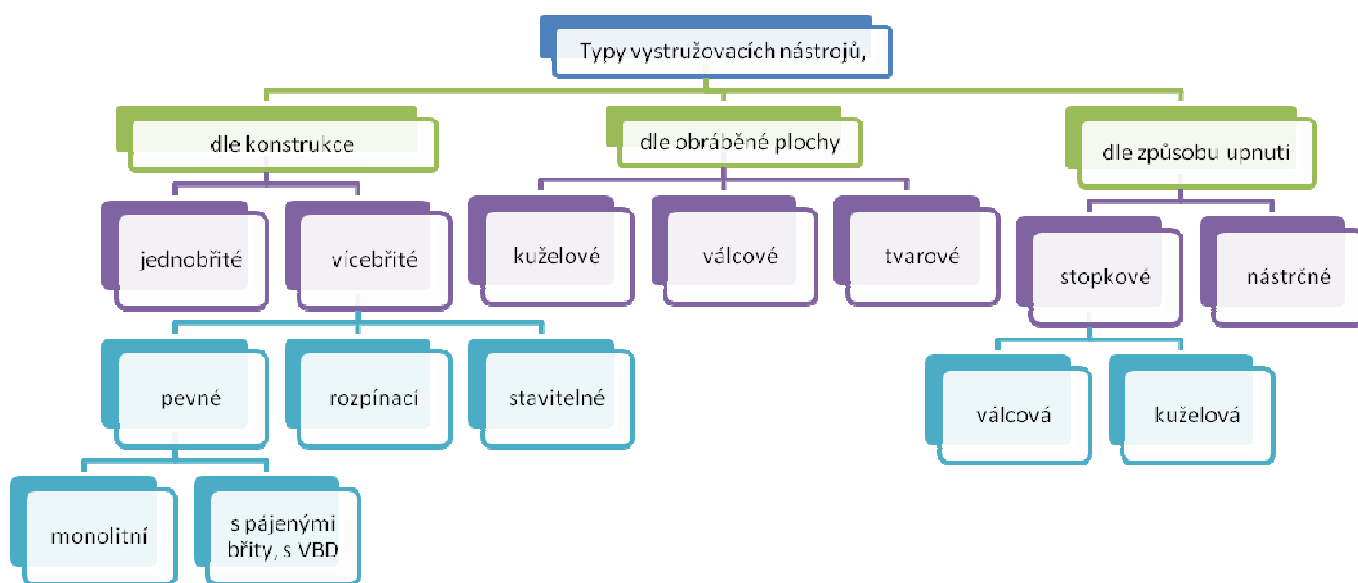
geometrické vlastnosti, nevyhovující požadovanou velikost v celé délce a texturu obrobené plochy. Po vyvrtávání dochází ke zlepšení geometrických vlastností a ustálení velikosti přídavného materiálu (nesmí být zase ale moc malý, aby nedocházelo místo obrábění k tváření povrchu a tím k rychlejšímu opotřebením břitů) před poslední operací, díky které působí na nástroj v poslední operaci rovnoměrné napětí a zároveň dochází k odebrání konstantní velikosti materiálu. Operace vystružování poté vyhotoví otvor v požadované toleranci a přesnosti. [2]

V některých případech, kdy je požadována větší přesnost otvoru, než jakou dokáže technologie vystružování vyrobit, se po operaci vystružování dále zavádí další dokončovací operace, která má za úkol pomocí jemného broušení zlepšit drsnost obrobeného povrchu nebo jeho toleranci. Mezi takové operace patří např. honování, superfinišování nebo lapování. Pomocí honování je možné dosáhnout drsnosti obrobeného povrchu R_a kolem $0,1 \mu\text{m}$ a stupně přesnosti IT v rozsahu 3 – 4. Díky technologii lapování je možné vyrobit ještě přesnější otvor s hodnotou R_a přibližně $0,01 \mu\text{m}$ a stupněm přesnosti IT v rozsahu 1 – 3. [2] [6]

Je potřeba poznamenat, že technologie vystružování nemá velký vliv na změnu geometrických nepřesností, jako jsou například nesouosost vyrobeného otvoru, nepřímost, nekruhovitost nebo neválcovitost. Tyto nepřesnosti je potřeba eliminovat již v předchozích technologických operacích. [2]

2.1 Rozdělení vystružovacích nástrojů

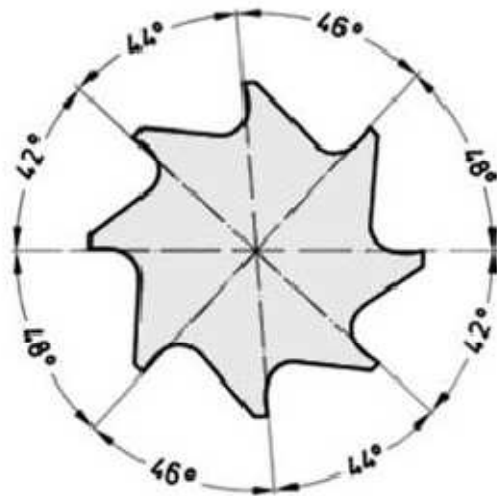
Jak již bylo uvedeno, výstružník slouží pro výrobu přesných otvorů, ať už se jedná o válcové, kuželové nebo tvarové s přesně předepsanou geometrickou přesností a drsností povrchu. Stejně jako u všech ostatních technologií jsou i jednotlivé nástroje pro vystružování rozdělovány do kategorií dle jednotlivých hledisek. Názorné rozdělení je na obrázku 2-2.



Obrázek 2-2 Rozdělení vystružovacích nástrojů [2]

Z obrázku 2-2 jsou patrná následná rozdělení:

Dle způsobu práce se výstružníky rozdělují na strojní a ruční. Ruční výstružníky mají dlouhý řezný kužel (cca třetinu délky činné části), díky kterému jsou zaváděny do předpřipraveného otvoru. Zbývající část je mírně kuželovitá z důvodu snížení točivého momentu. Na konci mají stopku, která je vyrobena ve tvaru čtyřhranu. Strojní výstružníky mají obvykle nerovnoměrnou rozteč zubů (obrázek 2-3), která zabraňuje vzniku hranatosti vystruženého otvoru. Oproti ručním výstružníkům mají kratší řezný kužel. Dále platí pravidlo, že ruční výstružník lze také použít při strojním vystružování, což ale naopak neplatí. [2] [3] [4] [6]



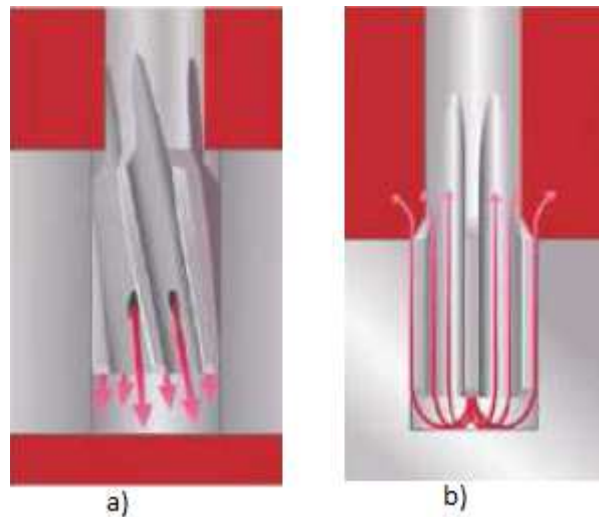
Obrázek 2-3 Nerovnoměrná rozteč vícebřitého strojního výstružníku. [2]

Dle vystružovaného otvoru jsou výstružníky rozděleny na kuželové, válcové nebo tvarové. Pro kuželové výstružníky platí, že jsou používány do předvrtaných válcových otvorů. Pro výsledný kuželový otvor se používá jeden výstružník nebo celá sada výstružníků (např. pro Morse kužel). [2] [3] [4] [6]

Dle konstrukce výstružníků platí několik rozdělení. V případě počtu břitů jsou výstružníky rozděleny na jednobřité a vícebřité nástroje. Pro jednobřitý nástroj jsou navíc dělány vodící lišty z důvodu zabránění vyosení nástroje při obrábění a snížení řezného odporu. Díky vodící liště jsou snadno rozeznatelné od vyvrtávacích tyčí, kterým jsou podobné. V případě vícebřitých nástrojů platí další rozdělení a to na pevné, stavitelné a rozpínací nástroje. Pevné výstružníky mají neměnný průměr a dají se dále dělit na monolitní nebo s břitovými destičkami, které mohou být vyměnitelné nebo pájené. Konstrukce stavitelných výstružníků spočívá v drážkách na kuželové ploše, ve kterých jsou zuby. Rozměr výstružníku se zvětšuje nebo zmenšuje posouváním zubů v drážkách ve směru osy nástroje. Potřebný rozměr je poté nastaven pomocí kroužkového kalibru. Rozpínací výstružníky mají duté těleso, ve kterém je kuželový otvor. Mezi jednotlivými zuby je těleso rozříznuto. Pomocí vlačování kuličky nebo kuželového trnu dovnitř do tělesa dochází k roztažení a zvětšení průměru výstružníku. Zuby jsou buď přímé, nebo jsou ve šroubovici. [2] [3] [4] [6]

Dle způsobu upnutí může rozdělit výstružníky na nástrčné nebo stopkové. Stopkové výstružníky jsou dále rozděleny podle tvaru stopky a to na upnutí přes válcovou stopku nebo přes kuželovou stopku. Nástrčné výstružníky jsou větších průměrů a jsou konstruovány jako celé vystružovací hlavy, které jsou upínány na těleso pomocí speciálního upínače nebo upínacího trnu. [2] [3] [4] [6]

Dle způsobu použití pro průchozí nebo slepé otvory. Z tohoto hlediska je potřeba vyřešit způsob přívodu kapaliny. Princip je ukázán na obrázku 2-4. [2] [3] [4] [6]



Obrázek 2-4 Způsob přívodu kapaliny pro a) průchozí, b) neprůchozí otvor. [6]

2.2 Kinematika vystružování

Hlavní řezný pohyb je rotační a zajišťuje ho výstružník, v případě použití technologie vystružování na soustruhu koná rotační pohyb obrobek. Posuv je přímočarý a zajišťuje ho také výstružník. Pro výpočet řezné rychlosti v_c , posuvové rychlosti v_f a výsledné řezné rychlosti řezného pohybu v_e jsou používány následující vztahy:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1)$$

$$v_f = \frac{f_{ot} \cdot n}{1000} \quad (2)$$

$$f_{ot} = f_z \cdot z \quad (3)$$

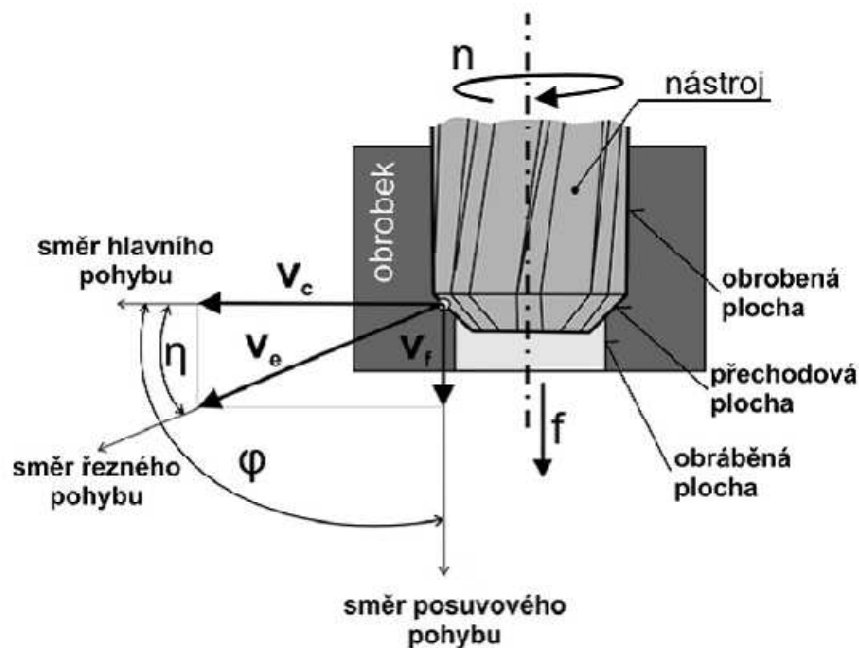
$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad (4)$$

$$\tan \eta = \frac{v_f}{v_c} = \frac{f_{ot}}{\pi \cdot D} \quad (5)$$

Kde jednotlivé znaky znamenají:

- v_c – řezná rychlost [$m \cdot min^{-1}$]
- v_f – posuvová rychlost [$m \cdot min^{-1}$]
- v_e – rychlost řezného pohybu [$m \cdot min^{-1}$]
- D – jmenovitý průměr díry [mm]
- n – otáčky výstružníku [min^{-1}]
- f_{ot} – posuv na otáčku výstružníku [mm]
- f_z – posuv na zub výstružníku [mm]
- z – počet zubů výstružníku [-]
- η – úhel výslednice řezné rychlosti [$^\circ$]

Na obrázku 2-5 je názorně vidět směry jednotlivých řezných rychlostí, směr posuvového pohybu a jednotlivé úhly. [2] [3] [4]



Obrázek 2-5 Obrobek a nástroj a jejich vzájemná kinematika. [2]

2.3 Geometrie jednotlivých výstružníků

Konkrétní geometrii výstružníků má každý výrobce chráněnou a dlouho vyvíjenou, aby splňovala požadované vlastnosti na přesnou výrobu. Geometrii lze alespoň uvést pomocí obecných pravidel, která se neliší od klasických osových nástrojů. Lze tak jednoduše popsat jednotlivé úhly a zbylé geometrické parametry, např. úhel čela γ_o (γ_f , γ_p), úhel hřbetu α_o (α_p), úhel nastavení hlavního a vedlejšího ostří κ_r (κ_r'), poloměr zaoblení ostří r_n , poloměr špičky nástroje r_e a fazetka b_o . Tyto parametry jsou popisovány, protože ovlivňují samotný řezný proces. [2] [5] [6] [10]

Úhel čela γ_o (γ_f , γ_p) ovlivňuje řezný proces nejvíce, protože z jeho velikosti (pozitivní nebo negativní) je závislá intenzita plastické deformace a velikost tření mezi čelem nástroje a vznikající odcházející třískou. Záporné hodnoty tohoto úhly znamenají zvětšení plastické

deformace a většímu tření mezi čelem nástroje a třískou. To má za následek vyšší mechanické opotřebení, které vede až k mechanickému poškození. [2] [5] [6] [10]

Úhel hřbetu α_o (α_p) má velký vliv na polohu hřbetu břitu vůči ploše řezu. Čím je tento úhel menší tím je větší styková plocha mezi hřbetem a plochou řezu a zvyšuje se velikost tření mezi nimi. To má významný vliv na kvalitu obrobku. [2] [5] [6] [10]

Úhel nastavení hlavního ostří κ_r má vliv na velikost průřezu třísky. Tento úhel je mezi obrobkem a obrobekovou plochou v základní rovině. Dále je tímto úhlem určen poměr mezi posuvovou silou a pasivní silou. [2] [5] [6] [10]

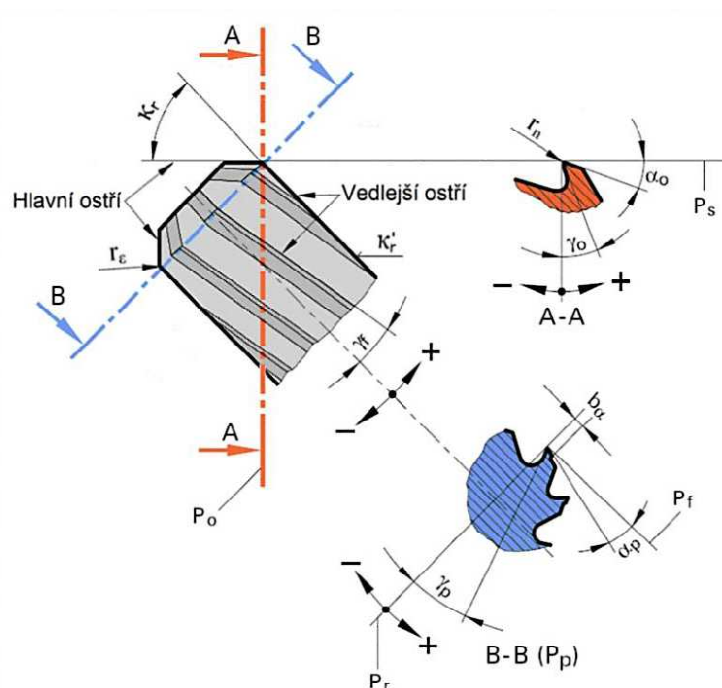
Úhel nastavení vedlejšího ostří κ_r' má velký vliv na výslednou drsnost obrobku. Čím je tento úhel menší tím je drsnost výsledného povrchu nižší. [2] [5] [6] [10]

Poloměr zaoblení ostří r_n má vliv na velikost tloušťky odebírané vznikající třísky. Čím je poloměr menší tím je menší i tloušťka vznikající třísky. [2] [5] [6] [10]

Poloměr špičky nástroje r_e má vliv na výslednou drsnost obrobku a velikost pasivní síly. Čím je poloměr špičky větší tím je menší výsledná drsnost povrchu, ale roste pasivní síla. Poloměr špičky nástroje má také vliv na opotřebení břitu. Čím je větší poloměr tím klesá opotřebení břitu. [2] [5] [6] [10]

Fazetka b_a je válcová ploška. Její funkcí je vedení nástroje v otvoru a velikostně má řádově desetiny milimetru. [2] [5] [6] [10]

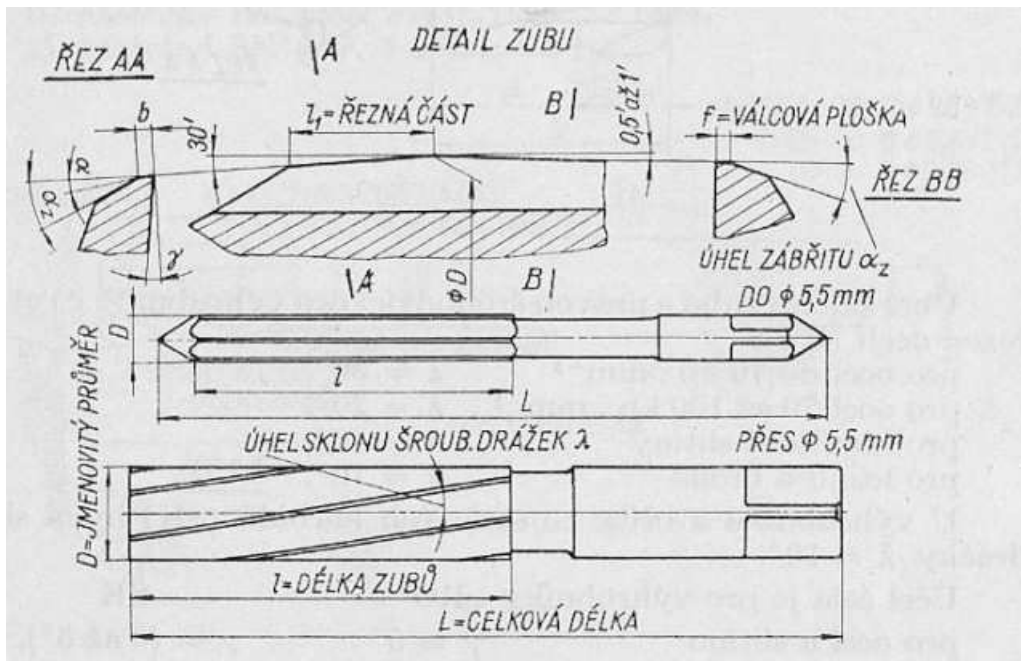
Veškeré geometrické parametry uvedeny výše jsou pro názornost znázorněny na obrázku 2-6.



Obrázek 2-6 Obecná geometrie výstružníku. [9]

2.3.1 Geometrie ručního výstružníku

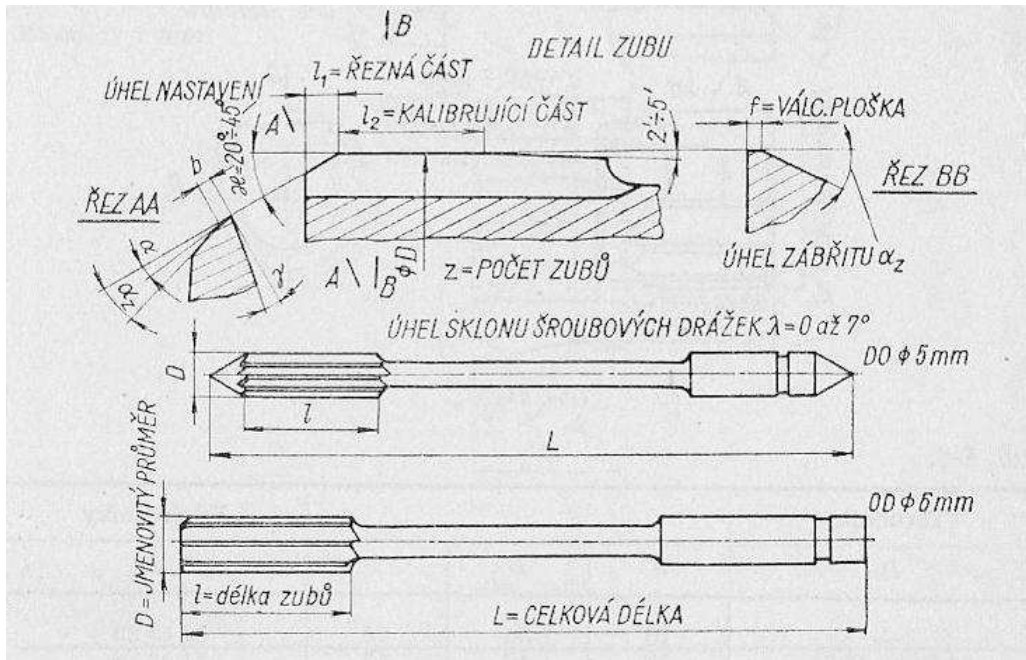
Na obrázku 2-7 je znázorněna obecná geometrie ručního výstružníku. Také je zde patrná delší řezná kuželová část a poté zbylá řezná část, která je také trochu kuželová z důvodu snížení točivého momentu. Také je vidět konec, na kterém je stopka ve tvaru čtyřhranu. Je zde také vidět úhel zábřitu α_z , který je většinou podbrušován v rozmezí 8 až 25°. [8]



Obrázek 2-7 Geometrie ručního výstružníku. [8]

2.3.2 Geometrie strojního výstružníku

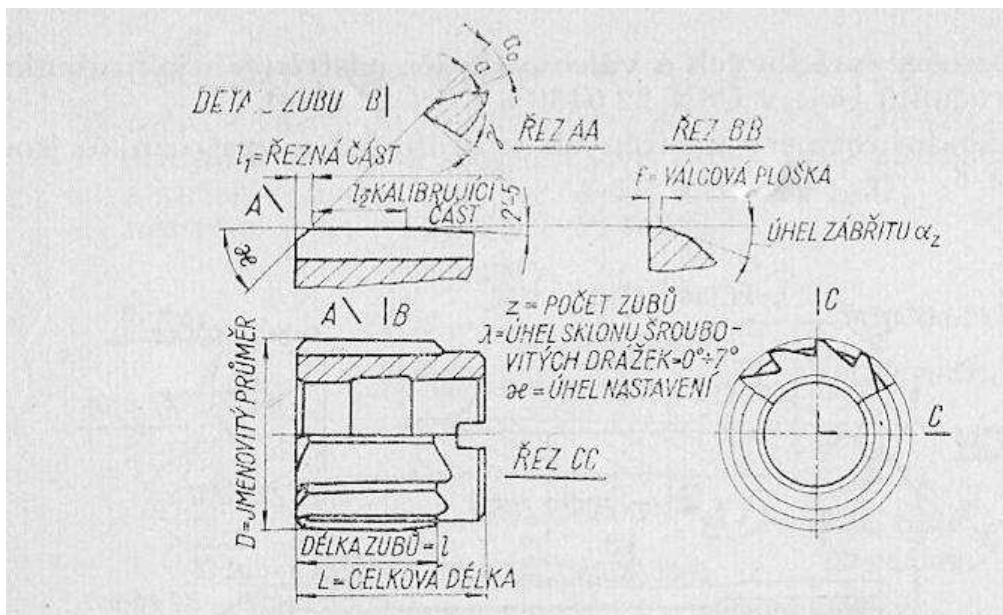
Na obrázku 2-8 je vidět geometrie strojního výstružníku. Oproti ručnímu výstružníku má kratší kuželovou řeznou část. Zároveň má oproti ručnímu výstružníku kratší délku zubů. Úhel zábřitu α_z je opět podbrušován v rozmezí 8 až 25°. [8]



Obrázek 2-8 Geometrie strojního výstružníku s válcovou stopkou. [8]

2.3.3 Geometrie strojního nástrčného výstružníku

Na obrázku 2-9 je znázorněna geometrie strojního nástrčného výstružníku. Opět se jedná o strojní výstružník, tudíž má kratší kuželovitou řeznou část. Celková délka je mnohem kratší než u předchozího typu. Úhel zábřitu α_z je opět podbrušován v rozmezí 8 až 25°. [8]



Obrázek 2-9 Geometrie strojního nástrčného výstružníku. [8]

2.4 Další vztahy pro určení technologie vystružování

Pro správné určení a nastavení technologie vystružování je potřeba nejen znát geometrii výstružníku, ale také určit velikost přídatku pro bezproblémové třískové obrábění. Při špatné

velikosti přídatku může docházet k tváření stěny otvoru namísto odebrání materiálu ve formě třísky nebo k většímu zatížení nástroje, které ovlivní výsledný povrch a jeho drsnost nebo může poničit nástroj. Tím by byla výrazně ovlivněna trvanlivost břitu nástroje a mohlo by dojít k jeho rychlejší destrukci. [2] [3] [10]

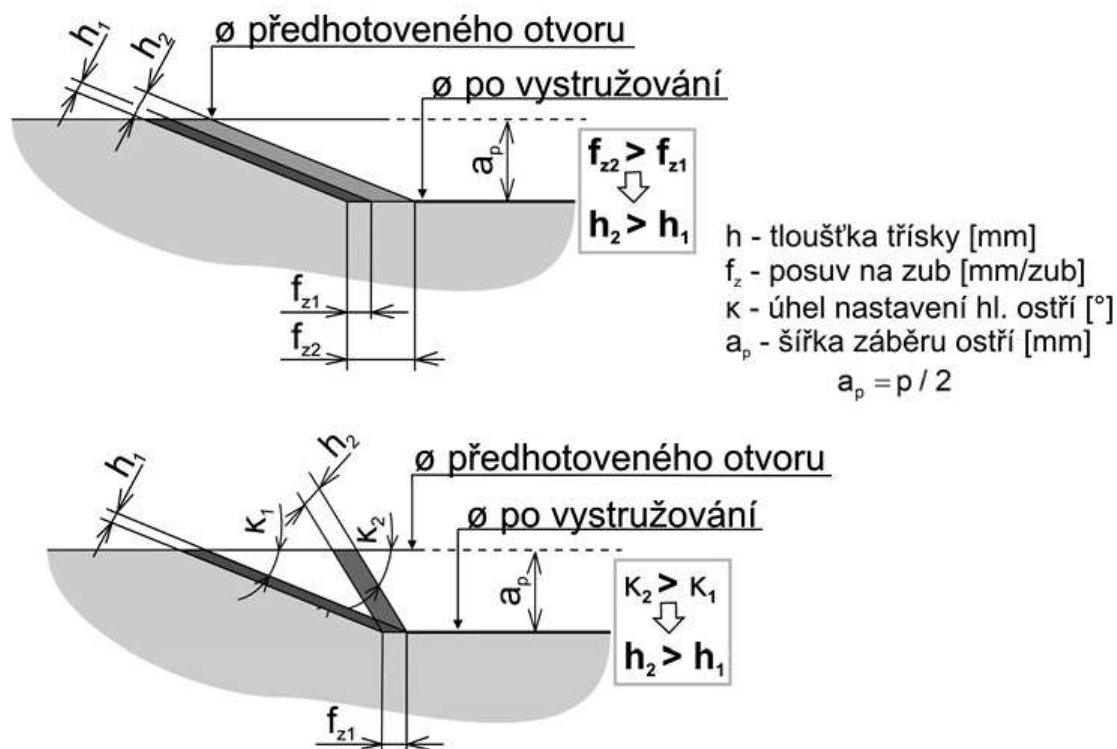
2.4.1 Stanovení velikosti přídatku a tloušťky třísky

Jak již bylo výše napsáno, je potřeba správně určit velikost přídatku na stěně pro správnou funkci nástroje a břitu. Správnou velikostí přídatku je docíleno kvalitnějšího povrchu i rozměru. Pro určení přídatku v technologii vystružování se používá následující vztah. [2] [3] [4]

$$p = 0,1 + 0,005 \cdot D \quad (6)$$

Kde jednotlivé znaky znamenají: p – přídavek na průměr otvoru [mm]
 D – jmenovitý průměr otvoru [mm]

Ze vzorce je patrné, že minimální přídavek na průměr otvoru bude větší než 0,1 mm. Vlivem velikosti přídatku je také ovlivněna velikost vznikající třísky, konkrétně její tloušťka h_{\min} . Tu lze snadno ovlivňovat pomocí změn pracovního posuvu f_z nebo pomocí nastavení úhlu hlavního ostří κ_r . Graficky znázorněno na obrázku 2-10. Zde je patrné, že zvýšením pracovního posuvu dochází také ke zvětšení tloušťky třísky. To samé platí pro zvětšení úhlu nastavení hlavního ostří, tedy čím je větší úhel tím je větší tloušťka odřezávané třísky. Parametr a_p zde představuje hloubku řezu a jeho velikost je přibližně polovinou nastaveného přídatku. [2] [3] [4]



Obrázek 2-10 Vliv pracovního posuvu f_z a úhlu nastavení hlavního ostří κ , na velikost tloušťky odřezávané třísky h . [2]

Jak bylo uvedeno výše v kapitole 2.3, vliv na velikost tloušťky třísky má také poloměr zaoblení ostří r_n . Tento parametr je znám od výrobce výstružníku a následujícím vzorcem lze jednoduše stanovit teoretickou minimální tloušťku odřezávané třísky h_{min} . [2] [3] [4]

$$h_{min} = (0,5 \text{ až } 1) \cdot r_n \quad (7)$$

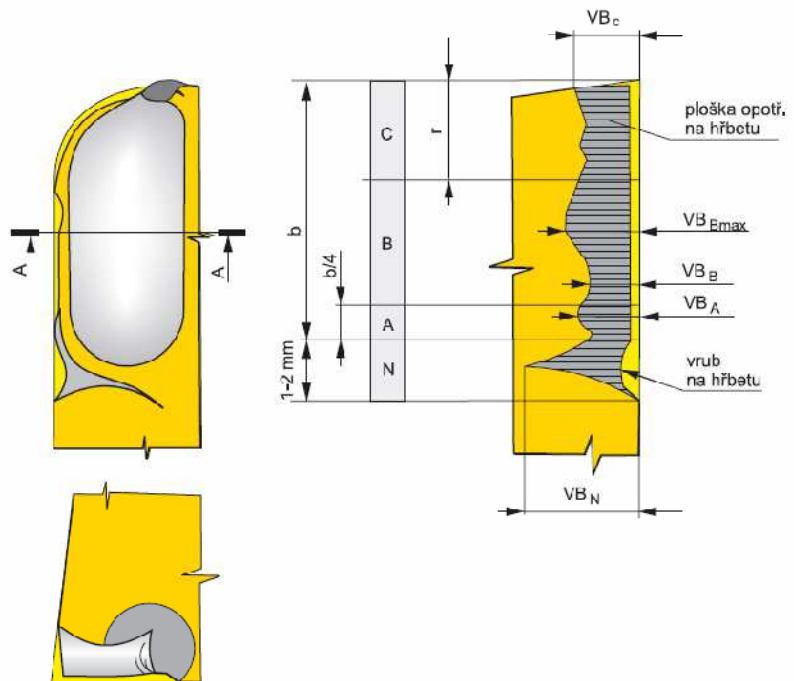
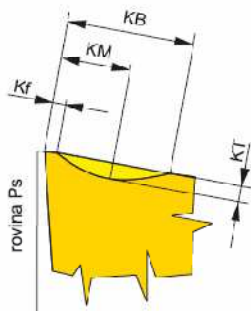
Kde jednotlivé znaky znamenají: h_{min} – minimální tloušťka třísky [mm]
 r_n – zaoblení řezné hrany [mm]

2.4.2 Trvanlivost vystružovacího nástroje

Trvanlivost řezného nástroje je jeden z hlavních aspektů pro volbu toho správného typu nástroje. Trvanlivostí se rozumí jeho doba životnosti po zavedení do řezného procesu až po jeho schopnost bezpečného a kvalitativního provozu. Nástroj není schopný provozu např. po nadměrném opotřebením bříty nebo jeho vylomení. Zda je nástroj schopný provozu je snadno zjištělné. Nejjednodušší je kvalitativní kontrole nově vzniklého otvoru, respektive měření jeho jmenovitého průměru nebo drsnost povrchu. Na nástroji pomocí dílenského mikroskopu se dají určit jednotlivé typy opotřebením na hřbetě nebo na čele viz obrázek 2-11. [3] [4] [5] [10]

ŘEZ A-A

- Kf** = vzdálenost okraje výmolu
KB = šířka výmolu
KM = vzdálenost středu výmolu
KT = hloubka výmolu



Obrázek 2-11 Typy opotřebení a otupení břitu. [4]

V případě technologie vystružování se dá trvanlivost vyjádřit pomocí dráhy řezu nebo pomocí délky vystruženého otvoru dle následujících vzorců. [2] [3]

$$l_T = \frac{\pi \cdot D \cdot n \cdot T}{1000} \quad (8)$$

$$L_T = \frac{\pi \cdot f_{ot} \cdot T}{1000} \quad (9)$$

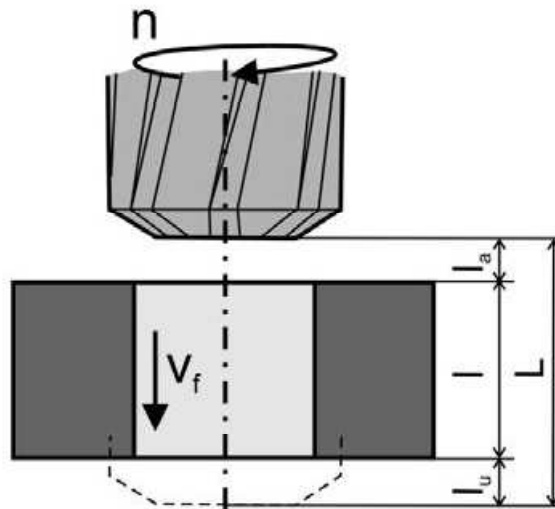
Kde jednotlivé znaky znamenají:

- l_T - dráha řezu [m]
- L_T - délka vystruženého otvoru [m]
- D - jmenovitý průměr otvoru [mm]
- n - otáčky nástroje [min^{-1}]
- T - čas řezného procesu [min]
- f_{ot} - posuv na otáčku nástroje [mm]

2.4.3 Výpočet strojního času

Výpočet strojního času se provádí stejně jako v případě technologie vrtání, tj. přes délku vystruženého otvoru, ke které se připočte dráha náběhu a dráha přeběhu. Součet dráhy náběhu

a přeběhu by se měl teoreticky rovnat jmenovitému průměru otvoru. Na obrázku 2-12 jsou graficky znázorněny jednotlivé rozměry. [2] [3] [6]



Obrázek 2-12 Dráha výstružníku pro výpočet strojního času. [2]

Strojní jednotkový čas t_{AS} je snadno vypočítán podle následujícího vztahu jako poměr ujeté dráhy, posuvu na otáčku a počtem otáček nástroje. [3]

$$L = l + l_a + l_u = l + D \quad (10)$$

$$t_{AS} = \frac{L}{f_{ot} \cdot n} \quad (11)$$

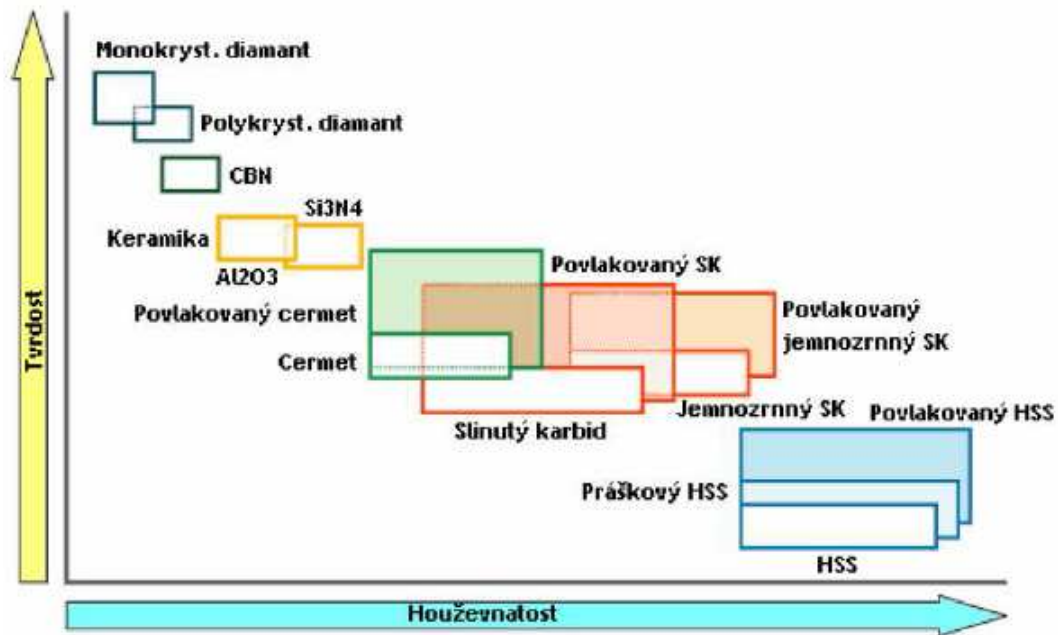
Kde jednotlivé znaky znamenají:

- L - celková ujetá dráha nástroje [mm]
- t_{AS} - strojní jednotkový čas [min]
- l - délka vystruženého otvoru [mm]
- D - jmenovitý průměr otvoru [mm]
- l_a - dráha náběhu [mm]
- l_u - dráha přeběhu [mm]
- f_{ot} - posuv na otáčku nástroje [mm]
- n - otáčky nástroje [min^{-1}]

2.5 Řezné materiály v technologii vystružování

Jako každé odvětví i strojní technika je neustále vyvíjena a spolu s tím jdou vpřed i řezné materiály. Je zřejmé, že řezný materiál je hlavně volen z pohledu použití, tedy do jakého materiálu. Pro technologii vystružování se nejvíce uplatňují řezné materiály ze slinutého

karbidu, cermetu, polykrystalického diamantu (PKD) a polykrystalického kubického nitridu bóru (PKNB). Některé materiály mohou být navíc povlakovány tenkou vrstvou.



Obrázek 2-13 Řezné materiálu v závislosti tvrdosti a houževnatosti. [5]

Na obrázku 2-13 je znázorněna závislost řezných materiálů z pohledu tvrdosti a houževnatosti. Jak je patrné, povlakováním lze dosáhnout lepších vlastností u některých řezných materiálů. [2] [5] [6]

3 INTEGRITA POVRCHU

S vývojem v oblasti strojírenské techniky, převážně ve výrobě přesných tvarů a rozměrů s minimálními odchylkami a mnohem většími požadavky na přesnost, jde ruku v ruce také vývoj měřících prostředků a metrologických metod k jejich měření a vyhodnocení. V současné době je třeba zároveň nahlížet na obrobený povrch nejen z tvarové a rozměrové přesnosti, ale také z funkčního hlediska, ke kterému má daný povrch funkčně sloužit. Vyroběný povrch může totiž po změření základních rozměrů vyhovovat daným požadavkům, ale po změření dalších důležitých parametrů vycházejících právě z jeho funkčních vlastností může dojít ke zjištění, že tomu tak vůbec není. K tomu je potřeba pochopení celého technologického procesu vytváření povrchu, chování obráběného materiálu a dalšími vstupujícími faktory, jako jsou například tepelné ovlivnění obrobeného povrchu, ovlivnění z předchozí technologické operace nebo mechanický či chemický vliv. Zkoumáním povrchu a podpovrchové vrstvy vyrobené plochy se zabývá pojem „Integrita povrchu“. Jak již bylo popsáno, cílem Integrity povrchu je zkoumání povrchové a podpovrchové vrstvy, která je ovlivněna výrobní technologií a vyhodnocení daných parametrů vzhledem k funkci dané plochy. [11] [13]

3.1 Soubory dat Integrity povrchu

Samotný pojem Integrity povrchu neříká konkrétně, jaké parametry jsou důležité pro danou situaci. Zároveň neexistuje jednotná literatura, která by udávala všechny parametry a soubory dat stejně. Následně budou porovnány tři zdroje, které uvádějí jednotlivé parametry Integrity povrchu, ale každý s jiným rozdělením. Literatura [13] uvádí, že existuje více než 200 jednotlivých parametrů, které se dají zjišťovat, měřit a vyhodnocovat. Měřením a vyhodnocováním všech parametrů by bylo časově velice náročné a po finanční stránce vysoce nákladné, ať už se jedná o pořízení měřícího vybavení nebo o personální zajištění k obsluze. V tabulce 3-1 jsou vidět soubory a některé parametry, které pod ně spadají. [13]

Minimální soubor dat	Standardní soubor dat	Rozšířený soubor dat
Rozměry	Minimální soubor dat	Standardní soubor dat
Povrchová úprava	Únavové zkoušky	Pevnost v tahu
Snímky mikrostruktury (zvětšeny 10x a více)	Korozní únava	Zkoušky tečení
Mikrotrhliny	Hodnocení zbytkového napětí	Hodnocení třecích vlastností
Stav mikrotrhlin		Hodnocení kluzných vlastností
Plastická deformace		Hodnocení těsnících vlastností
Drsnost povrchu		Další mechanické zkoušky

Fázové změny		
Chemicko-tepelné změny		
Snímky po leptání		
Mikrotvrdost		

Tabulka 3-1 Jednotlivé soubory dat Integrity povrchu. [13]

Z tabulky 3-1 je patrné, že minimální soubor dat obsahuje nejen základní měřené parametry, mezi které patří měření rozměrů, geometrických tolerancí a jednotlivých parametrů drsnosti povrchu, ale také se zaměřuje na strukturu po technologickém obrábění. Další soubor dat, standardní, rozšiřuje tento soubor o další typy zkoušek, jako jsou zkouška tečení nebo korozní únava. Jedná se o zkoušky, které vyhodnotí, zda je vyrobený povrch schopen obstát provozními podmínkami. V rozšiřujícím souboru dat jsou spíše zkoušky, které by měly sdělit, zda použitý materiál je vhodný pro daný typ výroby nebo funkce, jež má vykonávat. [13]

Další literatura [15] uvádí pouze dva soubory dat a parametrů, které spadají pod Integritu povrchu, viz tabulka 3-2.

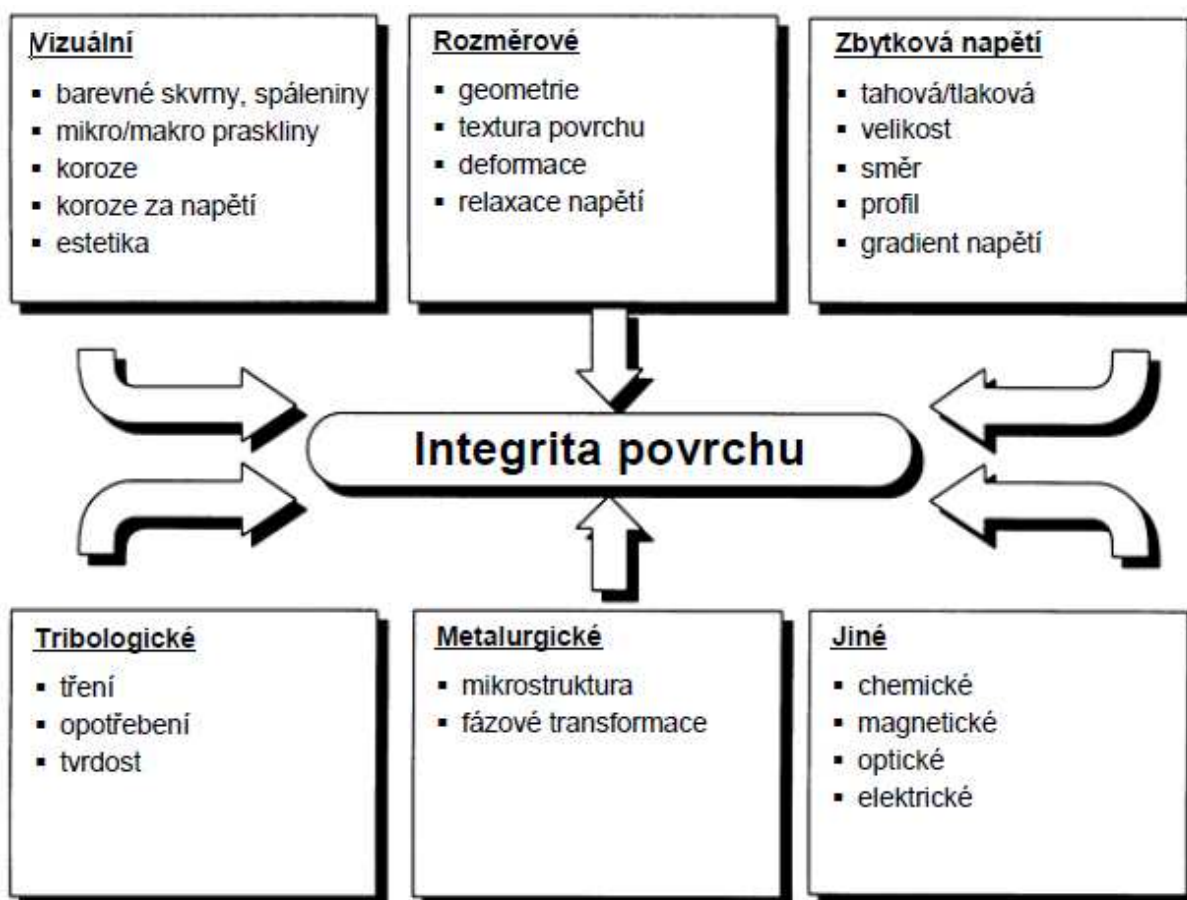
Základní soubor parametrů	
1. Topografie povrchu	<ul style="list-style-type: none"> • Drsnost povrchu • Kontrola existence trhlinek • Kontrola řádkovací mikroskopii
2. Metalurgická kontrola povrchu	<ul style="list-style-type: none"> • Mikrostrukturní změny • Mikrotrhlíky • Vměstky • Mezikrystalická koroze, oxidace • Průběh mikrotvrdosti

Úplný soubor parametrů
Základní soubor parametrů doplněný o následující
<ul style="list-style-type: none">• Velikost a průběh zbytkových napětí• Hodnota vysokocyklové únavy při souměrném střídavém ohybu• Sklon ke korozi pod napětím

Tabulka 3-2 Soubory dat Integrity povrchu. [15]

V tabulce 3-2 je vidět rozdíl oproti tabulce 3-1 pouze v rozdělení do jednotlivých souborů parametrů. Obě literatury uvádějí stejné soubory parametrů (sice jinak pojmenované). Zde však chybí zkoušky materiálů, jako tomu bylo v předchozí tabulce. [15]

Literatura [16] nahlíží na jednotlivé parametry Integrity povrchu a jejich rozdělení více v souvislostech o jaké měření nebo funkce se jedná. Tím rozděluje jednotlivé parametry na 6 skupin a to vizuální, rozměrové, zbytkové napětí, tribologické, metalurgické a jiné, viz obrázek 3-1.



Obrázek 3-1 6 skupin souborů Integrity povrchu. [16]

Z obrázku 3-1 je tedy patrné, jaké všechny zkoušky nebo možnosti měření jednotlivých parametrů existují. Přestože mají všechny tři zdroje jiný pohled na rozřazení jednotlivých parametrů a dat, všechny uvádí několik nejdůležitějších a nejvýznamnějších parametrů, které jsou v rámci Integrity povrchu měřeny a sledovány. [13] [15] [16]

- Geometrie a mikrogeometrie obrobeného povrchu
- Stupeň a hloubka zpevnění povrchové vrstvy
- Strukturní, fázové a chemické změny v povrchové vrstvě
- Smysl, velikost a gradient zbytkových napětí

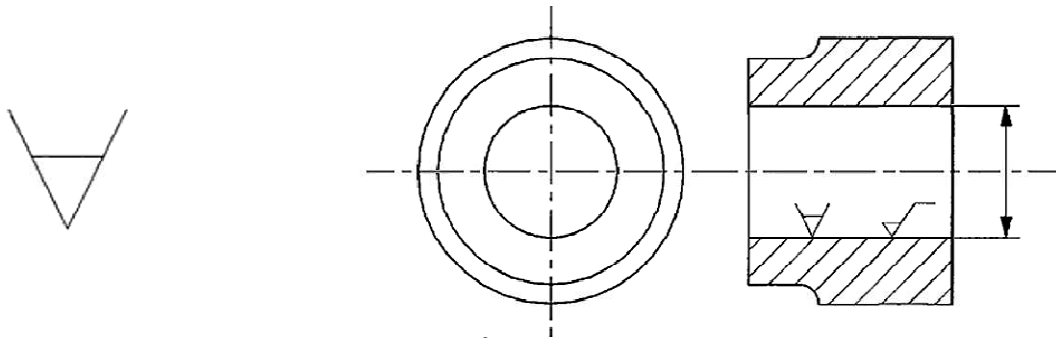
Obecně nelze určit ani doporučit, jaké parametry se mají pro danou součást nebo obrobený povrch sledovat. Vše záleží na funkčnosti a požadované spolehlivosti. Je logické, že se nebudou hodnotit optické vlastnosti (např. odrazivost) na drážku u pera apod. [13]

3.2 Historie a vývoj Integrity povrchu

Přestože měření některých parametrů jako jsou např. rozměrová a geometrická přesnost probíhalo již několik desítek let, samotný pojem Integrity povrchu se poprvé objevil až ve studii procesu obrábění vysocepevných ocelí, která byla prezentována v roce 1964 vědci Fieldem a Kahlesem. Ti jí ve své práci definovali jako:

„Podstatná, nebo zdokonalená podmínka vyrobeného povrchu při obrábění, nebo jiných technologických operacích.“

V průběhu dalších let se spolu s dalšími vědci zaměřili na sjednocení nově vzniklého pojmu a objasnění, co vše bude Integrity povrchu zahrnovat. Byly vytipovány první parametry udávající změny povrchu, mezi které patří například plastická deformace, mikrotrhliny, změny tvrdosti nebo zbytková napětí. Další důležitou prací bylo vyvinout nové měřicí techniky a metody, jak se některé parametry mají měřit a vyhodnocovat. V roce 1972 uvedli Field, Kahles a Camet první detailní popisy jednotlivých metod pro měření a hodnocení Integrity povrchu. V této studii byly dále uvedeny jednotlivé soubory parametrů pro její hodnocení. O několik let později položila tato studie základ pro americká norma ANSI B211.1 (*The American National Standard for Surface Integrity*), která byla vydána v roce 1986. V této normě byl mimo jiné také uveden i symbol značení Integrity povrchu ve výkresové dokumentaci, který se měl uvádět spolu s označením pro drsnost povrchu, viz obrázek 3-2. [11] [13]



Obrázek 3-2 Symbol Integrity povrchu a jeho způsob značení ve výkresové dokumentaci. [13]

Na rozdíl od značení pro drsnost povrchu, neudával tento symbol žádné bližší požadavky na obrobek. Pouze upozorňoval, že je potřeba dát pozor na funkční vlastnosti daného vyrobeného povrchu a že je důležité z hlediska funkčních a provozních vlastností tento povrch otestovat. [13]

Norma ANSI B211.1 byla však po prvních deseti letech v roce 1996 zrušena a dodnes místo ní není žádná náhrada. Přestože Integrity povrchu nemá žádnou předepsanou normu, je o tento pojem nebo obor obrovský zájem a v posledních několika letech vzniká mnoho publikací, které se zabývají tímto pojmem. Od roku 2008 funguje v mezinárodní organizaci CIRP (*The International Academy for Production Engineering*), která sdružuje mnoho výzkumných pracovníků v oboru strojírenské technologie a metrologie výzkumníky z celého světa, nová pracovní skupina CWG (*Collaborative Working Group on Surface Integrity and Functional Performance of Components*). Tato pracovní skupina se zabývá vývojem a vytvářením nových experimentálních nástrojů a technik pro celkové nebo komplexní hodnocení Integrity povrchu. Dále také pracuje např. na modelu, který bude udávat vzájemné souvislosti mezi některými parametry Integrity povrchu a jejich funkční dopad na obrobek nebo rovnou v průběhu obráběcího procesu. První konference, kterou tato skupina uspořádala, se konala na přelomu ledna a února v roce 2012. Zde byly prezentovány první výsledky jejich výzkumu. Další budoucí cíle jsou kladeny na vývoj nových experimentálních nástrojů pro hodnocení měření s ohledem na jednotlivé funkční vlastnosti dle konkrétního využití. [11] [13] [17]

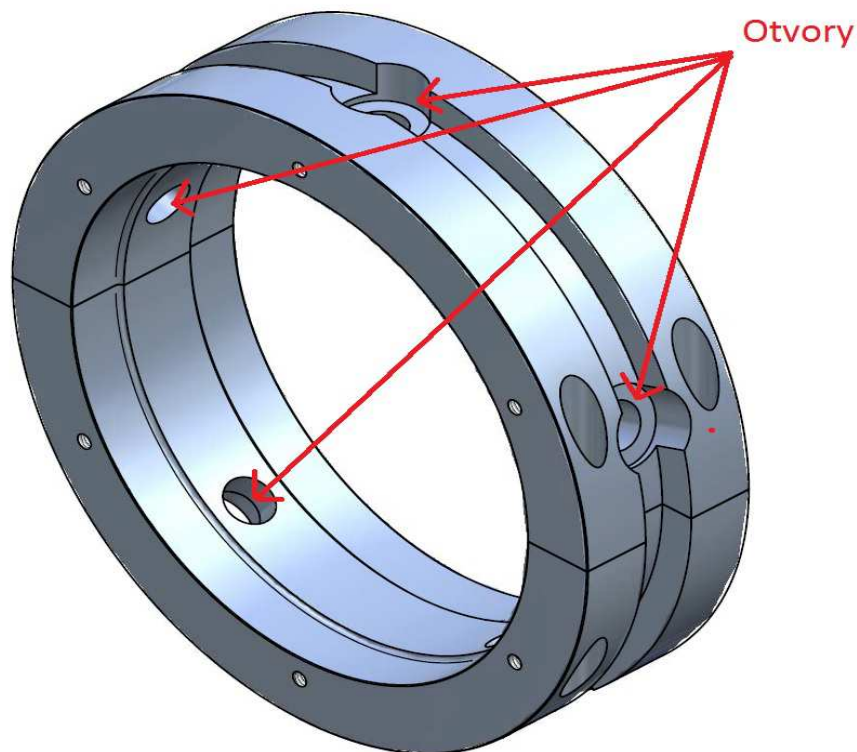
4 SOUBORY VYTIPOVANÝCH PARAMETRŮ NA KONKRÉTNÍCH OTVORECH

V této kapitole budou popsány jednotlivé vystružované otvory, nejen z pohledu jejich technologického postupu výroby, ale také z jejich funkčního využití. Po této analýze budou dále vytipované jednotlivé parametry Integrity povrchu, které mají vliv na spolehlivost, bezpečnost a především správnou a dlouhodobou funkčnost provozu.

K posouzení jsou k dispozici 3 vystružované otvory z různých oblastí využití. Jedná se o vystružovaný otvor, do kterého je vkládána tryska, která žene do ložiska kapalinu. Další vystružený otvor je v držáku na nástroj a konkrétně do tohoto otvoru se vkládá nástroj. Jako třetí je k dispozici vystružovaný otvor, který je součástí hydraulického systému.

4.1 Součást naklápěcího kluzného ložiska

Pro první posouzení je dáno těleso od společností GTW BEARINGS s.r.o., které je součástí naklápěcího kluzného ložiska. Toto kluzné ložisko se vyznačuje především velmi tichým chodem i při vyšších otáčkách hřídele. To je dosaženo právě díky možnosti naklápění jednotlivých segmentů ložiska do co nejideálnější pracovní polohy. Součást je vidět na obrázku 4-1, kde jsou vyznačeny jednotlivé vystružované otvory.



Obrázek 4-1 Součást naklápěcího kluzného ložiska.

Tato součást je vyráběna z materiálu dle ČSN 12 050.1 (dle DIN C45). Jedná se o nelegovanou uhlíkovou ocel. Tato ocel je vhodná k dalšímu tepelnému zpracování, např. zušlechťování, povrchové kalení. Tento materiál je vhodný použit na výrobu méně namáhaných součástí. Jeho nejčastější využití je v normalizačně žíhaném stavu. Další vlastnosti jsou dále dosaženy dalším tepelným zpracováním, např. kalením s následným popuštěním pro zlepšení jeho mechanických vlastností. V tabulce 4-1 je uvedeno chemické složení oceli. Mechanické vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tabulce 4-2. [22]

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

Tabulka 4-1 Chemické složení oceli 12 050 dle ČSN. [22]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Mez kluzu ($R_{p0,2}$)	MPa	min. 326
Mez pevnosti (R_m)	MPa	min 540
Tvrdost dle Brinella	HB	max. 225
Tažnost (A_5)	%	Min. 17
Modul pružnosti v tahu (E)	GPa	50,3
Modul pružnosti ve smyku (G)	GPa	204

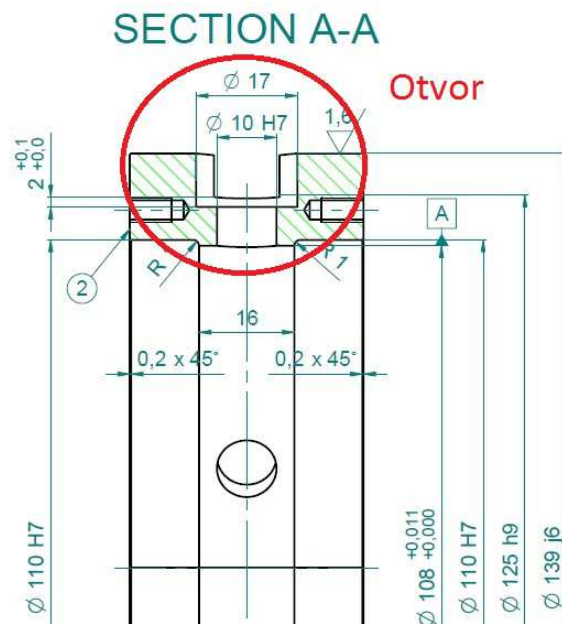
Tabulka 4-2 Mechanické vlastnosti oceli 12050 dle ČSN. [22]

Vystružované otvory, které budou posuzovány, se nachází po obvodu této součásti uvnitř mazací drážky. Jak bylo uvedeno na začátku této kapitoly, jedná se o otvory, do kterých jsou vkládány trysky. Trysky mají za úkol přivádět mazací kapalinu do pracovní části součásti. Počet vystružených otvorů závisí na velikosti a typu daného ložiska a jejich počet se pohybuje v rozmezí 2 – 6 vystružených otvorů. Na technologii vystružování je kladen velký důraz, neboť se jedná o dokončovací proces, který je prováděn téměř na konci výroby celé součásti. Jelikož cena této součásti je poměrně vysoká, požadavky na vystružovaný otvor jsou pochopitelně vysoké.

Jednotlivé požadavky na vystružený otvor:

- Veškeré rozměrové a geometrické požadavky mají splňovat IT7
- Průměr vystruženého otvoru 10 mm v toleranci H7
- Parametr drsnosti $R_a < 0,8 \mu\text{m}$ (v některých případech je povoleno $R_a < 1,6 \mu\text{m}$)
- Kruhovitost do $6 \mu\text{m}$
- Válcovitost do $6 \mu\text{m}$

Na obrázku 4-2 je zobrazen řez součásti, na kterém je také vyznačen posuzovaný otvor 10H7.



Obrázek 4-2 Řez součásti s vyznačeným otvorem na vystružování.

Pro optimální vytipování měřených parametrů je důležité znát co nejvíce informací z technologického postupu otvoru a zároveň jeho funkční využití. Znalost technologického postupu, způsob upnutí a mazání, zda se jedná o průchozí nebo neprůchozí otvor a především dostatečná příprava před závěrečným vystružováním otvoru jsou velice důležité. Technologie vystružování již pouze dokončuje předpřipravený otvor a na ovlivnění geometrických vlastností nemá již dostatečně velký vliv.

K výrobě je ve společnosti GTW BEARINGS s.r.o. používáno více-osé obráběcí centrum Makino A51NX (technické specifikace stroje jsou uvedeny v příloze). Technologický postup se skládá z následujících 4 operací. První operací je vrtání pomocí monolitního vrtáku ze slinutého karbidu. Kapalina je do tohoto procesu přiváděna středem nástroje. Vrtáním je vytvořen průchozí otvor o průměru 9,8 mm v celkové délce 15,5 mm. Další operací je vytvořeno válcové zahloubení pomocí monolitní frézy ze slinutého karbidu o průměru 10 mm. Kapalina je do procesu přiváděna vnějškem. Válcové zahloubení má průměr 17 mm a hloubku 9 mm. Dále je pomocí monolitního srážече hran ze slinutého karbidu o průměru 16 mm vytvořena hrana 0,5 x 45° na dně vyhloubeného otvoru. Kapalina je do této operace opět přiváděna vnějškem. Nakonec je pomocí monolitního výstružníku o průměru 10H7 mm vystružen otvor o celkové délce 6,5 mm v požadované kvalitě povrchu a požadované toleranci. Další parametry jednotlivých operací jsou uvedeny v tabulce 4-3.

Parametr/operace	VRTÁNÍ	VYHLOUBENÍ	SRÁŽENÍ HRAN	VYSTRUŽOVÁNÍ
Průměr nástroje [mm]	9,8	10	16	10 H7
Počet zubů	2	4	2	6
v_c [m/min]	75	94	150	6
n [ot./min]	3000	3000	3000	200
f_z [mm/zub]	0,075	0,025	0,025	0,042
v_f [mm/min]	450	300	150	50
Zpětný posuv [mm/min]	Rychloposuv	Rychloposuv	Rychloposuv	500

Tabulka 4-3 Podmínky při výrobě otvoru.

4.1.1 Vytipované parametry Integrity povrchu

Pro vytipování parametrů jsou známy podmínky technologického postupu výroby vystružovaného otvoru i jeho funkční využití. Parametry jsou rozděleny do jednotlivých skupin podle časové náročnosti, ceny a logického pořadí měření (je vcelku nelogické začít měřit např. válcovitost otvoru a až poté zjistit, že daný otvor nevyhovuje již předepsanému průměru).

a) Základní parametry

- Průměr otvoru 10H7 mm
- Lineární drsnost povrchu – parametry Ra, Rz

Jako nejdůležitější parametr je zajisté dodržení daného průměru otvoru. Pokud by byl průměr příliš malý, tryska by do otvoru nešla vložit. V opačném případě, kdy by byl otvor zase příliš velký, vzniká možnost, že nebude zajištěna dostatečná těsnost trysky v otvoru a kapalina by začala unikat ven. Lineární parametry drsnosti povrchu dávají bližší pohled, jak daný povrch přibližně vypadá. Bohužel tyto parametry nemají dostatečnou vypovídající hodnotu o vzhledu povrchu, proto je ideálnější tyto parametry nahradit plošnými parametry drsnosti povrchu Sa a Sz.

b) Geometrické odchylky

- Válcovitost
- Kolmost

Z pohledu funkčnosti vystruženého otvoru jsou geometrické odchylky velice důležitými parametry. V případě kolmosti je potřeba, aby trysky vstříkovaly kapalinu pod stálým úhlem a tedy aby nedošlo k vychylování kluzných segmentů ložiska. Válcovitost je důležitá hlavně z hlediska těsnosti otvoru kolem trysky. Pokud bude dodržena špatná válcovitost a otvor se bude směrem dovnitř součásti rozšiřovat (otvor bude spíše kuželovitý), může docházet k úniku kapaliny.

Pro tuto součást, respektive vystružený otvor, je tedy vytipováno celkem 5 parametrů, které mají zásadní vliv na spolehlivý a bezpečný provoz ložiska. Pořadí měření jednotlivých parametrů by mělo být následující:

- a) Průměr otvoru 10 H7 mm
- b) Lineární drsnost Ra a Rz
- c) Geometrické odchylky – válcovitost, kolmost

4.2 Součást – VDI držák na nástroj

Druhou součást s vystružovaným otvorem poskytla společnost HOFMEISTER s.r.o. Tato součást je následně uchycena do revolverové hlavy u soustruhu. Vystružený otvor na tomto držáku slouží k uchycení řezného nástroje, tudíž z pohledu funkčnosti otvoru je třeba dodržet vysoké požadavky na kolmost i válcovitost vystruženého otvoru. Součást s vyznačeným vystruženým otvorem je na obrázku 4-3. Společnost vyrábí několik variant těchto držáků, které se liší velikostí a vystružovaným průměrem.



Obrázek 4-3 VDI držák s vyznačeným vystruženým otvorem.

Tato součást je vyráběna z materiálu dle ČSN 12 050.3. Využití, chemické složení a mechanické vlastnosti této oceli byly popsány v kapitole 4.1. Oproti předchozí součásti, kdy byla tato ocel pouze normalizačně vyžhána, je ocel pro tento držák navíc vyžhána na měkko pro získání lepších vlastností, převážně lepší obrobiteľnosti. V následující tabulce 4-4 jsou vypsány mechanické vlastnosti oceli 12050 po vyžhání na měkko. [22]

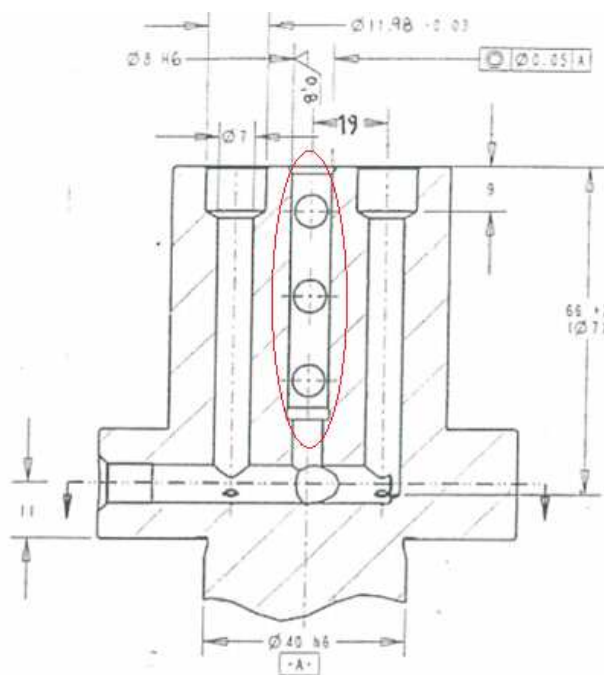
Parametr	Jednotka	Hodnota
Mez kluzu ($R_{p0,2}$)	MPa	281
Mez pevnosti (R_m)	MPa	606
Tažnost (A_5)	%	29
Tvrdość	HV ₁₀	166
Modul pružnosti v tahu (E)	GPa	204
Kontrakce (Z)	%	50,3

Tabulka 4-4 Mechanické vlastnosti oceli 12 050.3 (zkušební tyče dle ČSN 42 0315). [22] [23]

Vystružovaný otvor je v dolní části VDI držáku. Vystružovaný průměr otvoru je ve 3 variantách a to 8, 10 a 12 mm, všechny v toleranci H6. Pro další posouzení bude detailně popsán postup výroby na VDI držáku s vystružovaným průměrem 8 H6 mm do hloubky 61 mm. Požadavky společnosti HOFMEISTER s.r.o. na vystružený otvor jsou následující:

- Průměr vystruženého otvoru 8 mm v toleranci H6
- Parametr drsnosti $R_a < 0,8 \mu\text{m}$ (v některých případech je povoleno $R_a < 1,6 \mu\text{m}$)

Na obrázku 4-4 je zobrazen vystružovaný otvor v řezu, kde je patrné, že se jedná o neprůchozí otvor.



Obrázek 4-4 VDI držák v řezu s vyznačeným vystruženým otvorem.

K výrobě je ve společnosti GTW BEARINGS s.r.o. používáno frézovací centrum AXA-DBZ (technické specifikace stroje jsou uvedeny v příloze). Technologický postup výroby otvoru o průměru 8 mm a v toleranci H6 se skládá z pěti operací. První operací je navrtání otvoru o průměru 7,8 mm do plného materiálu pomocí čelní válcové frézy ze slinutého karbidu o průměru 7 mm do hloubky 6,5 mm. Následuje vrtání průměru 7,8 mm do hloubky 61 mm pomocí šroubovitého vrtáku ze slinutého karbidu s povlakem z TiAlN, který má průměr 7,8 mm. Jako třetí operace je opět použití šroubovitého vrtáku, tentokrát o průměru 7,1 mm. Tento šroubovitý vrták vrtá dno otvoru na průměr 7,1 mm až do celkové hloubky 69 mm od horní základny otvoru. Tento vrták je opět ze slinutého karbidu s povlakem z TiAlN. Pomocí čtvrté operace je vytvořeno sražení hrany 1,5 x 30°. Na tuto operaci je používána tvarová fréza o průměru 6 mm ze slinutého karbidu. Jako poslední je technologie vystružování. Je použit výstružník s průměrem 8H6 mm ze slinutého karbidu s povlakem DARWIN. Otvor je vystružován do hloubky 61 mm v požadované kvalitě povrchu a požadované toleranci. Další parametry jednotlivých operací jsou uvedeny v tabulce 4-5. Veškeré operace mají vnitřní chlazení.

Parametr/operace	NAVRTÁNÍ	VRTÁNÍ	VRTÁNÍ	SRÁŽENÍ HRANY	VYSTRUŽOVÁNÍ
Průměr nástroje [mm]	7	7,8	7,1	6	8 H6
Počet zubů	2	2	2	4	6
v_c [m/min]	77	49	49	94	80
n [ot./min]	3500	2000	2000	5000	3200
f_z [mm/zub]	0,05	0,1	0,1	0,02	0,4
v_f [mm/min]	170	190	190	100	1280
Zpětný posuv [mm/min]	8000	8000	8000	8000	30000

Tabulka 4-5 Podmínky při výrobě otvoru.

4.2.1 Vytipované parametry Integrity povrchu

Pro vytipování parametrů jsou známy všechny podmínky technologického postupu výroby vystružovaného otvoru i jeho funkční využití. Parametry jsou opět rozděleny do jednotlivých skupin podle časové náročnosti, ceny a logického pořadí měření.

a) Základní parametry

- Průměr otvoru 8H6 mm
- Lineární drsnost povrchu – parametry Ra, Rz

Jeden z nejdůležitějších parametrů je opět dodržení předepsaného průměru vystružovaného otvoru. V případě, že bude otvor příliš malý, vznikne problém se zasunutím nástroje do otvoru. V opačném případě, kdy bude otvor nad požadovanou toleranci, může docházet ke špatné tuhosti upnutí nástroje ve VDI držáku nebo ke špatnému obrábění při použití špatného upnutí. Lineární parametry drsnosti povrchu Ra a Rz opět vypovídají o stavu povrchu po vystružování, ale stejně jako v předchozí kapitole, plošné parametry Sa a Sz mají větší vypovídající hodnotu o stavu povrchu.

b) Geometrické odchylky

- Válcovitost
- Kolmost
- Házivost

Z hlediska správné funkčnosti je potřeba dodržení výše uvedených geometrických odchylek. Pro správnou funkčnost upnutého nástroje je potřeba, aby byl nástroj dostatečně tuhý s minimální hodnotou házení na konci nástroje. Pokud bude splněna podmínka kolmosti, tak osa nástroje bude mít minimální odchylky a výrobce tak může deklarovat spolehlivou výrobu pomocí nástroje ve VDI držáku. V případě válcovitosti otvoru budou požadavky na pevné ukotvení nástroje v otvoru. Pokud bude mít otvor válcovitost nad tolerancí a otvor bude spíše kuželovitý, může docházet ke kmitání nástroje při jeho provozu a tím pádem i ke špatnému obrábění.

c) Parametry z hlediska provozu

- Mikrotvrдость povrchu
- Hloubka zpevnění

Parametry mikrotvrдость a hloubka zpevnění jsou důležité z hlediska provozních podmínek, které budou na otvor přes nástroj kladeny. Jedná se převážně o rázy, které přes nástroj budou působit právě na stěny otvoru. Je proto nasnadě, aby výrobce dokázal garantovat, že i při vysokých rázech a zatížení na nástroj, je otvor dostatečně zpevněn nejen na povrchu, ale i do určité hloubky pod povrchem.

Pro tuto součást, respektive vystružený otvor, je tedy vytipováno celkem 8 parametrů, které mají zásadní vliv na spolehlivý a bezpečný provoz. Pořadí měření jednotlivých parametrů by mělo být z hlediska ekonomičnosti a časové náročnosti následující:

- a) Průměr otvoru 8 H6 mm
- b) Lineární drsnost Ra a Rz
- c) Geometrické odchylky – válcovitost, kolmost
- d) Zkouška házivosti
- e) Zkouška mikrotvrdosti a hloubka zpevnění

Jelikož zkouška mikrotvrdosti a hloubka zpevnění probíhají na odebraném vzorku, je spíše doporučeno tyto zkoušky provádět při vývoji dané součásti, protože výroba jedné součásti je ekonomicky náročná a testování na jedné součásti v každé sérii výroby by tak bylo ekonomicky nevýhodné.

4.3 Vystružovaný otvor v hydraulickém systému

Jako třetí vystružovaný otvor v reálné výrobě je vyráběn na součásti, která je součástí hydraulického systému ve společnosti Danfoss s.r.o. Jedná se o pístní otvor, ve kterém se pohybuje píst. Při vysokých provozních podmínkách je důležité splňovat nejvyšší kritéria spolehlivosti a bezpečnosti provozu celého systému. V této stati bude k vytipování parametrů posuzován používaný materiál dle DIN 1693-73 GGG60 (ČSN 42 2306). Jedná se o tvárnou perliticko-feritickou litinu. Tento materiál je doporučován pro výrobky, které jsou vysoce namáhány a působí na ně vysoké tlaky. Zároveň další výhodou tohoto materiálu je jeho dobrá otěruvzdornost. Díky těmto vlastnostem je tento materiál používán např. na klikové nebo vačkové hřídele, na ozubená kola, písty a pístní kroužky nebo hydraulické systémy. Další vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 4-6. [24]

Skupina materiálů podle ČSN 42 0006	3: Pro vyšší tlaky a namáhání 4: Otěruvzdorné
Třída odpadu podle ČSN 42 0030	225
Technické dodací předpisy	ČSN 42 1242
Nejnižší MPa mez 0,2 o 0,2	370
Nejnižší pevnost MPa v tahu oPt MPa	600
Nejnižší tažnost δ5 %	3
Tvrdość podle Brinella HB	190 až 270
Charakteristika litiny a vhodnost použití	Struktura je tvořena perlitem, feritem a zrnitým grafitem. Vzhled lomu je světle šedý. Litina je vhodná na odlitky s tloušťkou stěn 5 až 100 mm, jako např. na součásti namáhané mechanicky a otěrem, na klikové a vačkové hřídele, na ozubená kola, válce, na písty a pístní kroužky apod.

Tabulka 4-6 Vybrané vlastnosti materiálu DIN GGG60. [24]

Výsledný vystružovaný otvor je vyhotoven pomocí dvou operací. První operací je vrtání pomocí vrtáku o průměru 11,8 mm ze slinutého karbidu do hloubky 55 mm skrz a vytvoření tak průchozího otvoru. Poté následuje technologie vystružování pomocí výstružníku o průměru 12 H7 mm v požadované kvalitě povrchu a také v požadované toleranci do hloubky 40 mm. Řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 4-7.

Parametr/operace	VRTÁNÍ	VYSTRUŽOVÁNÍ
Průměr nástroje [mm]	11,8	12 H7
v_c [m/min]	150	100 – 350
n [ot./min]	4050	2650 – 9285
f_z [mm/zub]	0,12	0,6
v_f [mm/min]	1013	1590 - 5571
Zpětný posuv [mm/min]	45000	10 000

Tabulka 4-7 Podmínky při výrobě otvoru.

Intervaly některých řezných podmínek, které jsou uvedeny v tabulce 4-7, znamenají proměnlivé hodnoty, které byly použity v experimentu. Experiment je popsán a vyhodnocen v kapitole 5.1.3.

4.3.1 Vytipované parametry Integrity povrchu

Výsledný vystružený otvor má kvalitativní požadavky úrovně IT 7 s lineární drsností povrchu R_a v rozmezí 0,4 – 1,6 μm . Pro vytipování parametrů jsou známy všechny podmínky technologického postupu výroby vystružovaného otvoru i jeho funkční využití. Parametry jsou opět rozděleny do jednotlivých skupin podle časové náročnosti, ceny a logického pořadí měření.

a) Základní parametry

- Průměr otvoru 12H7 mm
- Lineární drsnost povrchu – parametry R_a , R_z

Jako základní parametr je zajisté splnění předepsaného rozměru otvoru. Pokud je předepsán daný rozměr, má to z konstrukčního hlediska výrobku jistě dané opodstatnění a je nutné tento rozměr s požadovanou přesností dodržet. Dalšími základními a velmi často požadovanými parametry jsou drsnost povrchu (lineární) R_a a R_z . Bohužel, jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, tyto parametry drsnosti neudávají přesný tvar povrchu, jelikož jsou měřeny pouze na určité linii a jejich velikost se může s vedlejší linií výrazně lišit. Proto je

určitě významnější zabývat se plošnými parametry drsnosti povrchu Sa a Sz, které mají mnohem větší vypovídající hodnotu ohledně toho, jak obrobený povrch skutečně vypadá, jelikož jsou vyhodnocovány na mnohem větší ploše. Měřením těchto parametrů získáme jistotu, že daný otvor je, v případě kladných výsledků, technologicky správně vyráběn.

b) Geometrické odchylky

- Válcovitost
- Kolmost

Z funkčního hlediska je velice důležité dodržet jak geometrické tak povrchové či podpovrchové vlastnosti. Z geometrického hlediska musí tedy otvor splňovat nejen válcovitost, ale také kolmost k dané rovině (v tomto případě se jedná o rovinu kolmou k ose otvoru). Válcovitost válcového otvoru v hydraulickém systému je velice důležitá, protože se v otvoru pohybuje válcový píst. Pokud dojde k většímu vychýlení válcovitosti, může docházet k většímu otírání stěny otvoru a pístu, které po určité době může mít negativní vliv na spolehlivý provoz. Válcovitost otvoru je také důležitá z pohledu těsnosti plochy otvoru a pístu, který se v něm pohybuje. V případě kolmosti se bude jednat o tentýž problém. Otvor sice může splňovat válcovitost, ale velká odchylka od kolmosti bude mít opět za následek větší otírání stěny otvoru i pístu a může vyvolat ten samý negativní vliv z pohledu spolehlivosti. Nutno podotknout, že kombinací velkých odchylek těchto dvou parametrů nemusí zákonitě dojít k negativnímu dopadu na spolehlivost. Je možné, že jednotlivé odchylky se budou vzájemně rušit. Nicméně cílem výroby je dosáhnout co nejlepších a nejkvalitnějších výsledků.

c) Parametry z hlediska provozu

- Mikrotvrдость povrchu
- Hloubka zpevnění
- Fretting test
- Velikost teploty při zatížení a provozu

Po rozměrových a geometrických parametrech je třeba také vyhodnotit parametry, které je dobré sledovat při provozu celého hydraulického systému. V provozu může docházet k rázům pístu na stěnu otvoru, proto je důležité se zaměřit na mikrotvrдость stěny otvoru a do jaké hloubky je materiál zpevněn. V průběhu provozu, kdy bude docházet k tření mezi jednotlivými komponenty, může vznikat vysoká teplota, která bude mít také velký vliv na spolehlivý provoz, zejména po určité době. Jeden z parametrů, který ovlivňuje velikost teploty je koeficient tření daného povrchu. Existuje metoda Fretting test, pomocí které je možné zjišťovat nejen teplotu ve styku dvou materiálů (pokud testovací zařízení obsahuje dané čidlo), ale také velikost koeficientu tření v průběhu zatěžování a při kmitání jednoho tělesa po druhém v závislosti na počtu cyklů. [27]

Pro tuto součást, respektive vystružený otvor, je tedy vytipováno celkem 9 parametrů, které mají zásadní vliv na spolehlivý a bezpečný provoz. Pořadí měření jednotlivých parametrů by mělo být z hlediska ekonomičnosti a časové náročnosti následující:

- a) Průměr otvoru 12H7 mm
- b) Lineární drsnost Ra a Rz
- c) Geometrické odchylky – válcovitost, kolmost
- d) Zkouška mikrotvrdosti a hloubka zpevnění
- e) Fretting test a sledování teploty při zatížení

Jelikož zkouška mikrotvrdosti, hloubka zpevnění, Fretting test a sledování velikosti teploty za provozu probíhají na odebraném vzorku, je spíše doporučeno tyto zkoušky provádět při vývoji dané součásti, protože výroba jedné součásti je ekonomicky náročná a testování na jedné součásti v každé sérii výroby by tak bylo ekonomicky nevýhodné. Těmito zkouškami může výrobce deklarovat, že materiál a použitá technologie dokážou vytvořit dané velikosti některých měřených parametrů.

5 EXPERIMENTY, MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ VYTIPOVANÝCH PARAMETRŮ PRO JEDNOTLIVÉ VYSTRUŽOVANÉ OTVORY

Jak název kapitoly napovídá, v této části je popsáno testování a následně měření a postupné vyhodnocení stanovených parametrů na dříve uvedených vystružených otvory na jednotlivých součástech z reálné výroby. Ke každému otvoru byl navržen experiment, při kterém budou měřeny jednotlivé parametry v daném logickém sledu, které jsou uvedeny v předchozí kapitole. Technické parametry všech použitých strojů a měřících zařízení jsou uvedeny v příloze.

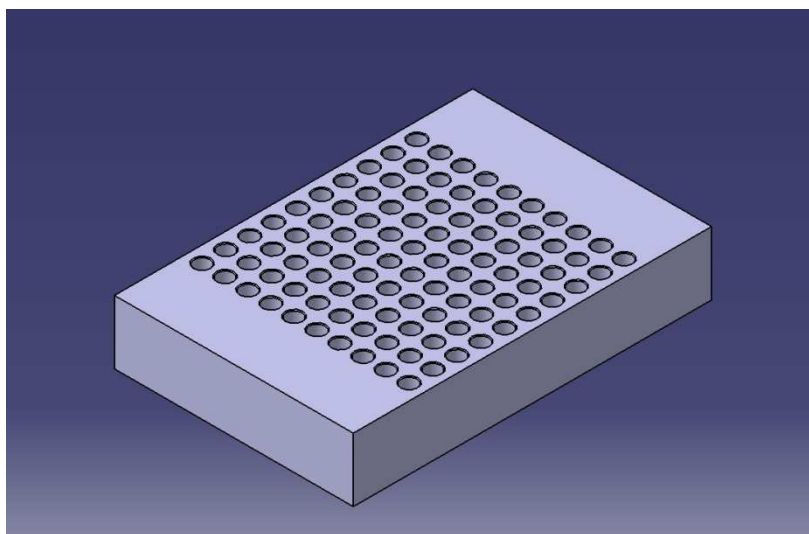
5.1 Popis a průběh jednotlivých experimentů

5.1.1 Součást naklápěcího kluzného ložiska

Pro test byly z prostředků Západočeské Univerzity (dále jen ZČU) zakoupeny polotovary z materiálu, ze kterého je vyráběno kluzné ložisko, tedy 12 050.1. V testu byly poté použity strojní výstružníky s cermetovou špičkou od společnosti HAM-FINAL s.r.o. Cílem experimentu je zhotovit dostatečné množství otvorů, respektive vystružených metrů, pro dostatečné statistické zhodnocení.

5.1.1.1 Příprava experimentu

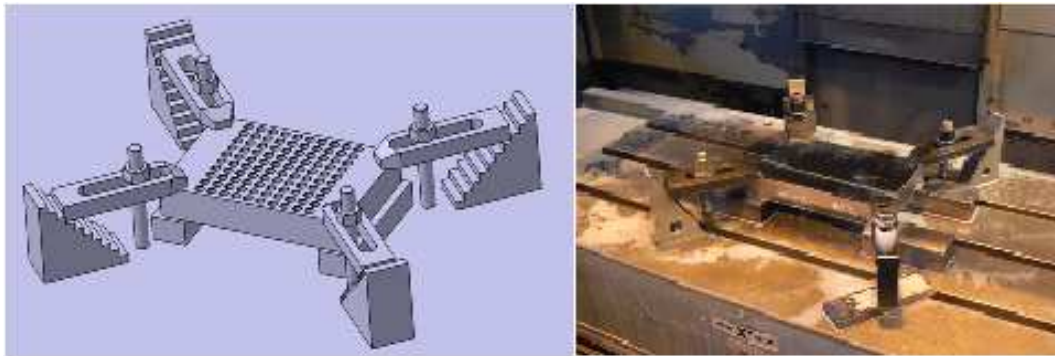
Zvolený experimentální polotovar neodpovídá tvarově prstencovému profilu testované součásti, z důvodu vhodnosti takového polotovaru pro tento experiment. Pro tento experiment byl zvolen kvádr o rozměrech 150 x 225 x 40 mm (š x d x v). Na jednom polotovaru bylo celkově vyrobeno 100 otvorů v matici 10 x 10, celkově tedy 4 metry vystružených otvorů. Grafický model je zobrazen na obrázku 5-1.



Obrázek 5-1 Grafický model obrobku.

Pro experiment bylo potřeba zvolit co možná nejvíce podobný stroj, na kterém je vyráběná součást ve společnosti GTW BEARINGS s.r.o. Tím strojem byl určen vertikální obráběcí centrum MCV 750A.

Jelikož byl zvolen jiný polotovar, než je pro tuto součást používán, byl navržen jiný způsob upnutí. Na obrázku 5-2 je vidět modelový návrh upnutí a poté jeho reálný obraz.



Obrázek 5-2 Grafický model způsobu upnutí obrobku (vlevo) a reálný způsob upnutí na stroji při experimentu (vpravo).

Tento systém by neměl zásadně ovlivnit výsledky obrábění na požadované výsledky od výsledků, které jsou získávány v reálné výrobě.

Pro experiment bylo zapotřebí určit nástroje, které jsou charakterově blízké nástrojům, jež jsou používány v reálné výrobě. Pro technologii vrtání byl použit vrták se 2 břity ze slinutého karbidu s povlakem TiAlN. Jeho průměr odpovídá technologii, tedy 9,8 mm s délkou řezné části 5xD (65 mm). Pro tento vrták je dán vnitřní způsob chlazení. Jelikož technologie vyhloubení nemá vliv na výsledný vystružený povrch, je tato technologie přeskočena, protože je potřeba na polotovaru vystružit co nejdelší úsek. Pro srážení hran byla použita fréza na srážení hran se 4 břity o průměru 10 mm a řeznou částí o délce 16 mm. Fréza je ze slinutého karbidu s povlakem TiAlN. Tento nástroj nemá vnitřní chlazení. Pro poslední technologii vystružování byl použit výstružník od firmy HAM-FINAL s.r.o. Tento výstružník má tělo ze slinutého karbidu, ale břity z cermetu bez povlaku. Nástroj o průměru 10 mm má celkem 6 břitů. Délka řezné části je 20 mm ve šroubovici s úhlem stoupání $\lambda = 30^\circ$. Nástroj má vnitřní chlazení.

5.1.1.2 Podmínky při experimentu

Řezné podmínky pro první dvě technologické operace (vrtání, srážení hrany) byly použity z doporučených pásem od výrobce nástrojů a jsou uvedeny v tabulce 5-1. V případě vrtání prováděno vyplachování po 1xD z důvodu horšího lámání vznikající třísky. V případě srážení hran byl nástroj předem odladěn, aby daná technologie nevykazovala případně

nedostatky. Pro obě technologie byl použit hydro-plastický upínač GÜHRING GM300. Jednotlivé vyložení nástroje byly pro vrták 70 mm a pro srážeč hran 55 mm.

Parametr/operace	VRTÁNÍ	SRÁŽENÍ HRANY
v_c [m/min]	80	94
n [ot./min]	2600	3000
f [mm/ot.]	0,1	0,13
v_f [mm/min]	260	300

Tabulka 5-1 Řezné podmínky technologií vrtání a srážení hrany v průběhu experimentu.

V případě vystružování byly použity proměnlivé řezné podmínky pro zvýšení opotřebení a tím i získání vlivu opotřebení v závislosti na řezné rychlosti. Řezná rychlost začínala v horní polovině doporučené řezné rychlosti od výrobce, konkrétně 80%. Poté byla 3x navýšena tak, aby její konečná řezná rychlost byla cca 110% hodnoty doporučované výrobcem. Řezné podmínky při vystružování jsou uvedeny v tabulce 5-2. Jako upínač byl použit hydro-plastický upínač KENNAMETAL HERTEL (DV40BHCB2008 2m). Vyložení výstružníky bylo 60 mm.

řezná rychlost v_c [m/min]	170	190	210	230
posuv f [mm/ot]	0,3 a 0,5	0,5	0,5	0,5
posuvová rychlost v_f [mm/min]	1623 a 2706	3 024	3 343	3 661
posuvová rychlost v_f [mm/min] - výjezdová	15 000	15 000	15 000	15 000
otáčky nástroje n [ot/min]	5 411	6 047	6 685	7 321
Ujetá vzdálenost [m]	2	2	2	2

Tabulka 5-2 Řezné podmínky při technologii vystružování.

5.1.1.3 Průběh experimentu

Celý experiment proběhl bez větších komplikací. Jak bylo zmíněno v předchozí části, při vrtání bylo prováděno vyplachování každých 1xD z důvodu špatného lámání třísky. Jelikož byl nástroj pro srážení hran předem zaříznutý, nevznikal při této operaci žádný problém. V případě vystružování bylo postřehnuto vznikání šroubovice po první 10ti otvorech. Na zbylých 10 děr při stávající řezné rychlosti byly zvýšeny posuv a posuvová rychlost. Touto

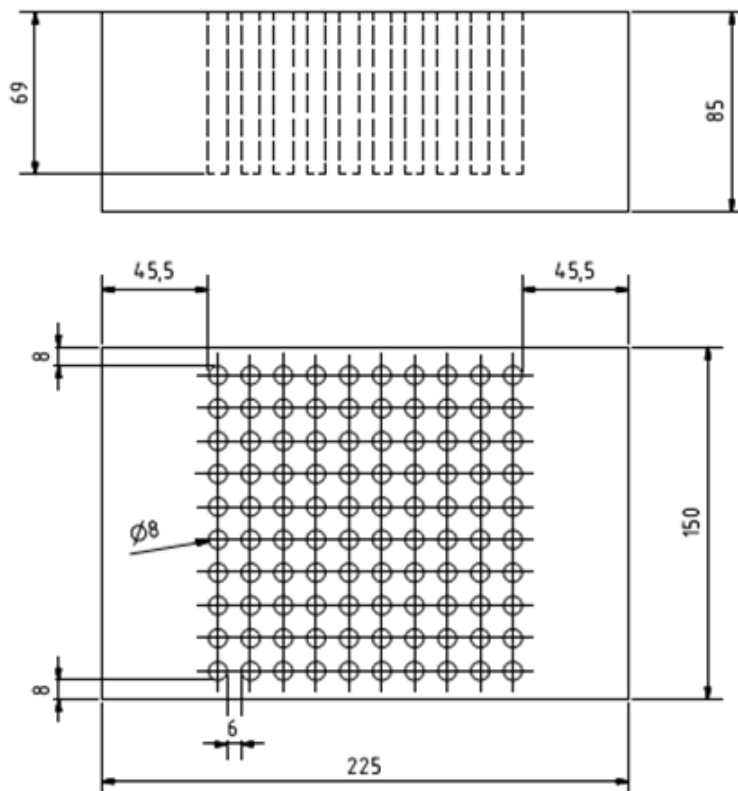
změnou nedošlo zcela k odstranění šroubovice, nicméně poté nebyla tak výrazná. Dále byla přidána prodleva 1 sekundy na konci každého vystruženého otvoru, než začal výstružník vyjíždět z otvoru a to z důvodu odlepení nečistot z nástroje. Po vizuální kontrole otvorů bylo patrné další zlepšení vznikajícího povrchu. Po každých vystružených otvorech byly břity výstružníky kontrolovány na dílenském mikroskopu BLICKLE. V případě opotřebení bylo vše zaznamenáno. Výstružník dokázal vyrobit plánovaných 8 metrů vystružené délky, ale na konci experimentu byl výrazně opotřebený a další použití bylo zcela vyloučené.

5.1.2 Součást – VDI držák na nástroj

Stejně jako u předchozího experimentu byl zajištěn zkušební materiál pomocí prostředků od ZČU. Výstružníky pro dokončovací operaci byly opět použity od společnosti HAM-FINAL s.r.o (dále HF). Opět se jedná o výstružníky s cermetovou špičkou. Společnost HF také dodala jeden tvrdokovový výhrubník pro zlepšení kvalitativních parametrů. Zbylé nástroje dodala samotná společnost HOFMEISTER s.r.o.

5.1.2.1 Příprava experimentu

Stejně jako u předchozího experimentu i tentokrát byl zvolen testovaný materiál, který tvarem neodpovídá polotovaru, ze kterého se vyrábí výsledný VDI držák. Polotovarem byl opět kvádr o rozměrech 150 x 225 x 85 mm (š x d x v), který byl vyžihán na měkko. Na jednom polotovaru bude celkově vyrobeno 100 otvorů v matici 10 x 10. Otvory budou neprůchozí a s hloubkou vystruženého otvoru 61 mm. Na obrázku 5-3 je schéma rozložení jednotlivých děr na obrobku.



Obrázek 5-3 Schéma rozložení vystružovaných děr na obrobku.

Pro experiment bylo opět potřeba zvolit co možná nejvíce podobný stroj, na kterém je vyráběná součást ve společnosti HOFMEISTER s.r.o. Tím strojem je opět vertikální obráběcí centrum MCV 750A.

Jelikož byl také zvolen jiný polotovár, než je pro tuto součást používán, bylo zapotřebí navrhnout jiný způsob upnutí, které bylo stejné jako v předchozím experimentu.

Pro tento experiment nebylo zapotřebí určovat všechny nástroje s podobnými vlastnostmi jako v předchozím případě, jelikož většinu nástrojů poskytla firma HOFMEISTER s.r.o. (viz kapitola 4.2). Změna proběhla akorát v případě tvrdokovového výhrubníku od firmy HF o průměru 7,75 H8 mm ze slinutého karbidu s povlakem TiAlN s 6ti břity. Na technologii vystružování byl připraven nástroj od firmy HF o průměru 8 H6 mm s cermetovou špičkou se 6ti břity. Tvrdokovový výhrubník nenahrazuje žádný nástroj, ale je upraven technologický postup, kdy je mezi 3. a 4. operaci vloženo vyhrubování na průměr 7,75 H8 mm do hloubky 61,2 mm.

5.1.2.2 Podmínky při experimentu

Řezné podmínky jsou stejné, jak bylo uvedeno dříve v kapitole 4.2. Změny proběhly v případě zavedení operace vyhrubování (ta měla za následek i změnu operace č. 2 kdy byl použit menší vrták o průměru 7,5 mm) a také byly upraveny řezné podmínky v technologii vystružování pro nástroj od firmy HF. Řezné podmínky, včetně zvýrazněných změn jsou uvedeny v tabulce 5-3.

Parametr/operace	NAVRTÁNÍ	VRTÁNÍ	VRTÁNÍ	VYHRUBOV ÁNÍ	SRÁŽENÍ HRANY	VYSTRUŽOVÁNÍ
Průměr nástroje [mm]	7	7,5	7,1	7,75 H8	6	8 H6
Počet zubů	2	2	2	6	4	6
v_c [m/min]	77	49	49	25	94	140
n [ot./min]	3500	2000	2000	1027	5000	5573
f [mm/ot.]	0,05	0,1	0,1	0,18	0,02	0,18
v_f [mm/min]	170	190	190	185	100	1008
Zpětný posuv [mm/min]	8000	8000	8000	8000	8000	30000

Tabulka 5-3 Řezné podmínky v průběhu experimentu se zvýrazněnými změnami.

5.1.2.3 Průběh experimentu

V průběhu experimentu začalo docházet k rychlému opotřebení na vrtáku o průměru 7,5 mm a na výhrubníku 7,75 H8 mm (měřeno na dílenském mikroskopu BLICKLE). Celková délka vystružených děr činila v tu dobu 2 m. Na cermetovém výstružníku nebyly v té době žádné známky opotřebení. V dalším průběhu testu byla nasazena původní technologie od společnosti HOFMEISTER s.r.o. (tedy bez použití výhrubníku o průměru 7,75 H8 mm, zpětnou výměnou v 2. operaci na šroubovité vrták o průměru 7,8 mm a za použití nového cermetového výstružníku od firmy HF). V průběhu pokračování experimentu byl výstružník špatnou manipulací poškozen, což mělo za následek jeho vyřazení pro další průběh experimentu. Místo něho byl použit první cermetový výstružník, který měl za sebou již 2 m vystružování bez známky opotřebení. Tento výstružník fungoval správně ještě další 4,5 m vystružování, než došlo k jeho zničení. Celkem tedy tento výstružník zvládl vystružit 6,5 m.

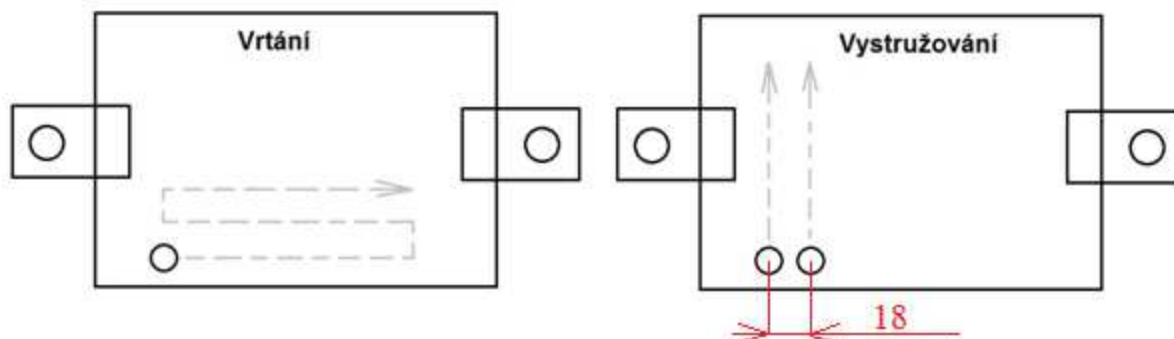
5.1.3 Vystružovaný otvor v hydraulickém systému

Pro tento experiment byly opět zajištěny polotovary pomocí prostředků od ZČU. Polotovary jsou ze shodného materiálu, tedy GGG60. Výstružníky (celkem 6 nástrojů) opět dodala firma HF. Cílem experimentu je zjistit kvalitu povrchu otvoru a velikosti opotřebení břitů nástrojů pro jednotlivé řezné rychlosti po 8 m vystružování.

5.1.3.1 Příprava experimentu

V případě velikosti polotovar se opět jedná o kvádry o rozměrech 205 x 206 x 55 mm (š x d x v). Na jednom polotovaru bude vystružováno celkem 100 otvorů, které jsou rozmístěny v matici 10 x 10 (předpokladem je, že jeden nástroj dokáže vystružit délku min. 8 m, tedy 200

otvorů). Otvory před technologií vystružování budou vyvrtány skrz pomocí vrtáku o průměru 11,8 mm. Bude se tedy jednat o průchozí otvory. Vystružovací nástroj bude pracovat do hloubky 40 mm. Na obrázku 5-5 je znázorněno schéma postupu vrtání a vystružování jednotlivých otvorů. Na obrázku je také vidět způsob upnutí polotovaru.



Obrázek 5-4 Schéma postupu vrtání otvorů (vlevo) a postupu vystružování (vpravo).

Stroj, na kterém experiment proběhl, se nachází ve Vědecko-technickém parku (dále VTP). Veškeré nástroje, které budou použity, jsou uvedeny v kapitole 4.3. Jedná se o vrták o průměru 11,8 mm a výstružník o průměru 12 H7 mm.

5.1.3.2 Podmínky při experimentu

Podmínky pro průběh experimentu jsou v případě vrtání uvedeny v tabulce 4-7. Podmínky pro vystružování a pro jednotlivý nástroj jsou uvedeny v následující tabulce 5-4.

Podmínky/číslo nástroje	1	2	3	4	5	6
v_c [m/min]	100	150	200	250	300	350
f [mm/ot.]	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
v_f [mm/min]	1590	2388	3180	3978	4776	5571
n [ot./min]	2650	3980	5300	6630	7960	9285
$v_{f-výjezd}$ [mm/min]	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
Počet děr	200 (8m)	200 (8m)	200 (8m)	200 (8m)	200 (8m)	200 (8m)

Tabulka 5-4 Jednotlivé řezné podmínky pro technologii vystružování.

5.1.3.3 Průběh experimentu

V průběhu experimentu nevznikaly žádné větší problémy. Na obrázku 5-6 je vidět proces vystružování.



Obrázek 5-5 Průběh technologie vystružování.

Postupně byly použity všechny výstružníky, na kterých byly před a po vystružení délky 8 metrů proměřeny velikosti opotřebení na jednotlivých břitech pomocí dílenského mikroskopu BLICKLE.

5.2 Měření vytipovaných parametrů pro jednotlivé součásti

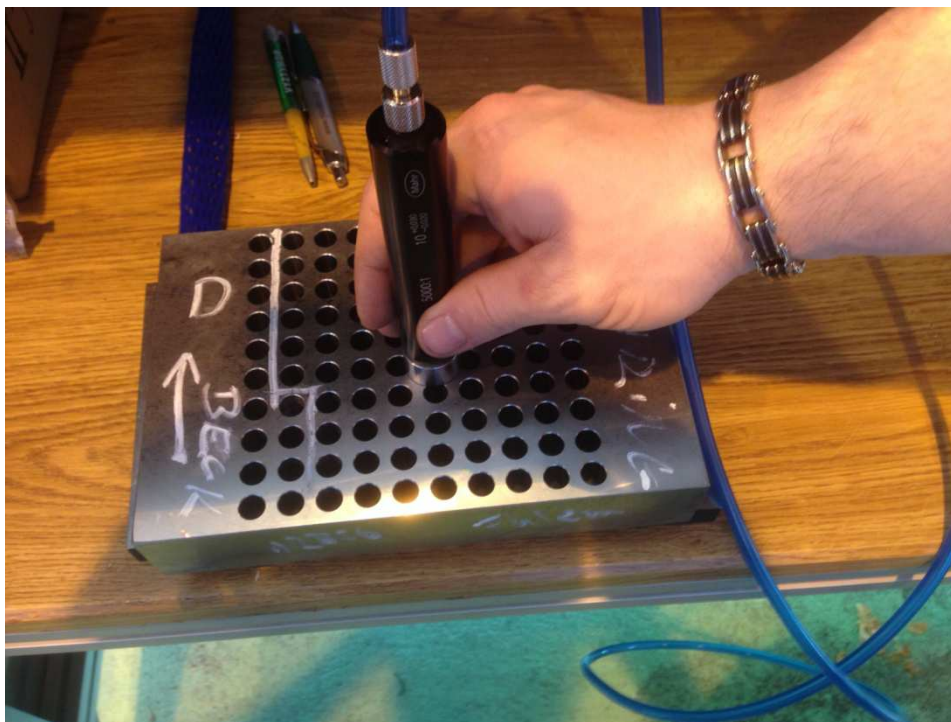
V této podkapitole budou popsány jednotlivé postupy měření a jejich vyhodnocení. Logický sled měřených parametrů jednotlivých součástí je uveden v kapitole 4. V případě, že výsledky měření budou vykazovat vysoké procento zmetkovitosti, tj. nesplnění požadovaných výsledků, nebudou z ekonomických důvodů probíhat další měření.

5.2.1 Měření parametrů pro naklápěcí kluzné ložisko

5.2.1.1 Průměr otvoru 10 H7 mm

Postup měření

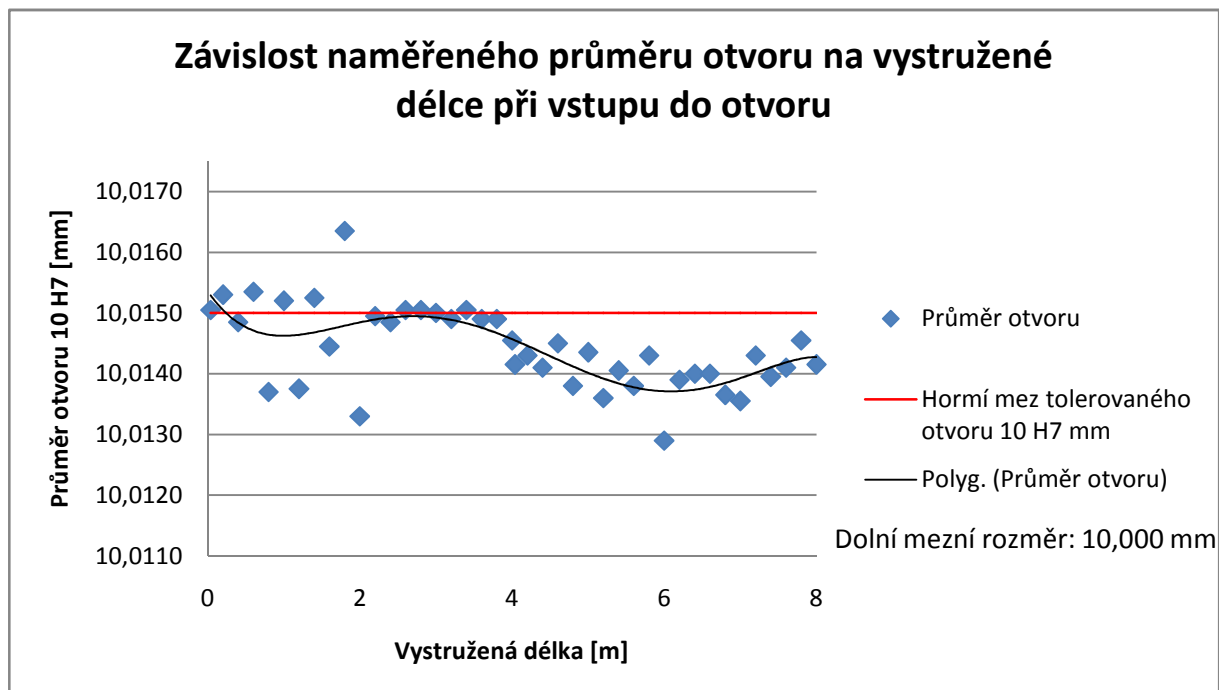
Měření průměru jednotlivých otvorů bude probíhat pomocí Pneumatického snímače Mahr – Millimar S 1840. Postupně budou proměřeny otvor č. 1 a poté každý pátý otvor (5, 10, 15...101, 105, 110...190, 195, 200). Každý otvor bude přeměřen ve dvou hloubkách a to na vstupu (hloubka 3 mm) a výstupu otvoru (hloubka 37 mm). Na každé hloubce budou naměřeny 4 hodnoty (každá hodnota vždy pootočením snímače o 90°) a zaznamenány budou minimální a maximální hodnoty, ze kterých poté bude spočtena střední hodnota. Výsledkem měření budou dva grafy, které budou zobrazovat velikost průměru otvoru v závislosti na vystružených metrech pro vstupní a výstupní hloubku. Na obrázku 5-7 je vidět fotka z měření otvoru č. 55.



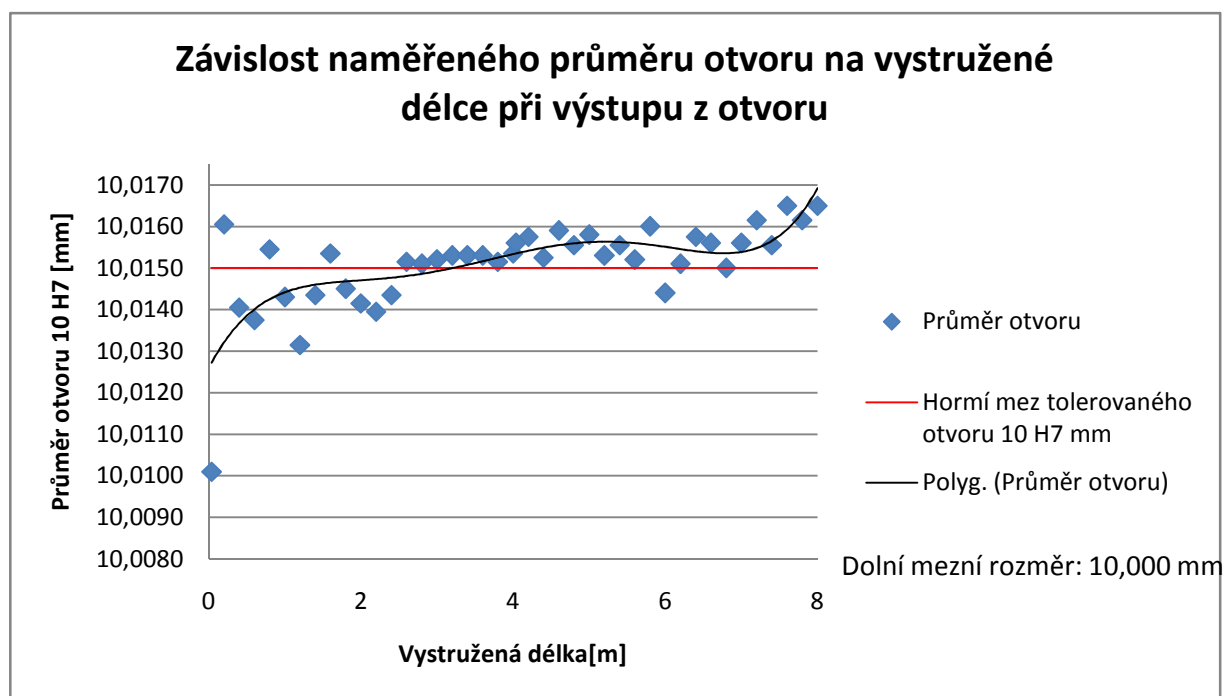
Obrázek 5-6 Měření otvoru na výstupu v hloubce 37 mm pomocí Pneumatického snímače Mahr – Millimar S 1840.

Vyhodnocení naměřených výsledků

Jak bylo uvedeno v postupu, výsledkem měření jsou následující grafy.



Obrázek 5-7 Graf závislosti naměřeného průměru otvoru na vystružené délce při vstupu do otvoru.



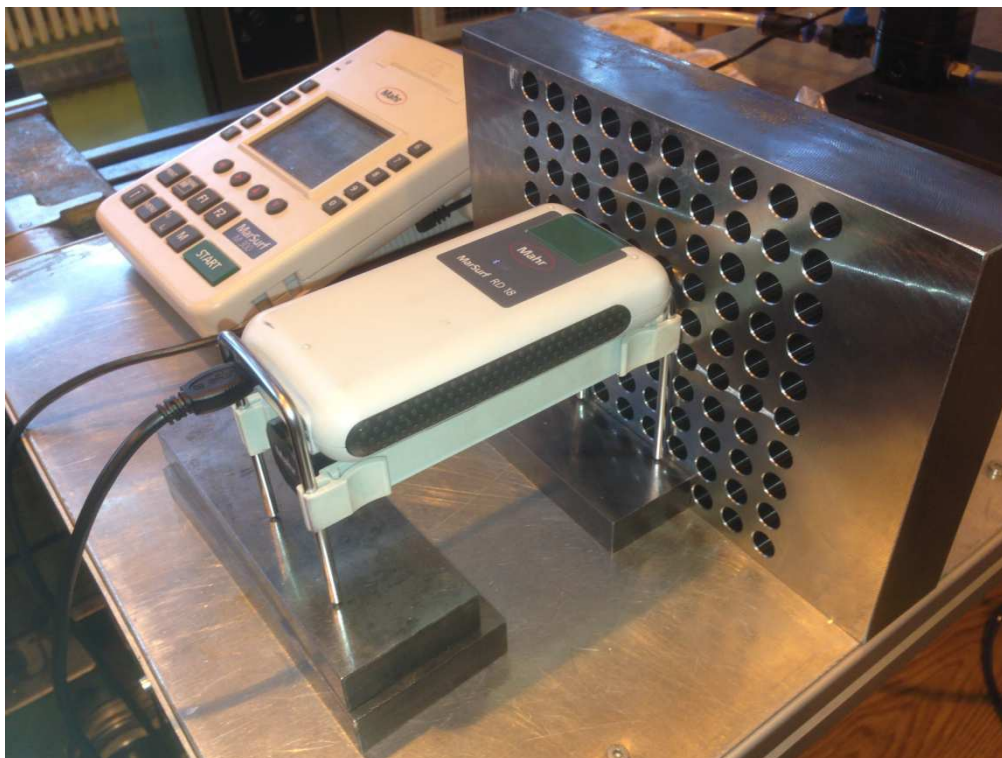
Obrázek 5-8 Graf závislosti naměřeného průměru otvoru na vystružené délce při výstupu z otvoru.

Z obou grafů je patrné, že veškeré naměřené hodnoty se pohybují na hranici horní meze tolerovaného rozměru 10 H7 mm. V obou grafech jsou naměřené hodnoty proloženy polynomickou spojnicí trendu 5. stupně. Při řezné rychlosti $v_c = 170$ m/min bylo zaznamenáno výrazné kolísání rozměru nad i pod horní mezí při vstupu do otvoru. Po 2 metrech vystružování byla zvýšena v_c na hodnotu 190 m/min. Při této hodnotě došlo k menšímu ustálení hodnot u vstupu na horní mezní hranici. Zvýšením řezné rychlosti na hodnotu 210 m/min (po vystružených 4 metrech) a poté na hodnotu 230 m/min (po vystružených 6 metrech) bylo dosaženo naměřených výsledků pod horní mezí na vstupu. V případě výstupu byly opět naměřeny kolísavé hodnoty nad i pod horní mezí při řezné rychlosti 170 m/min. Po zvýšení řezné rychlosti na 190 m/min došlo k ustálení hodnot nad horní mezí. Stejný trend platil i pro řeznou rychlost 210 m/min. Zvýšením řezné rychlosti na 230 m/min způsobilo vznik větších odchylek naměřených hodnot nad horní mezí. Pravděpodobně nejlepší výsledky byly naměřeny po vystružování při řezné rychlosti 190 m/min, ale hodnoty kolísají přímo na horní tolerované mezi nebo jí překračují.

5.2.1.2 Lineární drsnost R_a a R_z

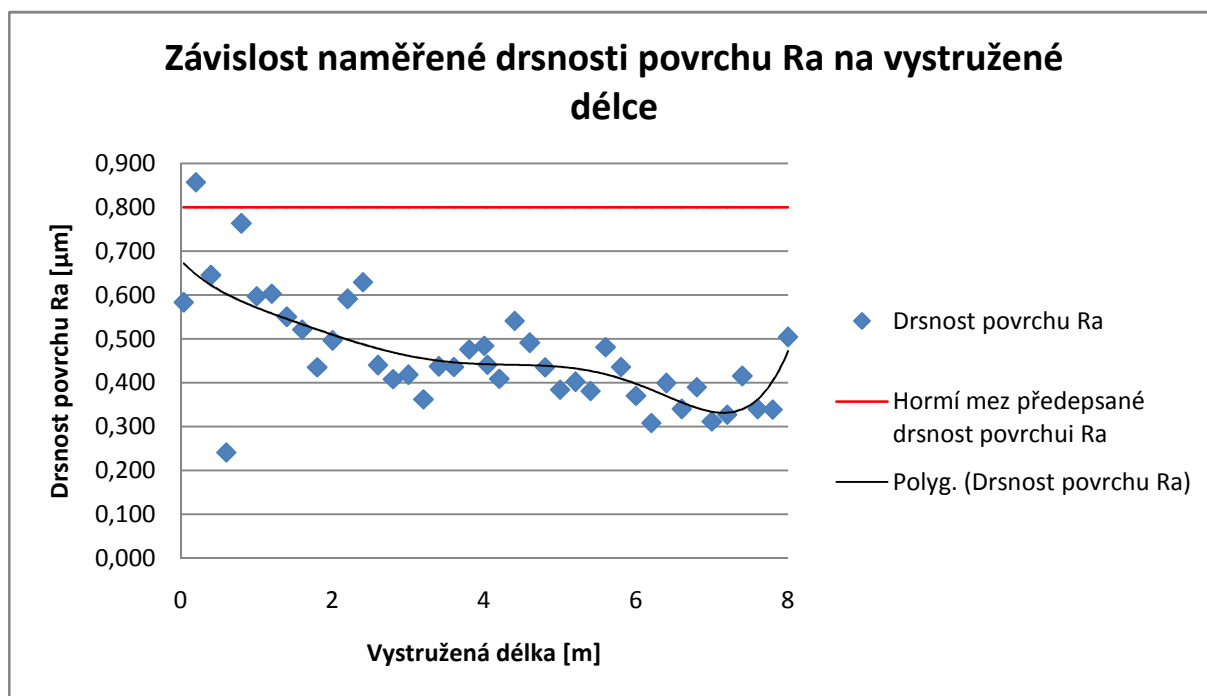
Postup měření

Měření jednotlivých otvorů bude probíhat pomocí drsnoměru Mahr - Marsurf M300. Stejně jako v předchozím případě i tentokrát budou proměřovány vždy otvor č. 1 a poté každý pátý otvor (5, 10, 15...100, 101, 105, 110...190, 195, 200). V jednotlivých otvorech bude snímána délka 5,6 mm, ze které poté budou vypočteny a vyhodnoceny lineární parametry drsnosti povrchu R_a a R_z . Výsledkem měření budou dva grafy, které budou zobrazovat závislost parametrů R_a a R_z na vystružených metrech. Na obrázku 5-10 je vidět průběh z měření otvoru č. 45.

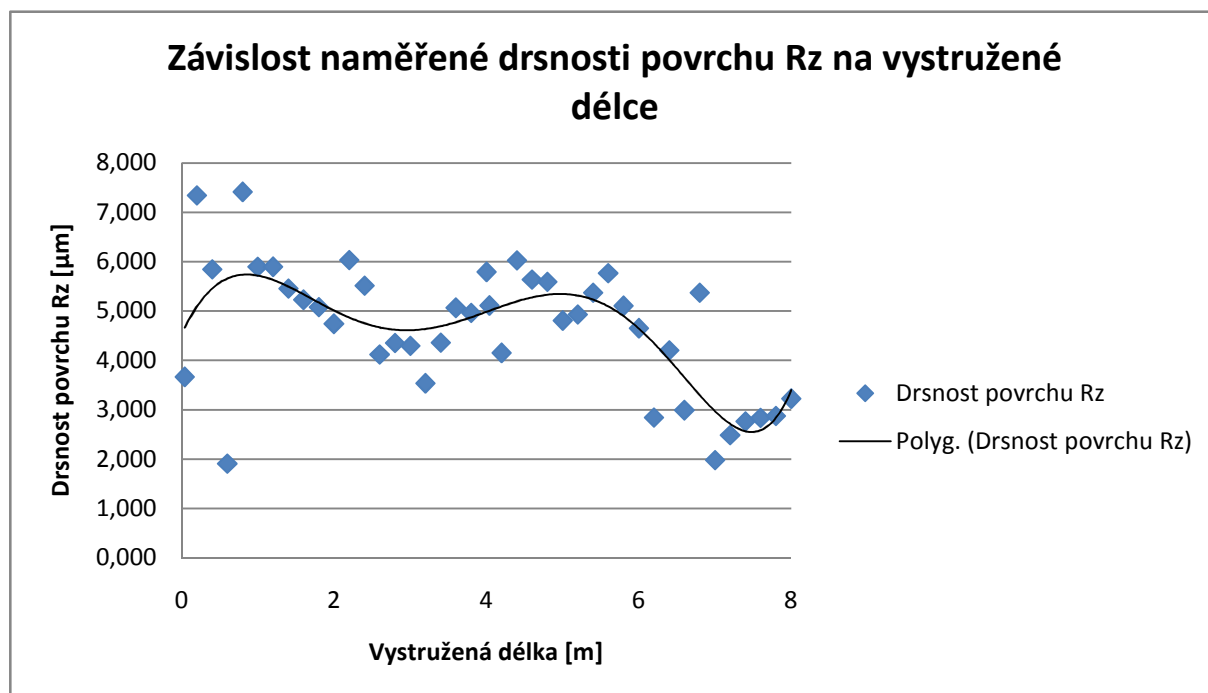


Obrázek 5-9 Měření parametrů drsnosti povrchu pomocí drsnoměru Mahr – Marsurf M300.

Vyhodnocení měření



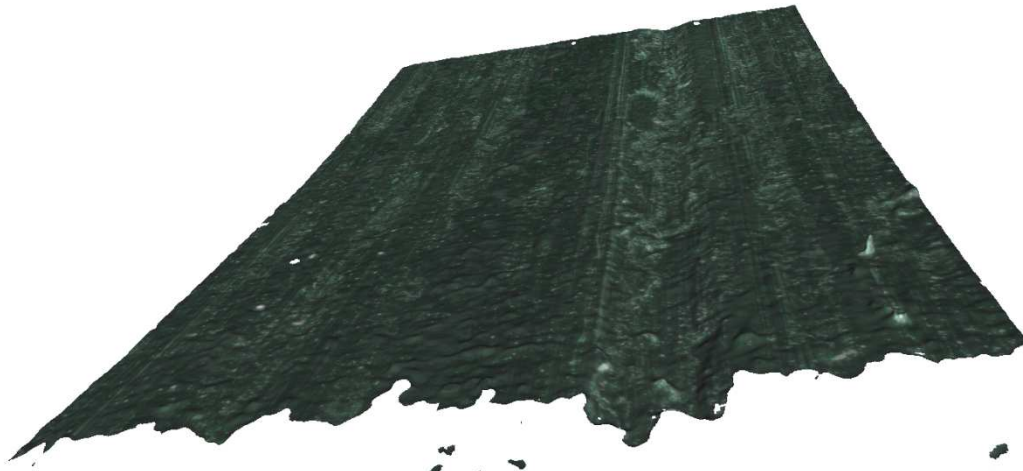
Obrázek 5-10 Graf závislosti naměřené drsnosti povrchu Ra na vystružené délce.



Obrázek 5-11 Graf závislosti naměřené drsnosti povrchu Rz na vystružené délce.

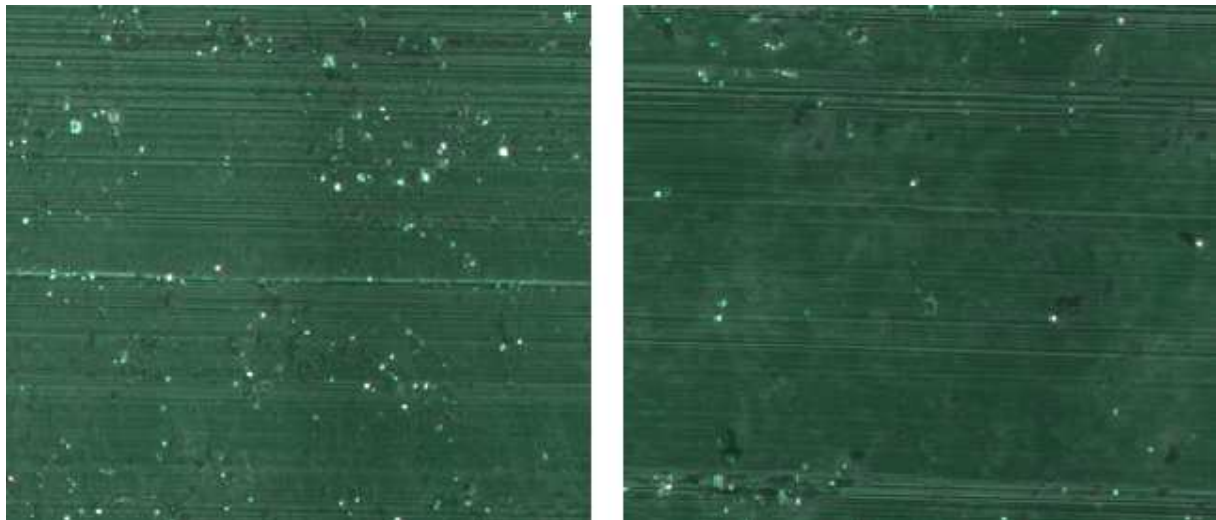
Z grafu závislosti Ra-m je patrné, že veškeré naměřené hodnoty, až na jeden případ, splňují předepsaný požadavek do hodnoty $0,8 \mu\text{m}$. Velký rozptyl u prvních naměřených hodnot může být následkem vzniku nárůstku, protože při vizuální kontrole otvorů byla v některých zjištěna výrazná šroubovitá rýha, která se objevovala nahodile. Se zvyšující se řeznou rychlostí došlo k poklesu hodnot a jejich kolísání kolem hodnoty Ra $0,4 \mu\text{m}$. Při řezné rychlosti 230 m/min kolísaly hodnoty již pod touto hranicí. Porovnáním s grafem se závislostí Rz-m je pro první měřené hodnoty velký rozptyl, který je dán již zmiňovanou šroubovitou rýhou. Většina otvorů, která má $Rz > 6 \mu\text{m}$, právě tuto rýhu obsahuje. Nejlepších výsledků porovnáním obou grafů bylo dosaženo při řezné rychlosti 230 m/min , kdy je $Ra < 0,4 \mu\text{m}$ a $Rz < 3 \mu\text{m}$.

Kvůli výskytům šroubovitě rýhy byl jeden polotovár rozříznut a skenován na skenovacím zařízení Alicona PG4. Na obrázku 5-13 je vidět naskenovaný povrch s výraznou rýhou. Měřením rýhy byla zjištěna její hloubka, která se rovná přibližně $5 \mu\text{m}$ a šířkou $60 \mu\text{m}$. Tomu také odpovídá předchozí konstatování, že otvory s viditelnou rýhou měly vyšší naměřené hodnoty parametru drsnosti Rz. Šroubovitá rýha byla pravděpodobně způsobena vzniklým nárůstkem při procesu obrábění.



Obrázek 5-12 Viditelná rýha na naskenovaném modelu.

Díky využití přístroje Alicona PG4 bylo na některých otvorech skenovány a vyhodnoceny plošné parametry drsnosti povrchu Sa a Sz. V otvoru č. 59 bylo na ploše o rozměrech 162,7 x 143,5 μm byly naměřeny hodnoty Sa = 3,502 μm a Sz = 16,173 μm . Dále byl skenován otvor č. 19 s plochou 147,5 x 128,4 μm . Na této ploše byly naměřeny hodnoty Sa = 0,924 μm a Sz = 5,758 μm . V případě otvoru č. 59 se jedná o skenování plochy, kde se nacházela již dříve zmiňovaná rýha.



Obrázek 5-13 Skenované plochy z Alicony PG4. Vlevo je plocha otvoru č. 59, vpravo plocha otvoru č. 19.

5.2.1.3 Geometrické odchylky - válcovitost

Postup měření

Měření bude probíhat na 3D souřadnicovém měřicím stroji LK-G90C (nutno podotknout, že vhodnější přístroj na měření válcovitosti je kruhoměr). Proměřeny budou otvor č. 1 a poté

každý desátý (10, 20...101, 110...200). Jednotlivé otvory budou měřeny několika body na každé z pěti úrovní hloubky otvoru. Výsledkem budou zjištěné odchylky kruhovitosti na jednotlivých úrovních, ze kterých je možné zjistit průběh válcovitosti každého otvoru. Na obrázku 5-14 je vidět měření otvoru č. 80.



Obrázek 5-14 Měření geometrických odchylek pomocí 3D souřadnicového měřicího stroje LK-G90C.

Vyhodnocení měření

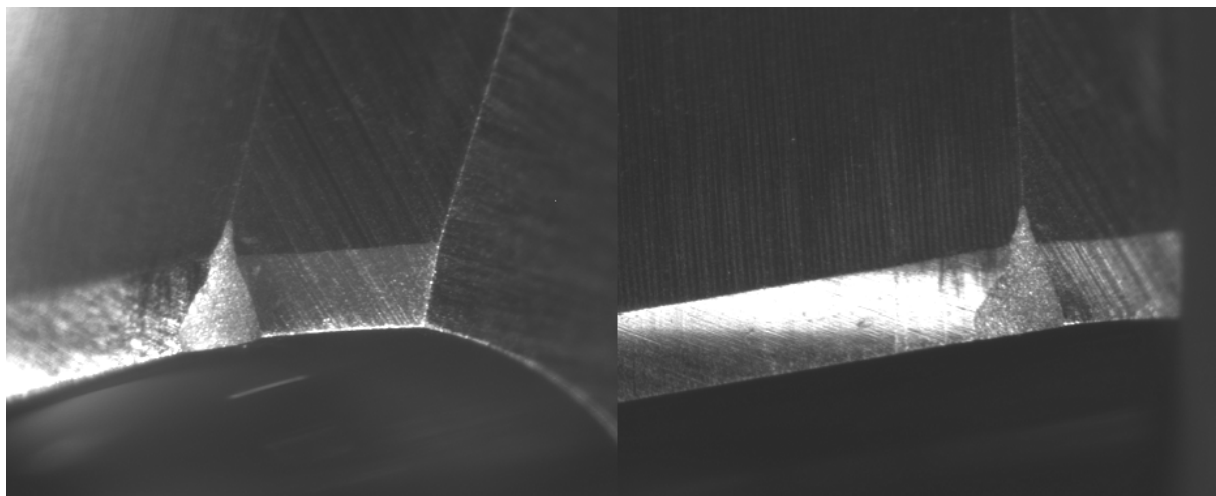
Číslo otvoru	Vystružená Délka [m]	Naměřená válcovitost [μm]	Číslo otvoru	Vystružená Délka [m]	Naměřená válcovitost [μm]
1	0,04	14	110	4,4	11
10	0,4	25	120	4,8	7
20	0,8	20	130	5,2	16
30	1,2	20	140	5,6	7
40	1,6	21	150	6	5
50	2	19	160	6,4	8
60	2,4	14	170	6,8	6
70	2,8	13	180	7,2	5
80	3,2	11	190	7,6	5
90	3,6	11	200	8	6
101	4,04	8			

Tabulka 5-5 Naměřená válcovitost pro jednotlivé otvory.

Válcovitost se posuzuje dle IT7 a pro tento daný rozměr je tolerance odchylky válcovitost 6 μm . V tabulce 5-5 jsou červeně vyznačeny naměřené odchylky válcovitosti, které nevyhovují tomuto kritériu. Jak je tedy z výsledků patrné, je tato technologie z hlediska dodržení jedné ze základních geometrických odchylek v daném tolerančním poli výrazně nedostatečná. Většina odchylek je v rozmezí 2 až 4x od předepsané odchylky. Tím odpovídají tolerančnímu pásmu IT10.

Z důvodu zjištěné nedostatečné geometrické přesnosti těchto otvorů jsou další testy z ekonomických a časových důvodů zavrženy, protože je vcelku zbytečné zjišťovat výsledky dalších parametrů.

5.2.1.4 Použitý výstružník a jeho opotřebení po 8 m



Obrázek 5-15 Stav výstružníku po 8 m vystružování. Vlevo je hlavní hřbet, kde je patrné uštípnutí o hloubce 462 μm , vpravo zase vedlejší hřbet s uštípnutím o hloubce 436 μm .

5.2.2 Měření parametrů pro VDI držák

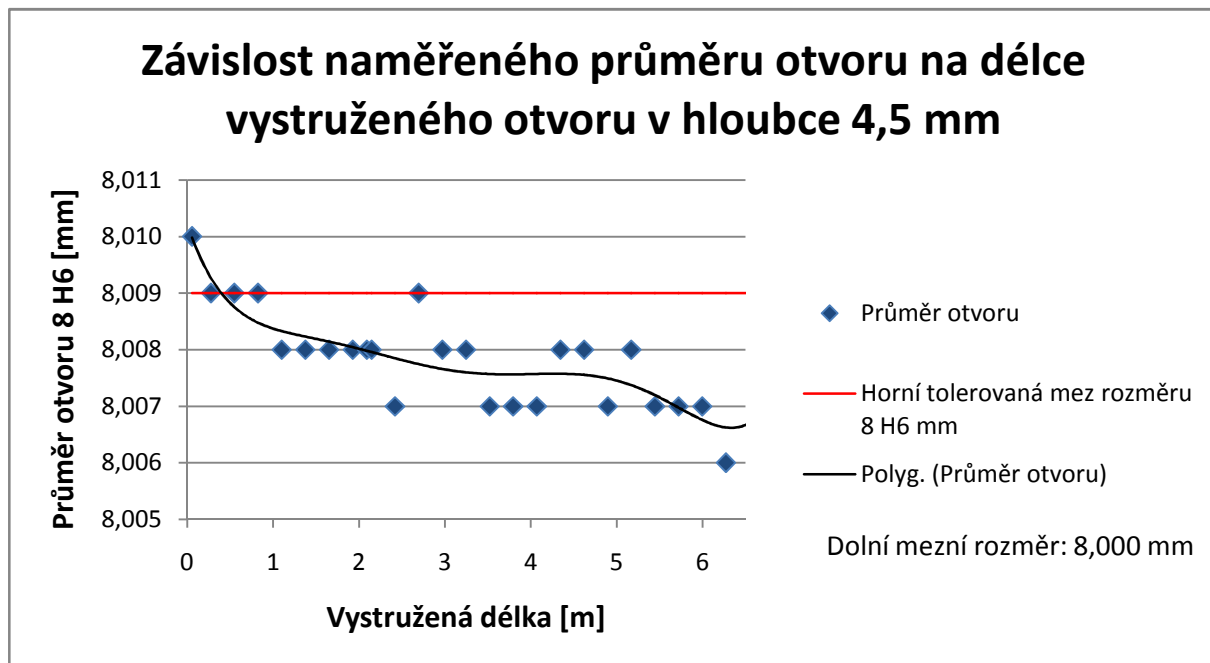
5.2.2.1 Průměr otvoru 8 H6 mm

Postup měření

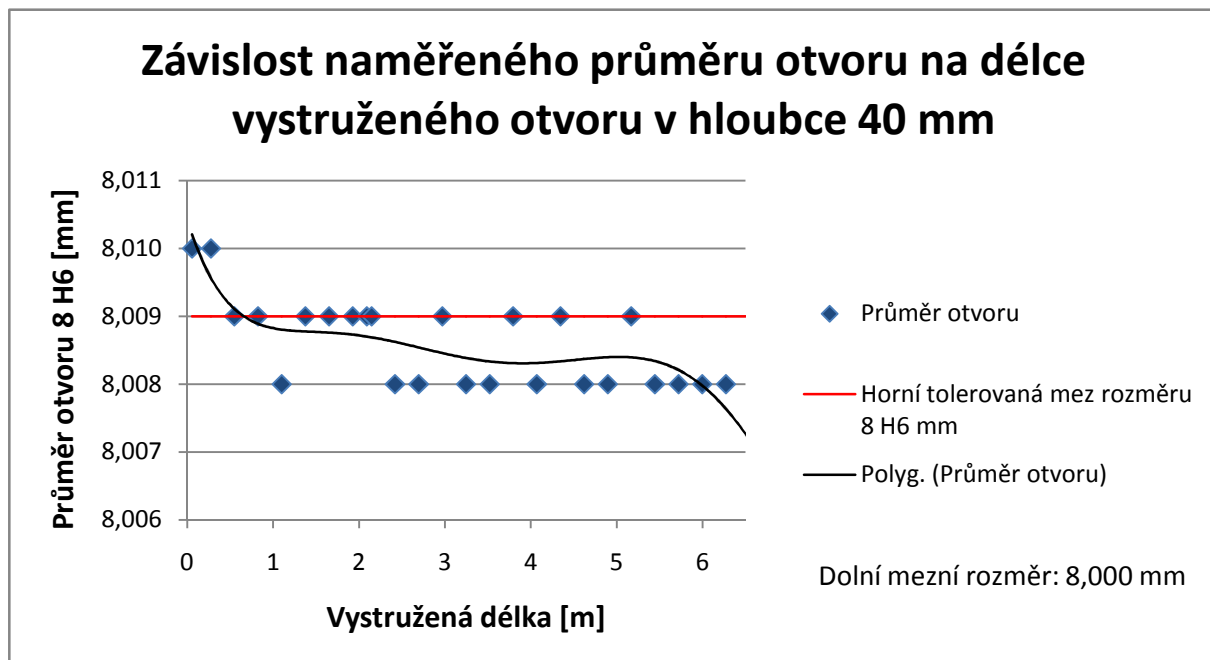
Měření průměru jednotlivých otvorů bude probíhat pomocí Pneumatického snímače Mahr – Millimar S 1840. Postupně bude proměřeno 26 otvorů pro celkovou vystruženou délku 6,5 m. Každý otvor bude přeměřen ve dvou hloubkách a to ve 4,5 mm a ve 40 mm. Na každé hloubce budou naměřeny 4 hodnoty (každá hodnota vždy pootočením snímače o 90°) a zaznamenány budou minimální a maximální hodnoty, ze kterých poté bude následně spočtena střední hodnota. Výsledkem měření budou dva grafy, které budou zobrazovat velikost průměru otvoru v závislosti na vystružených metrech pro dané hloubky.

Vyhodnocení měření

Výsledkem jsou 2 grafy znázorňující závislosti naměřených průměrů na vystružené délce.



Obrázek 5-16 Graf závislosti naměřeného průměru otvoru na vystružené délce v hloubce 4,5 mm.



Obrázek 5-17 Graf závislosti naměřeného průměru otvoru na vystružené délce v hloubce 40 mm.

Z obou grafů je patrné, že veškeré naměřené hodnoty se pohybují na hranici horní meze tolerovaného rozměru 8 H6 mm. V obou grafech jsou naměřené hodnoty proloženy polynomickou spojnící trendu 6. stupně. V případě hloubky 4,5 mm naměřené hodnoty do 1 metru vystružené délky překračovaly nebo se pohybovaly na hranici horního mezního

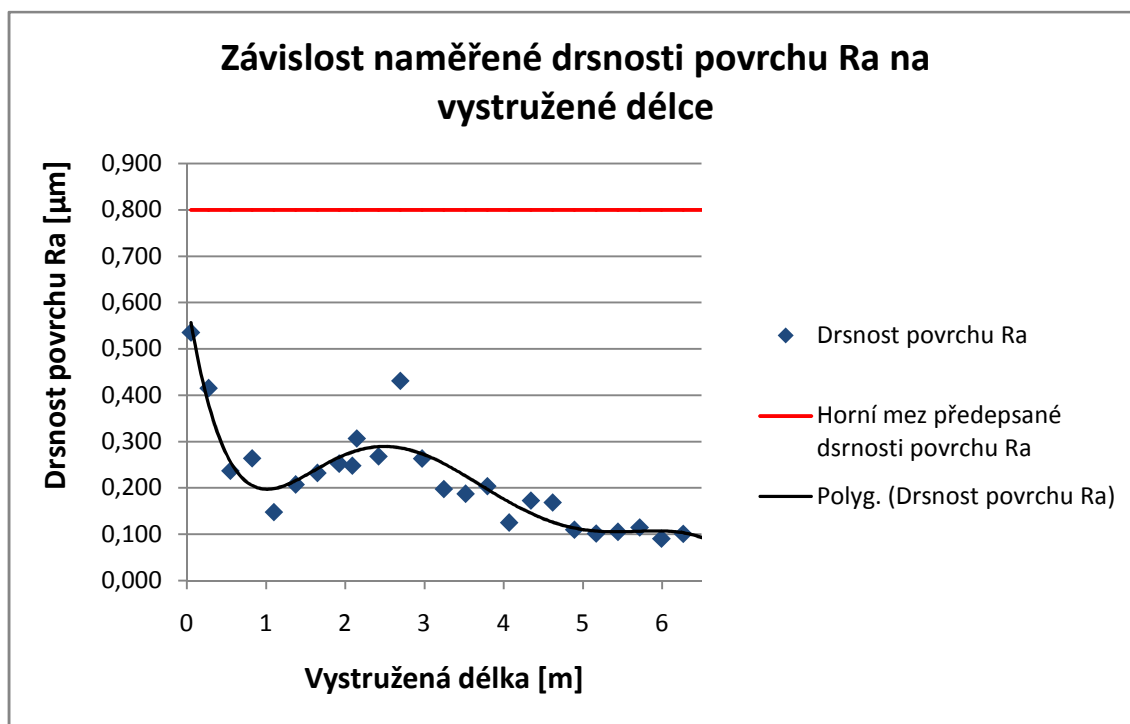
tolerovaného rozměru (dále jen HMR). Při vystružování dalšího 1 metru došlo k ustálení hodnot pod HMR. Po 2 vystružených metrech došlo ke změně výrobní technologie, kdy byl vyřazen výhrubník. V grafu je patrné, že předpřipravený otvor před vystružováním byl kvalitativně horší, protože začalo docházet k většímu kolísání naměřených hodnot. Naměřené hodnoty se však stále pohybovaly pod HMR. V případě hloubky 40 mm mají naměřené hodnoty téměř totožný trend, ale jejich hodnoty se více blíží HMR.

5.2.2.2 Lineární drsnost Ra a Rz

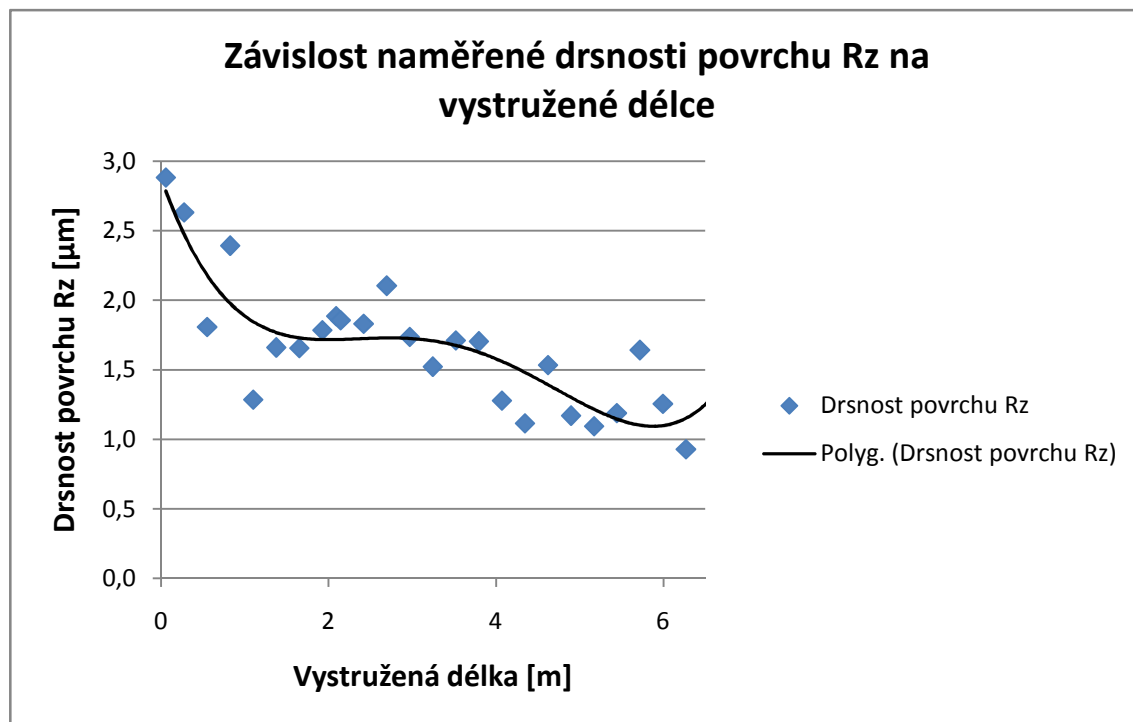
Postup měření

Měření jednotlivých otvorů bude probíhat pomocí drsnoměru Mahr - Marsurf M300. Stejně jako v předchozím případě i tentokrát bude proměřováno postupně 26 otvorů pro celkovou vystruženou délku 6,5 m. V jednotlivých otvorech bude snímána délka 5,6 mm, ze které poté budou vypočteny a vyhodnoceny lineární parametry drsnosti povrchu Ra a Rz. Výsledkem měření budou dva grafy, které budou zobrazovat závislost parametrů Ra a Rz na vystružených metrech.

Vyhodnocení měření



Obrázek 5-18 Graf závislosti naměřené drsnosti povrchu Ra na vystružené délce.



Obrázek 5-19 Graf závislosti naměřené drsnosti povrchu Rz na vystružené délce.

Z grafu závislosti Ra-m je patrné, že veškeré naměřené hodnoty splňují předepsaný požadavek do hodnoty 0,8 μm . Je vidět velký rozdíl naměřených hodnot na začátku experimentu, které je pravděpodobně způsobeno stavem výstružníku, který po několika vystružených otvorech ustálil hodnotu Ra v rozmezí 0,2 až 0,3 μm . Po 2 vystružených metrech je opět důležité brát v úvahu změnu technologie, kdy opět chvíli trvalo, než se výstružník přizpůsobí. Po 4 vystružených metrech se hodnoty Ra ustálily kolem 0,1 μm . Porovnáním s grafem Rz-m je možné vypořádat podobný průběh trendu. Na začátku vysoká hodnota Rz přibližně 3 μm , která se snižovala a kolem 1 vystruženého metru dosáhla svého prvního lokálního minima. Po 2 vystružených metrech a změněné technologii pokračuje klesající tendence, která se ustálí v rozmezí 1 až 1,5 μm .

5.2.2.3 Geometrické odchytky – válcovitost

Postup měření

Měření bude probíhat na 3D souřadnicovém měřicím stroji LK-G90C. Postupně bude proměřeno 14 otvorů pro celkovou vystruženou délku 6,5 m. Jednotlivé otvory budou měřeny několika body na každé z 5 úrovní hloubky otvoru. Výsledkem budou zjištěné odchytky kruhovitosti na jednotlivých úrovních, ze kterých je možné zjistit průběh válcovitosti každého otvoru. Jak bylo uvedeno již v předchozí kapitole, tak mnohem lepší měřidlo pro válcovitost je kruhoměr.

Vyhodnocení měření

Číslo otvoru	Vystružená délka [m]	Naměřená válcovitost [μm]
1	0,055	12
10	0,55	10
20	1,1	9
30	1,65	7
38	2,09	10
39	2,145	21
49	2,695	29
59	3,245	7
69	3,795	18
79	4,345	16
89	4,895	13
99	5,445	29
109	5,995	13
119	6,545	13

Tabulka 5-6 Naměřená válcovitost pro jednotlivé otvory.

Válcovitost se posuzuje dle IT7 a pro tento daný rozměr je tolerance odchyly válcovitost 6 μm . V tabulce 5-6 jsou červeně vyznačeny naměřené odchyly válcovitosti, které nevyhovují tomuto kritériu. Jak je tedy z výsledků patrné, je tato technologie z hlediska dodržení jedné ze základních geometrických odchylek v daném tolerančním poli výrazně nedostatečná a to ve všech měřených otvorech. Většina odchylek je v rozmezí 2 až 5x od předepsané odchyly. Tím odpovídají tolerančnímu pásmu IT10 a IT11. V případě VDI držáku a otvoru pro uchycení nástroje zaveden zpřísnující stupeň přesnosti. Jelikož je potřeba dodržet co největší přesnost obrábění pomocí nástroje, který je vkládán do posuzovaného otvoru, je potřeba posoudit tento otvor ve zpřísnující třídě C, tedy $IT_C 7$, která udává maximální odchyly válcovitosti 1,6 μm . Porovnáním s tabulkou jsou naměřené hodnoty až 18ti násobkem doporučené odchyly, která odpovídá $IT_C 13$.

Z důvodu zjištěné vysoké nedostatečné geometrické přesnosti těchto otvorů jsou další testy z ekonomických a časových důvodů zavrženy, protože je vcelku zbytečné zjišťovat výsledky dalších parametrů.

5.2.2.4 Použitý výstružník a jeho opotřebení po 6,5 m



Obrázek 5-20 Stav výstružníku po 6,5 m vystružování. Vlevo je hlavní hřbet, kde je patrné opotřebení 60 μm , vpravo zase vedlejší hřbet bez výrazného opotřebení.

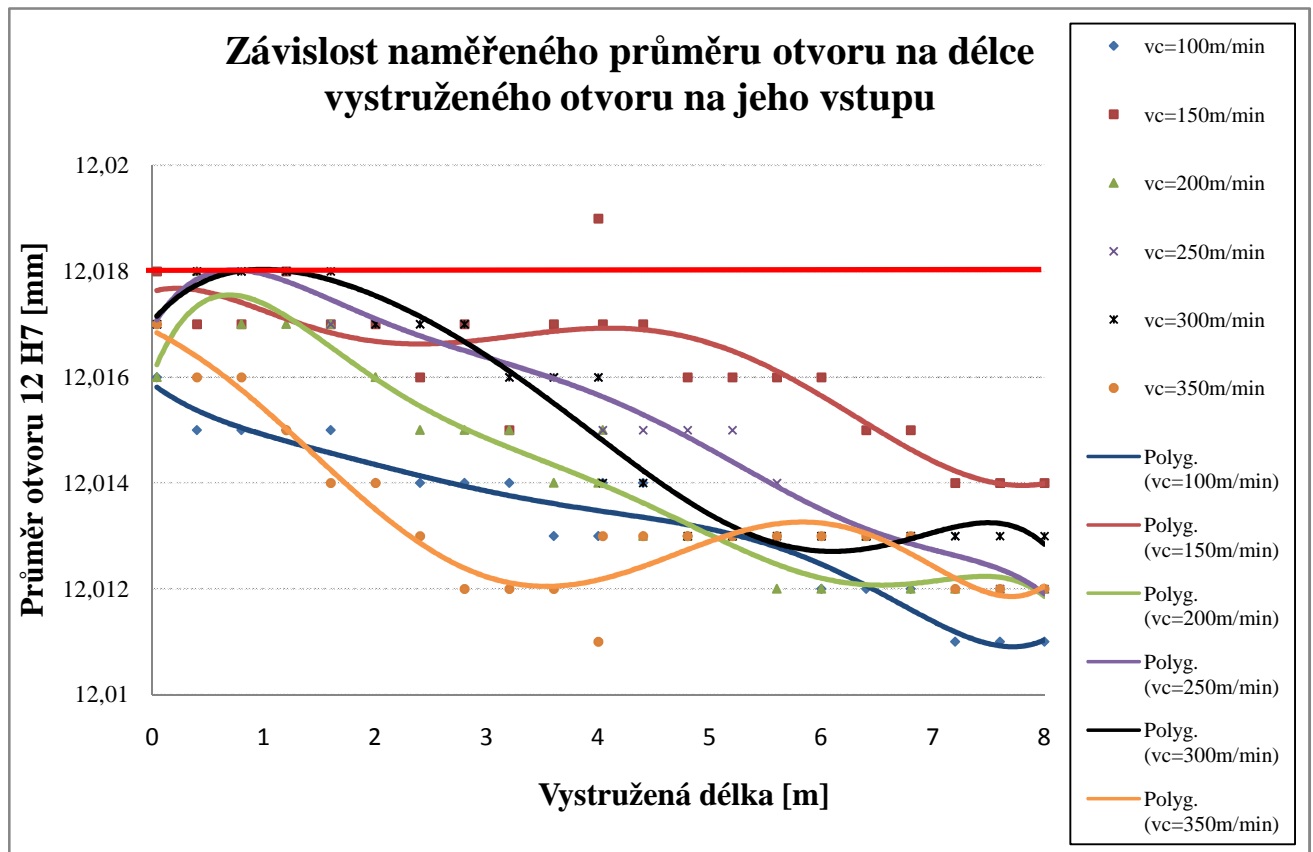
5.2.3 Měření parametrů pro otvor v hydraulickém systému

5.2.3.1 Průměr otvoru 12 H7 mm

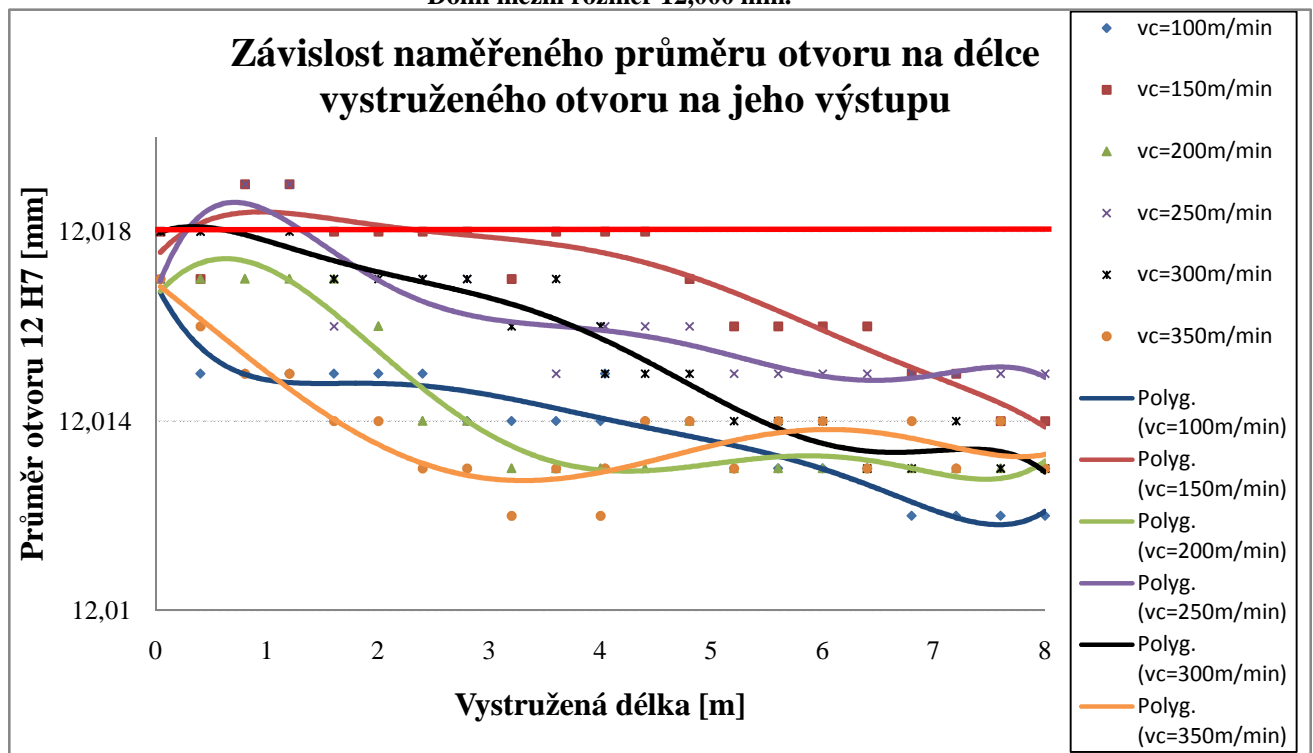
Postup měření

Měření průměru jednotlivých otvorů bude probíhat pomocí Pneumatického snímače Mahr – Millimar S 1840. Postupně budou proměřeny otvor č. 1 a poté každý desátý otvor, tj. 10, 20, 30... 90, 100 na každém polotovaru. Pro jednu řeznou rychlost odpovídají dva polotovary, tedy 8 vystružených m. Každý otvor bude přeměřen ve dvou hloubkách a to na vstupu a na výstupu. Na každé hloubce budou naměřeny 4 hodnoty (každá hodnota vždy pootočením snímače o 90°) a zaznamenány budou minimální a maximální hodnoty, ze kterých poté bude následně spočtena střední hodnota. Výsledkem měření budou dva grafy, které budou zobrazovat velikost průměru otvoru v závislosti na vystružených metrech pro dané hloubky.

Vyhodnocení měření



Obrázek 5-21 Graf závislosti naměřeného průměru otvoru na vystružené délce při vstupu do otvoru. Dolní mezní rozměr 12,000 mm.



Obrázek 5-22 Graf závislosti naměřeného průměru otvoru na vystružené délce při výstupu z otvoru. Dolní mezní rozměr 12,000 mm.

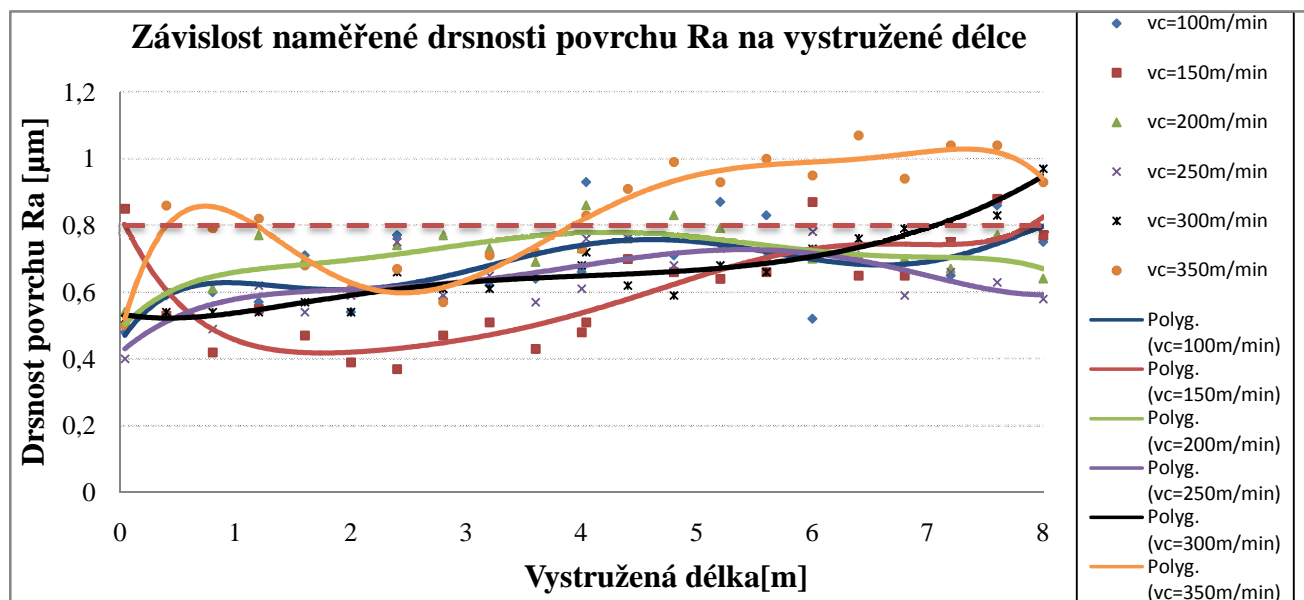
Veškeré proložené polynomické trendy jsou s regresí 6. stupně. V průběhu všech šesti testů, kdy byla použita proměnná řezná rychlost, byly veškeré měřené hodnoty u vstupu otvoru v předepsané toleranci. V případě řezné rychlosti 150 m/min došlo v jednom případě po 4 metrech vystružování k překročení horního mezního rozměru. Jednalo se však o ojedinělý případ. V případě vstupu otvoru je řezná rychlost v celém testovaném intervalu velice efektivní. To však není možné říci i o průměrech otvorů na výstupu. V případě řezných rychlosti 150 a 250 m/min došlo na začátku testování až do 2 vystružovaných metrů k překročení horního mezního rozměru. Až poté došlo k poklesu pod tento rozměr a zbylé hodnoty byly v požadované toleranci. K překročení horního mezního rozměru došlo i v případě řezné rychlosti 300 m/min. Při téhle rychlosti došlo k překročení horní meze na začátku testování, ale po překročení 1 metru vystružené délky klesly naměřené hodnoty pod horní mez až do konce testu. Porovnáním obou grafů se jako nejvýhodnější řezné rychlosti jeví 100, 200 a 350 m/min.

5.2.3.2 Lineární drsnost Ra a Rz

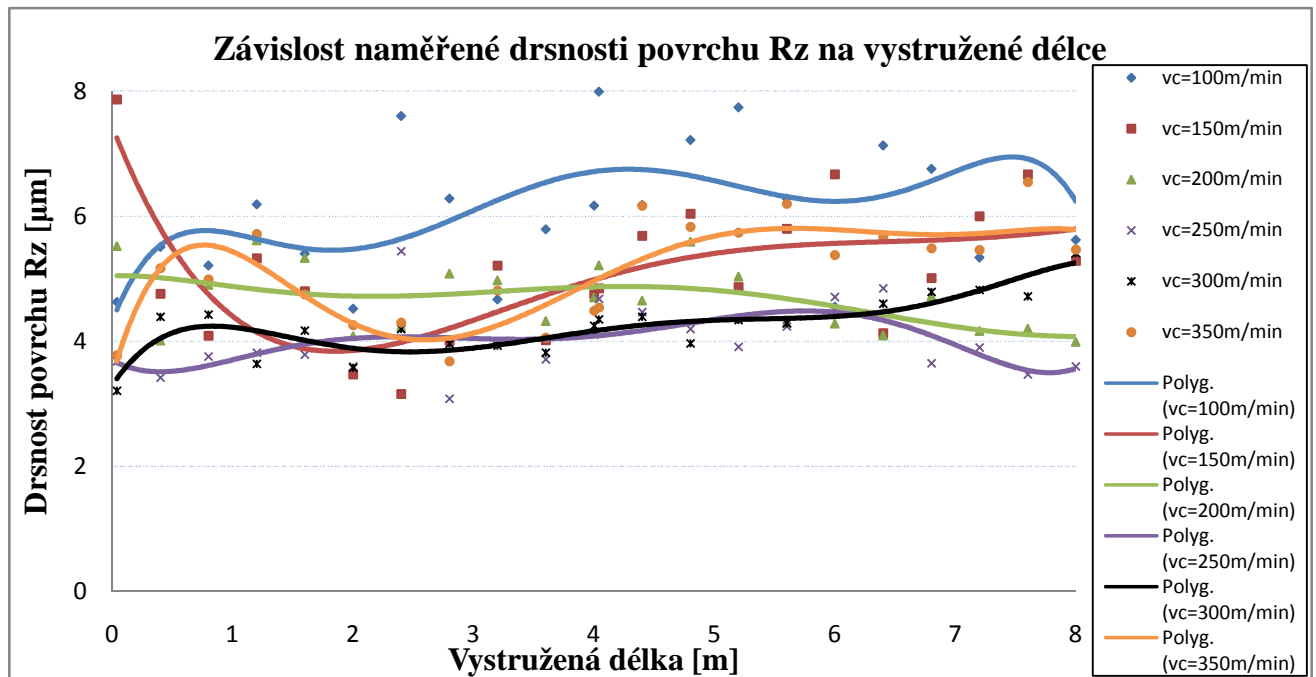
Postup měření

Měření jednotlivých otvorů bude probíhat pomocí drsnoměru HOMMEL T8000. Stejně jako v předchozím budou postupně proměřeny otvor č. 1 a poté každý desátý otvor, tj. 10, 20,30...90, 100 na každém polotovaru. Pro jednu řeznou rychlost odpovídají dva polotovary, tedy 8 vystružených m. Jako výstup z měření budou jednotlivé grafy závislosti parametrů Ra a Rz na vystružených metrech pro každou řeznou rychlost.

Vyhodnocení měření



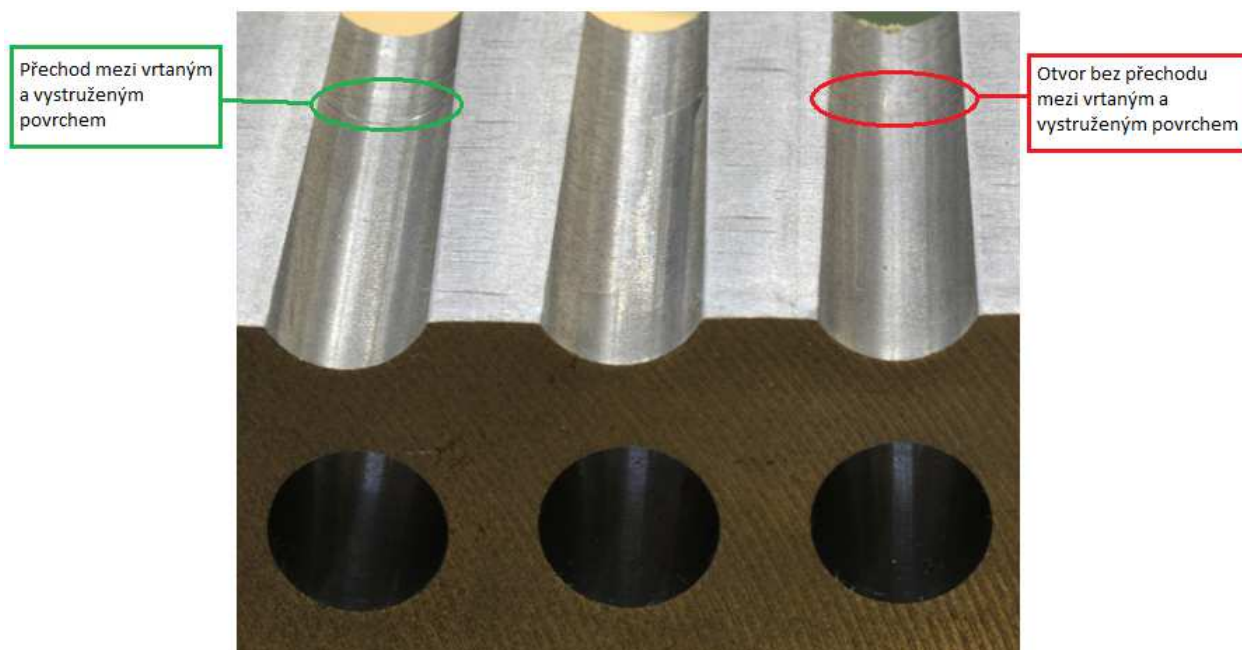
Obrázek 5-23 Graf závislosti naměřené drsnosti povrchu Ra na vystružené délce.



Obrázek 5-24 Graf závislosti naměřené drsnosti povrchu Rz na vystružené délce.

Stejně jako v případě průměrů otvorů jsou i grafy Ra-m a Rz-m proloženy polynomičnými trendy 6. stupně. Požadovaná drsnost povrchu Ra je 0,8 µm. Z grafu Ra-m je patrné, že pro každou reznou rychlost hodnoty parametru Ra rostou, až překonají i požadovanou hodnotu 0,8 µm. Pro rezné rychlosti 100, 150 a 200 m/min došlo k překročení této hodnoty již v půlce testování po 4 metrech vystružené délky. Mnohem lepší výsledky vykazovala rezná rychlost 300 m/min, při které došlo k překročení požadavku až po 7 metrech vystružené délky. Nejlepší výsledky však vykazovala rezná rychlost 250 m/min, který sice měla rostoucí trend v průběhu testu, ale ani jednou nepřekročila mez 0,8 µm. V případě grafu Rz-m je třeba sledovat co nejmenší rozptyl měřených hodnot v průběhu testu. Největší rozptyl naměřených hodnot platí pro rezné rychlosti 100 a 150 m/min. V případě 100 m/min je se rozptyl naměřených hodnot pohybuje v rozmezí 5 až 8 µm. V případě 150 m/min byl parametr na začátku testu přibližně 8 µm. Poté došlo ke snížení hodnoty a v průběhu testu k jejímu opětovnému zvyšování, při kterém hodnoty kolísaly v rozmezí 4 až 6 µm. Nejlepší výsledky vykazovala rezná rychlost 300 m/min, u které se naměřené hodnoty v průběhu testu pohybovali kolem 4 µm. Porovnáním z předchozího měření průměrů otvorů a z měření parametrů drsností Ra a Rz, vychází rezná rychlost 300 m/min jako nejspolehlivější. Drtivá většina vyrobených otvorů může být v tuto chvíli považována za správně vyrobenou.

Optickou kontrolou byly zjištěny nesouvislé přechody mezi vystruženým a vrtaným povrchem. Tento jev se jevil jako zcela nahodilý. Po namátkové kontrole válcovitosti a kolmosti byly zjištěny vysoké odchylky, které několikanásobně přesahovaly doporučené hodnoty. Tímto výsledkem bylo nutno většinu vystružených otvorů přehodnotit jako zmetkovitou. Po rozříznutí dvou polotovarů bylo zjišťováno, zda jsou vrtané a vystružované otvory v sousostí. Pouhým okem bylo zřetelné u některých otvorů, že osa vystruženého otvoru je nahodile posunuta od osy vrtaného otvoru. Detailně je tento problém vidět na obrázku 5-25.



Obrázek 5-25 Řez obrobkem s vyznačeným přechodem mezi vrtaným a vystružovaným povrchem (zeleně) a povrchem výstružníkem netknutým (červeně).

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Otvory na jednotlivých součástech byly podrobeny hlubší analýze pro pochopení jejich funkčních vlastností pro jejich dlouhodobou spolehlivost a bezpečnost v provozu. Pro každý otvor byly následně vytipovány jednotlivé parametry s daným logickým sledem měření. Díky tomuto logickému sledu by nemělo docházet ke zbytečnému obsazení měřících prostředků a zařízení a časovému zatížení obsluhujícího personálu. Veškeré uvedené měřící zařízení se svojí hodinovou sazbou včetně obsluhy pohybují v rozmezí 800 až 1200 Kč/hod. V případě Pneumatického přístroje Milimar a Drsnoměru Mahr – MarSurf se hodinová sazba pohybuje v rozmezí 300 až 500 Kč/hod. I přes rozsáhlé měření jednotlivých parametrů, které by v případě kontroly na jednotlivých výrobcích musely být prováděny. Deklarovaná vlastnost a především spolehlivost a dlouhodobá provozuschopnost výrobků dokáže obstát před konkurencí na trhu.

Pro součást z naklápěcího kluzného ložiska bylo vytipováno celkem 5 parametrů, pro VDI držák bylo vytipováno celkem 8 parametrů a pro hydraulický systém bylo vytipováno celkem 9 parametrů. Každé jednotlivé měření určitého parametru stojí určité finanční prostředky, jejichž výše je ovlivněna měřícím zařízením, které je pro měření daného parametru důležité (ať už se jedná o nákup nebo pronájem), časovou náročností jednotlivých měření a jejich vyhodnocení, rozsah měření jednotlivých parametrů a lidským faktorem, který obsluhuje zařízení a vyhodnocuje naměřené výsledky.

V případě naklápěcího kluzného ložiska může společnost GTW BEARINGS s.r.o. bylo doporučeno měřit geometrické odchylky (válcovitost a kolmost), které mají přes otvor vliv na správnou funkci nejen trysky, ale také celého ložiska. V případě zvládnutí udržení geometrických odchylek v požadované toleranci, může výrobce pomocí těchto parametrů deklarovat dlouhodobější funkčnost a užité vlastnosti ložiska a zároveň těsnost vystruženého otvoru kolem trysky a tím zajištění stálého tlaku kapaliny uvnitř ložiska.

Pokud by se ve výrobě VDI držáku podařilo udržet geometrické odchylky (válcovitost a kolmost) v požadované toleranci, může výrobce HOFMEISTER s.r.o. přijít na trh s držákem na nástroje s minimální házivostí a dostatečnou tuhostí upnutí nástroje v držáku.

U hydraulického systému je potřeba zajistit, aby třecí plochy byly i po dlouhodobém zatížení schopny správného funkčního provozu. Proto je důležité sledovat geometrické odchylky (válcovitost a kolmost) u vystružovaných otvorů. Tření při provozu lze zjišťovat pomocí Fretting testu a je možné deklarovat výrobcem, že materiál a použitá technologie dokážou i při dlouhodobém cyklu zatěžování správně pracovat.

7 ZÁVĚR

Experimentální měření jednotlivých vytipovaných parametrů pro jednotlivé součásti byly provedeny pouze na zkušebních polotovarech. Před samotnými experimenty a měřením prošly součásti a vystružené otvory důkladnou analýzou z pohledu jejich funkčního využití. Po získaných znalostech nasbíraných v průběhu vypracovávání teoretické rešerše zaměřené na technologii vystružování, ale především na obor a pojmy kolem Integrity povrchu, bylo možné vytipovat jednotlivé parametry, které by z funkčního hlediska jednotlivých vystružovaných otvorů měly být podrobněji sledovány, protože mají velmi velký vliv na jejich dlouhodobý a spolehlivý provoz.

Jednotlivé výsledky z měření dopadly následovně:

V případě součásti naklápěcího ložiska byly proměřeny na zkušebních vzorcích průměry vystružených otvorů ve dvou hloubkách a poté vyneseny do grafů v závislosti na vystružené délce v metrech. Zhodnocením tohoto měření vyšlo najevo, že většina otvorů na vstupu vyhovuje požadované toleranci H7, ale to bohužel neplatilo na průměr na výstupu, kde po vystružených 3 metrech došlo k překročení horní mezní tolerance. Dalším testem se vyhodnocoval stav povrchu pomocí parametrů drsnosti povrchu Ra a Rz. V případě parametru Ra se měřené otvory vešly do požadované tolerance. Parametr Rz byl v některých případech ovlivněn náhodně vznikající šroubovitou rýhou v otvoru, která patrně vznikala při tvorbě nárůstku. V případě vyhodnocení válcovitosti jednotlivých otvorů v požadované přesnosti IT7 přineslo negativní výsledky a následně byly další testy přerušeny. Zkušební materiál byl následně rozříznut a naskenován na opticko-skenovacím zařízení ALICONA pro zjištění hloubky vzniklé rýhy. Na konci experimentu bylo také proměřeno opotřebení jednotlivých břitů výstružníku, kde na jednom břitu bylo zjištěno výrazné vyštípnutí.

U VDI držáku probíhaly testy vcelku podobně jako u předchozí součásti. Průměry měřeny ve dvou hloubkách a dále proměřovány parametry drsnosti Ra a Rz. Všechny parametry dokázaly splňovat předpokládané požadavky. V případě měření válcovitosti však došlo opět na výrazné odchylky, které několikanásobně přesahovaly požadovanou toleranci. Po experimentu byly proměřeny jednotlivé břity kvůli jejich opotřebení. Na jednotlivých břitech však nebylo žádné výrazné opotřebení.

Poslední experiment proběhl za vícero řezných podmínek. Po postupném proměření průměrů otvoru opět ve dvou hloubkách a měřením parametrů drsnosti Ra a Rz bylo zjištěno, že nejideálnější řezná rychlost pro tuto technologii se jeví $v_c = 300$ m/min. Po vizuální kontrole bylo dále zjištěno nesouosost vrtaných a vystružovaných otvorů. Z tohoto zjištění musí dojít ke změně stávající technologie převážně v technologické přípravě otvoru před samotným vystružováním.

Využitím dalších poznatků z oboru Integrity povrchu, je možné doporučit některé změny nejen v použité technologii, které by mohly ovlivnit velikosti některých parametrů. Díky jednotlivým testům je pak možné určit nejvýhodnější podmínky pro výrobu požadovaných rozměrů a dalších parametrů pro spolehlivý a dlouhodobý provoz.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] STANĚK J., NĚMEJC J.: *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací ZČU*, Plzeň, 2005
- [2] FIALA, Stanislav, KOUŘIL, Karel, ŘEHOŘ, Jan., a kol. *Výzkum a vývoj vysoce přesných produktivních řezných nástrojů nové generace s využitím inovativních technologií a progresivních materiálů*. Průběžná zpráva k projektu TA02010236 za rok 2012, HAM-FINAL s.r.o., Brno, 2012
- [3] SOVA, František, *Technologie obrábění a montáže*, Plzeň: VŠSE 1989
- [4] SANDVIK COROMANT. *Technická příručka obrábění*. Sandvik Coromant, 2010
- [5] HOFMANN, P.: *Teorie obrábění*; podklady k předmětu KTO/TO; ZČU Plzeň
- [6] HOFMANN, P.: *Strojírenská technologie obrábění*; podklady k předmětu KTO/STO; ZČU Plzeň
- [7] KOCMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. : *Technologické parametry vystružovacích nástrojů*. Strojírenská technologie: Časopis pro vědu, výzkum a výrobu. 4. roč. č. 2. Ústí nad Labem: ÚJEP, 2001. ISSN 1211-4162
- [8] Geometrie nástrojů: Geometrie výstružníků. *TumliKOVO* [online]. [cit. 2014-04-03]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/geometrie-nastroju/geometrie-vystruzniku/>
- [9] GÜHRING, *Reibahlen und Senker*. [online]. Dostupné z: http://www.guehring.de/service/werbemittel/data/Reibahlen%20und%20Senker_2007.pdf
- [10] SOVA, František. *Technologie obrábění a montáže*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1998. ISBN 80-7082-449-2.
- [11] BUMBÁLEK, Bohumil. *Integrita povrchu a její význam pro posouzení vhodnosti dané plochy pro její funkci*. [online]. [vid. 2011-10-21]. VUT v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Dostupné z: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2512_Bumbalek.pdf
- [12] GRIFFITHS, Brian. *Manufacturing Surface Technology: Surface Integrity and Functional Performance*. 1st Edition. London: Penton Press, 2001. ISBN 1-8571-8029-1.
- [13] DAVIM, J. P. *Surface integrity in Machining*. Springer, 2010. ISBN: 978-1-84882-873-5.
- [14] KŘÍŽ A. *Integrita povrchu a její význam v praktickém použití*. On-line dostupné na <http://www.ateam.zcu.cz/>, on-line 2. 12. 2009.

- [15] NECKÁŘ, Ferdinand a Ivo KVASNIČKA. *Vybrané statě z úběru materiálu*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1991.
- [16] COTELL C. M., J. A. SPRAGUE and F. A. SMIDT. *ASM Handbook-Volume 5: Surface Engineering*. ASM International, 1994. ISBN 978-0871703842.
- [17] CIRP: CWG. CIRP. *The International Academy for Production Engineering* [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.cirp.net/scientific-groups/cwg-collaborative-working-groups.html>
- [18] GTW BEARINGS S.R.O. [online]. Dostupné z: <http://www.gtw.cz/>
- [19] HOFMEISTER S.R.O. [online]. Dostupné z: <http://www.hofmeister.cz/>
- [20] DANFOSS S.R.O. [online]. Dostupné z: <http://powersolutions.danfoss.com/>
- [21] HAM-FINAL S.R.O. [online]. Dostupné z: <http://www.ham-final.cz/>
- [22] ČSN 41 2050. *Ocel 12 050*. 1976. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/412050-csn-41-2050_4_3374.html
- [23] ČSN 42 0315. *ZKUŠEBNÍ TYČE VÁLCOVÉ S HLADKÝMI VÁLCOVÝMI HLAVAMI: pro zkoušku tahem*. 1980. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/420315-csn-42-0315_4_3596.html
- [24] ČSN 42 2306. *Tvárná litina 42 2306 perliticko-feritická*. 1977. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/422306-csn-42-2306_4_3746.html
- [25] ČSN ISO EN 13565-1. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda, povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti - Část 1: Filtrace a všeobecné podmínky měření*. 1999. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/014446-csn-en-iso-13565-1_4_55366.html
- [26] ČSN 01 4405. *Základní pravidla zaměnitelnosti. Tolerance tvaru a polohy. Číselné hodnoty: Číselné hodnoty*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1981. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/014405-csn-01-4405_4_111.html
- [27] A-TEAM ZČU: *FRETTING TEST* [online]. Plzeň. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/fretting_test_fav.pdf

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1 Pneumatický měřicí přístroj Mahr – Milimar S1840
- Příloha č. 2 Drsnoměr Mahr – MarSurf M300
- Příloha č. 3 Dílenský mikroskop Multicheck PC 500
- Příloha č. 4 MAKINO A51NX
- Příloha č. 5 MCV 750A
- Příloha č. 6 AXA – DBZ
- Příloha č. 7 3D souřadnicový měřicí stroj LK G-90C
- Příloha č. 8 Drsnoměr HOMMEL T8000
- Příloha č. 8 ALICONA INFINITE FOCUS PG4

PŘÍLOHA Č. 1



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

PŘÍLOHA Č. 2



Měřicí princip:

Rychlost snímání:

Rozsah měření:

Rozlišení profilu:

Snímané délky dle DIN/ISO/ASME/JIS:

Parametry:

Teplotní rozsah pro práci:

Teplotní rozsah pro skladování:

Rozměry (d x š x v):

Hmotnost:

profilová metoda

0,5 mm/s

350 μm

90 μm 180 μm 350 μm (aut. přepnutí)

75 mm, 5,6 mm, 17,5 mm

Ra, Rq, Rz, Rmax, Rp, Rpk, Rk, Rvk, Rv

+5C° až +40C°

-15C° až + 55C°

190 x 70 x 75 mm

cca 1 kg

PŘÍLOHA Č. 3



Rozsah v ose x

0 – 150 mm

Rozsah v ose y

0 – 150 mm

Počet vyměnitelných objektivů

4

Zvětšení vyměnitelných objektivů

10x, 30x, 75x, 150x

Hodnocení měřených veličin

software WMS

PŘÍLOHA Č. 4

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

PŘÍLOHA Č. 5



<i>Druh</i>	Vertikální obráběcí centrum
<i>Typ</i>	MCV 750A
<i>Počet NC řízených os</i>	3
<i>Jmenovitý výkon včetně</i>	16 kW
<i>Rozsah otáček</i>	20 – 13000 ot/min
<i>Pojezd v ose X, Y, Z</i>	plynulá
<i>Rozměry upínacího stolu</i>	750, 500, 500 mm
<i>Pracovní posuv v ose X, Y, Z</i>	1 – 15000 mm/min
<i>Rychloposuv v ose X, Y, Z</i>	25000 mm/min
<i>Řídicí systém</i>	Heidenhain TNC 426

PŘÍLOHA Č. 6



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

PŘÍLOHA Č. 7



Měřicí rozsah:
Přesnost měření:
Celkové rozměry:
Hmotnost:

610 x 508 x 406 mm
2,5 + L/150 μm
1410 x 1160 x 2325 mm
1500 Kg

PŘÍLOHA Č. 8

HOMMEL-ETAMIC T8000 DRSNOMĚŘ

JENOPTIK

Měřicí pracoviště pro měření drsnosti a vlnitosti povrchu



Měřnost kombinace měření drsnosti a profilu povrchu.

Detail umístění snímače drsnosti TKU 300/500



HOMMEL-ETAMIC T8000, křížový stolek MTT, stůl GTR

2

Systém HOMMEL-ETAMIC T8000 je flexibilním řešením pro měření drsnosti a vlnitosti povrchu jednotlivých součástek. Systém T8000 má stavebnicový design, který umožňuje vzájemné propojení různých posuvových jednotek, typů snímačů, sloupů a granitových desek.

Popis

- x Různé softwarové moduly jsou k dispozici pro měření drsnosti, vlnitosti, profilů a topografie
- x Možnosti volby CNC umožňují automatizované měření a vyhodnocení
- x Jednoduchý a intuitivní software
- x Vzhled obrazovky pro měření a tisk lze přizpůsobit požadavkům jednotlivých uživatelů
- x Standardní rozhraní pro statistické zpracování dat (QS-STAT)

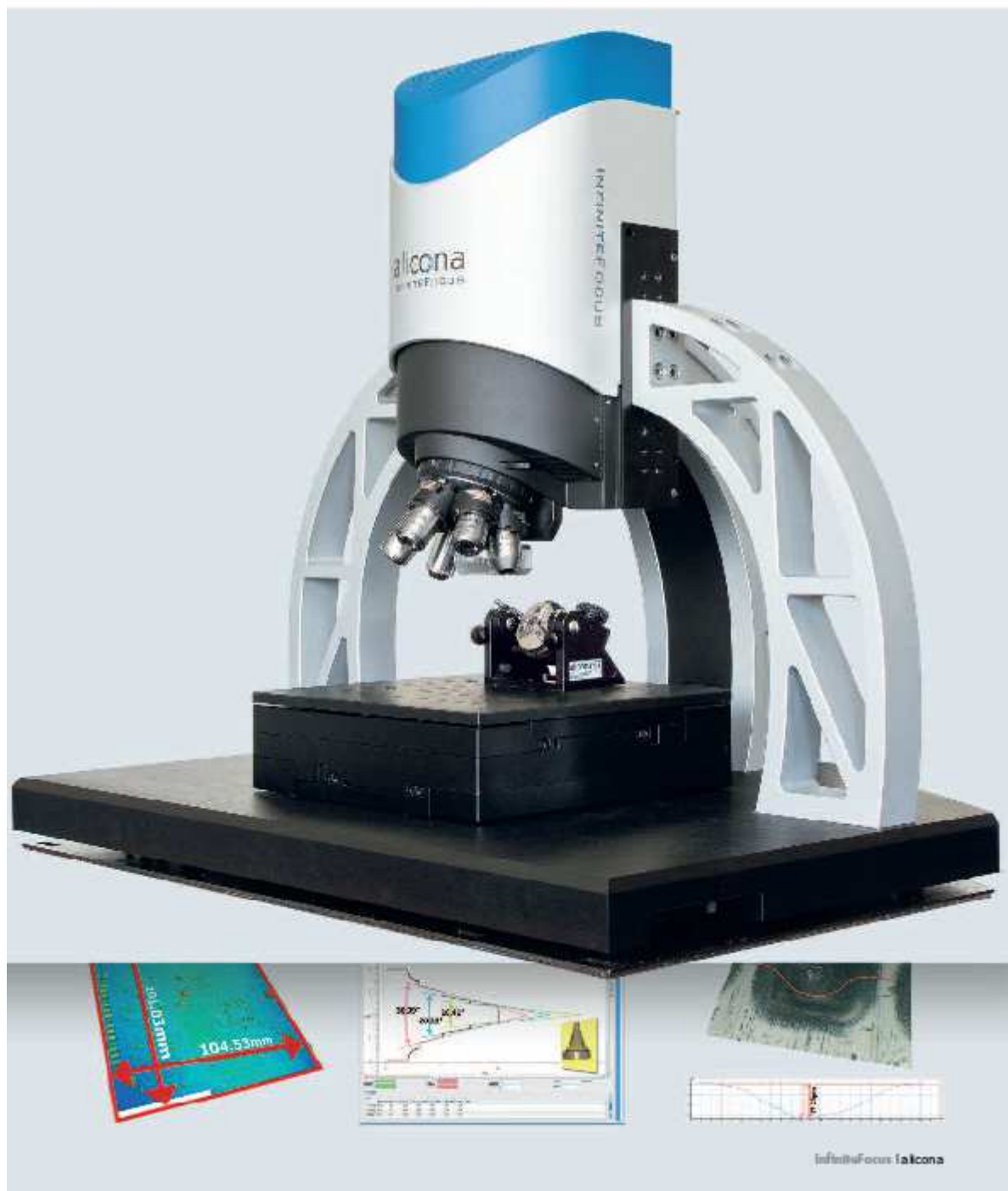
Typ přístroje		T8000				
Posuvový přístroj	Máximální dráha / mm	Posuvová rychlost mm/s	Přesnost vedení	Měřicí systém	Režim měření	Přesnost osy X
Waveline 120	120	0,1 - 3,00	±0,4 µm/120 mm	Lineární pravítka	0,01/0,1 µm	±1,0µm
Waveline 200	200	0,1 - 3,00	±0,8 µm/200 mm	Lineární pravítka	0,01/0,1 µm	±1,0µm
Měřicí sloupce	Výškový posuv mm	Posuvová rychlost mm/s				
Wavellit 400 Manual	400	Manual				
Wavellit 400	400	0,1 - 12,0				
Wavellit 800	800	0,1 - 12,0				
Naládací jednotka	Rozsah přetváření	Jmenné stavění	Opakovatelnost			
S jemným stavěním	±45,0	±5,0	-			
S hrubým stavěním	±45,0	-	-			
S motorickým stavěním	±45,0	-	0,005*			
Granitové desky	Rozměry D x Š x V mm	Hmotnost kg				
630	630 x 500 x 100	93				
780	780 x 500 x 100	117				
1000	1000 x 500 x 140	150				
Parametry						
Drsnost ISO 4287	Ra, Rz, Rmax, Rt, Rq, Rsk, Rsm, Iq, Rdq, da, In, Lq, Rq-ISO, R3z, Rpm, Rp3z, R3zm, Rp, D, RPr, RSm, Rpm/R3z, Ir, Rku, tp1f, tp1z, tp1p, tp1c, R0/Rz, Rz1, Rz2, Rz, RzA, RzS, Rmr, RmrR, Aq1					
Rq ISO 13565-1 až 13565-3	Rp1*, Rp2, Rk, Rvk*, Rvk, Mr1, Mr 2, A1, A2, Vo (70 %), Q, Q1*, Rv / Rk, Rvq, Rmq					
Primární profil ISO 4287	P1, Pp, Pq, Pa, Pq, Psk, PSm, Pdq, Ip, Iku, tp1a, tp1z, tp1p, tp1c, Pmv0, Aqa, APa16, Pmr, Pmr16					
Vlnitost ISO 4287	W1, Wp, Wz, Wa, Wq, Wsk, Wsm, Wdq, Wdc, Wk, Wku, WD1c, WD1p, WD1z, WD1a, WD1q, WD1sk, WD1sm, WD1dq, WD1kw, WD1Pc, WD2c, WD2p, WD2z, WD2a, WD2q, WD2sk, WD2sm, WD2dq, WD2kw, WD2ko, WD2Pc					
Vlnitost podle VDA 1007	WDC, WDC, WD5m					
Modř DIN EN ISO 12065	R, Rz, AR, Nr, W, Wk, AW, Nw, Wta, Tpa1(CR, CL, CF)					
AS B - 0601	Rz-AS, Rmax-AS					

PŘÍLOHA Č. 9

INFINITEFOCUS

alicon

OPTICAL MICRO COORDINATE MEASUREMENT AND SURFACE FINISH MEASUREMENT IN ONE SYSTEM



TECHNICAL SPECIFICATION

INFINITEFOCUS

GENERAL SPECIFICATION

Measurement principle	non-contact, optical, 3 dimensional, based on Focus-Variation
Measurement result	3.3-600 mio 3D points in registered true color information (maximum is dependent on the used measurement module)
Maintenance	maintenance free
Coaxial illumination	white LED coaxial light, high power, electrically controllable
Ringlight illumination (optional)	white LED high power ringlight, 24 segments, wireless, snap-on system
Objectives	2.5x - 100x on motorized nosepiece
Temperature range	possible: 5° - 40°C, calibrated for: 18° - 22°C (other temperature ranges can be calibrated)
Temperature gradient	less than 1° per hour
System monitoring	automatic self-diagnosis via 8x temperature sensor, vibration sensor, internal current- and voltage monitoring
Travel range X/Y/Z	100x100x100mm
Weight	105-120kg, depending on set up
Dimensions WxDxH	810x640x700mm (up to 940mm)

CONTROL SERVER

Power Supply	100-230V-; 50-60Hz
Power Consumption	700W
CPU	I3-Com, 3.1GHz
RAM	32GB
HDD memory	1TB
Dimensions WxDxH	190x200x450mm
Weight	20kg
Operating system	Windows 7 Ultimate 64bit
Monitor	27" Full HD LED Monitor with integrated USB Hub

OBJECT

Surface texture	Surface topography Ra above 90m with Lc 2µm, dependent on surface structure
Max. height	100mm to 345mm
Max. weight	30kg, more on inquiry
Max. measurable slope angle	up to 87°
Sample preparation	none

OBJECTIVES

		2.5x	5x	10x	20x	50x	100x
Lateral sampling distance	µm	3.52	1.76	0.88	0.44	0.18	0.09
Finest lateral resolution	µm	7.04	3.52	1.76	0.88	0.34	0.17
Best repeatability (vertical)	nm	800	400	200	100	30	15
Best vertical resolution	nm	2300	1150	575	288	90	45
Vertical dynamic		3400	5000	15000	25000	50000	40000
Max. scan height (approx.)	mm	8	22.5	16.5	18	10	4
Working distance	mm	8.8	23.5	17.5	19.0	11	4.5
Field of view X, Y	mm	5.63	2.82	1.62	0.81	0.32	0.16
Max. extended field of view	mm²	10000	10000	10000	10000	3840	960
Max. uni-directional scan extension	mm	100	100	100	100	100	100

MEASUREMENT SPEED

		2.5x	5x	10x	20x	50x	100x
Vertical scan speed	µm/s	3000	3000	1000-3000	500-3000	200-2000	100-1000
Measurement speed		1.7 mio measure points/seconds					

alicon

RESOLUTION AND APPLICATION LIMITS

		2.5x	5x	10x	20x	50x	100x
Min. measurable height	μm	2.3	0.41	0.1	0.05	0.02	0.01
Max. measurable height (approx.)	mm	8	22.5	16.5	18	10	4
Height step accuracy (1mm height step)	%	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Max. measurable area	mm ²	10000	10000	10000	10000	3940	980
Max. measurable profile length	mm	100	100	100	100	100	100
Min. repeatability	μm	0.8	0.12	0.03	0.01	0.003	0.001
Min. measurable roughness (Ra)	μm	7	1.2	0.3	0.15	0.06	0.03
Min. measurable roughness (Sa)	μm	3.5	0.6	0.15	0.075	0.03	0.015
Min. measurable radius	μm	20	10	8	5	2	1
Min. measurable vertical angle	°	20	20	20	20	20	20

ACCURACY

Profile roughness	Ra = 100nm	U = 25nm, σ = 2nm
	Ra = 500nm	U = 40nm, σ = 2nm
Areal roughness	Sa = 100nm	U = 20nm, σ = 2nm
	Sa = 500nm	U = 30nm, σ = 2nm
Flatness	1x 1mm mit 10x objective	ρ-Tr-Obj = 0.1μm
Height measurement	z = 10000μm	E _{BC} Tr-D μMPE(z) = 800nm, σ = 0.4μm
	z = 1000μm	E _{BC} Tr-D μMPE(z) = 500nm, σ = 0.1μm
	z = 100μm	E _{BC} Tr-D μMPE(z) = 400nm, σ = 0.05μm
	z = 10μm	E _{BC} Tr-D μMPE(z) = 200nm, σ = 0.025μm
	z = 1μm	E _{BC} Tr-D μMPE(z) = 100nm, σ = 0.01μm
Distance measurement	xy bis 1mm	E _{BC} Tr-D μMPE(x,y) = 0.7μm
	xy bis 10mm	E _{BC} Tr-D μMPE(x,y) = 1.0μm
	xy bis 20mm	E _{BC} Tr-D μMPE(x,y) = 2.0μm
Edge angle	β = 70...110°	U = 0.15°, σ = 0.02°
Edge radius	R = 5μm - 20μm	U = 1.5μm, σ = 0.15μm
	R > 20μm	U = 2μm, σ = 0.3μm

P-Tr-Obj & E_{BC} Tr-D μMPE conform to ISO 10360-6:10

SOFTWARE

Measurement modules	Standard: 3D data capturing, profile form, profile roughness (Ra, Rq, Rz...), surface texture (Sa, Sq, Sz...), volume, 2D, automation, AliconaInspect (3D inspection including GD&T)
	Optional: Automatic multi-measurement, fusion, form/contour/difference; various application specific measurement modules; Edge Measurement Package (edge radius/form/contour; edge break measurement; chipping/roughness; difference measurement; flash measurement); Alicona InspectProfessional (macros for GD&T)
Automation	Integrated 3D Script Editor, Labview Framework and Remoting
Visualization	High resolution 3D visualization
Database	Intuitive, graphical database
Import/Export	Standard: 3D data sets (e.g. ALI3D, STL, G30, IGES, STEP); common image formats (e.g. BMP, JPG, PNG); simple export of results (CSV/2D, 3D, QDAS export) and reporting functionalities
	Optional: CATIA, UG, ProE
Languages	German, English, French, Japanese, Chinese

OPTIONS

Grips & Accessories	Ringlight, IF-InsGrip, IF-InsertGrip, IF-AdvancedInsertGrip, IF-NanoGrip, IF-ClampingSet, F-Guide, IF-RotationGrip, IF-VacuumPlate, IF-RotationTable, SpacerPlate, IF-Real3DRotationClock, F-AdvancedReal3DRotationUnit
Calibration Standards	IF-CalibrationTool, IF-RoughnessTool, IF-VerificationTool, IF-RightAngleTool, IF-EdgeCalibrationTool

All given data are provided and traceable.