

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Strojírenská technologie- technologie obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Inovace řezných nástrojů s VBD a jejich experimentální testování

Autor: Matyáš Mandaus
Vedoucí práce: Doc. Ing. Miroslav Zetek Ph.D.

Akademický rok 2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Matyáš MANDAUS**
Osobní číslo: **S19B0442P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**
Téma práce: **Inovace řezných nástrojů s VBD a jejich experimentální testování**
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování

1. Úvod
2. Rozbor současného stavu
3. Návrh, realizace a zhodnocení vlastního experimentu
4. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

- ASTAKHOV, Viktor, DAVIM, J. Paulo, BASAK, A.K., et al. Metal Cutting Technologies: Progress and Current Trends: Advanced Mechanical Engineering. De Gruyter Oldenbourg, 2016. ISBN 3110449420, ISBN 9783110449426.
- DAVIM, J Paulo. Machining of hard materials. Springer, 2014. ISBN 978-1-84996-450-0.
- KLOCKE, Fritz. Manufacturing Processes 1: Cutting. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2011. ISBN 978-3-642-11979-8.
- CHUA, Chee Kai a LEONG, Kah Fai. 3D printing and additive manufacturing: principles and applications. The 4th edition of Rapid prototyping: principles and applications. New Jersey: World Scientific, 2015. ISBN 978-981-4571-41-8.
- BIAN, Linkan, ed., SHAMSAEI, Nima, ed. a USHER, John , ed. Laser-based additive manufacturing of metal parts: modeling, optimization, and control of mechanical properties. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2018. ISBN 978-1-4987-3998-6.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Miroslav Zetek, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Tomáš Bakša**
Regionální technologický institut

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2020**

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Mandaus	Jméno Matyáš		
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „strojírenská technologie- technologie obrábění“			
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Zetek Ph.D	Jméno Miroslav		
PRACOVIŠTĚ	ZČU- FST- KTO			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Inovace řezných nástrojů s VBD a jejich experimentální testování			

FAKULTA	strojí	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2020
----------------	--------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	55	TEXTOVÁ ČÁST	55	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS	Bakalářská práce se v první části zabývá aktuálními progresivními a inovativními nástroji předních světových výrobců řezných nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami. V druhé části je podrobně popsána fréza Kraken a detailně jsou zde rozebrány jednotlivé inovativní úpravy této frézy. Finálním výstupem je zhodnocení životnosti VBD jednotlivých variant frézy Kraken během obrábění.
KLÍČOVÁ SLOVA	Kraken, VBD, Fréza, Aditivní technologie, Obrábění

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Mandaus	Name Matyáš	
FIELD OF STUDY			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Zetek Ph.D	Name Miroslav	
INSTITUTION	ZČU- FST- KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Innovation of cutting tools with indexable inserts and their experimental testing		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2020
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	55	TEXT PART	55	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION	In the first part of this bachelor thesis are described the latest and the most advanced cutting tools with indexable inserts from different manufacturers in detail. The second part introduces a special mill Kraken and describes very closely its innovations. The final output is the evaluation of the indexable inserts durability
KEY WORDS	Kraken, Indexable inserts, Mill, Additive technology, Machining

Poděkování

Psaní bakalářské práce pro mne bylo cennou zkušeností, která mi rozšířila znalosti a obohatila mě o cenné poznatky. Poděkovat bych chtěl především panu Doc. Ing. Miroslavu Zetkovi Ph.D. a Ing. Tomáši Bakšovi za jejich čas, neuvěřitelnou ochotu, přívětivost, cenné rady a přístup během celého období, kdy jsem tuto kvalifikační práci vytvářel.

Dále bych rád poděkoval zaměstnancům výzkumného centra RTI za jejich ochotu a spolupráci. Velké díky patří týmu laboratoře experimentálního obrábění a obsluze obráběcích center, díky kterým jsem mohl vypracovat experimentální část této práce.

V neposlední řadě bych rád poděkoval také mé rodině, spolužákům a přátelům za podporu a důvěru skrze celé mé dosavadní studium.

Obsah

Přehled použitých zkratk	11
1 Úvod	12
2 Rozbor současného stavu	13
2.1 Sandvik	13
2.1.1 Aditivní výroba a technologie	13
2.1.1.1 Fréza CoroMill 390 lightweight	13
2.1.1.2 Porovnání CoroMill 390 lightweight s CoroMill 390	14
2.1.1.3 CoroMill 390 lightweight- pracovní porovnání	14
2.1.2 Soustružení	15
2.1.2.1 CoroTurn 300	16
2.1.2.2 Koncepce CoroTurn prime a PrimeTurning	16
2.1.2.3 CoroTurn prime	16
2.1.3 Silent tool adaptér	17
2.2 Iscar	18
2.2.1 Aditivní výroba	18
2.2.2 Soustružení	19
2.2.2.1 Utvařec F3S	19
2.2.2.2 Přívod procesních kapalin JHP	20
2.2.3 Frézování	20
2.2.3.1 Fréza XQUAD	21
2.2.3.2 NANMILL	22
2.3 Kennametal	23
2.3.1 Aditivní výroba a technologie	23
2.3.2 Soustružení	23
2.3.2.1 Upínací systém KM4X	24
2.4 Mapal	25
2.4.1 Aditivní výroba a technologie	25
2.4.2 Nový frézovací nástroj pro spojovací díly	26
2.4.3 Vyvrtávání	26
2.4.4 Pohlcovač vibrací	27
2.5 WNT	28
2.5.1 Dragonskin	28
2.5.2 High dynamic turning (HDT)	29
2.6 Komet	30

2.6.1	Aditivní výroba.....	30
2.6.1.1	Polykrystalický diamand (PCD).....	30
2.6.1.2	Komet JEL frézy.....	30
2.6.1.3	Komet JEL PCD vrtací nástroj	32
2.6.2	Komet MicroKom BluFlex 2	32
3	Návrh, realizace a zhodnocení vlastního experimentu.....	33
3.1	Fréza Kraken.....	33
3.1.1	Specifikace frézy Kraken	34
3.2	Inovování frézy Kraken	35
3.2.1	Nová geometrie lůžka pro VBD	35
3.2.2	VBD od společnosti ISCAR.....	37
3.2.2.1	Výběr nových břitových destiček	37
3.2.2.2	Vytváření lůžka pro nové VBD	38
3.2.3	Drážky pro kompozitní materiál.....	39
3.2.3.1	Kompozitní materiál	43
3.2.4	Reálné varianty frézy Kraken.....	43
3.3	Testování fréz Kraken.....	45
3.3.1	Popis testování trvanlivosti VBD	45
3.3.2	Porovnávací test	45
3.3.3	Testování zatížení vřetene	46
3.3.3.1	Konvenční fréza OSG.....	46
3.3.3.2	Fréza Kraken OSG (O-G1-V1-1)	46
3.3.3.3	Závěr.....	47
3.3.4	Testování trvanlivosti VBD.....	47
3.3.4.1	Testování konvenční frézy OSG.....	47
3.3.4.2	Testování frézy Kraken OSG (O-G1-V1-1)	48
3.3.4.3	Závěr.....	48
3.3.5	Test frézy Kraken OSG (O-G2-V1-1).....	48
3.3.6	Test frézy Kraken OSG s drážkami (O-K1-G2-V1-1)	49
3.3.7	Test frézy Kraken ISCAR (I-G1-V1-1).....	49
3.4	Zhodnocení testování	50
	Závěr.....	51
	Použitá literatura	52

Seznam obrázků

Obr. 1- Fréza CoroMill 390 vytvořená pomocí 3D tisku [8]	14
Obr. 2- Výsledky testování fréz [8].....	15
Obr. 3- Graf ukazující produktivitu v závislosti na délce vyložení [10].....	15
Obr. 4- Příčný řez a oblast použití CoroTurn 300 (vzhledem k a_p a f_n) [11]	16
Obr. 5- Znázornění typu A (vlevo) a typu B (vpravo) [12].....	17
Obr. 6- Vyměnitelné řezné hlavy [16].....	18
Obr. 7- Frézovací vyměnitelné hlavice [16].....	18
Obr. 8- Rozsah ideálních hodnot, při kterých F3S poskytuje nejlepší výsledky [19].....	19
Obr. 9- Vzorčky třísek při různých řezných hodnotách [19]	20
Obr. 10- Vnitřní systém kanálků pro přívod procesní kapaliny [18]	20
Obr. 11- Fréza XQUAD [20]	21
Obr. 12- Znázornění geometrie břitů [18].....	22
Obr. 13- Porovnání obrobitelnosti jednotlivých skupin materiálů [20]	22
Obr. 14- Fréza NANMILL [21]	22
Obr. 15- Vlastnosti jednotlivých kovových prášků [23].....	23
Obr. 16- Vnitřní vedení a přívod procesní kapaliny od společnosti Kennametal[39].....	24
Obr. 17- Graf vychýlení upínacích systémů v závislosti na ohybovém momentu [26].....	24
Obr. 18- Závislost krouticího momentu v závislosti na ohybovém momentu [26].....	25
Obr. 19- Vrták společnosti Mapal se spirálovitým vedením procesní kapaliny [28].....	25
Obr. 20- Znázornění výplně vnitřních dutin nástroje [29]	26
Obr. 21- Opěrný systém vyvrtávací hlavy [29].....	27
Obr. 22- Tlumicí adaptér společnosti Mapal [30].....	27
Obr. 23- Povrch bez využití adaptéru vlevo a vpravo s využitím adaptéru [30].....	28
Obr. 24- Struktura nové povlakové technologie Dragonskin [32]	28
Obr. 25- FreeTurn od společnosti WNT [33].....	29
Obr. 26- Obrábění ze všech směrů a přizpůsobení řezného úhlu [33]	29
Obr. 27- Varianty VBD pro FreeTurn [33]	30
Obr. 28- Komet JEL frézy [35]	31
Obr. 29- Modulární fréza [35].....	31
Obr. 30- Komet JEL PCD řezný nástroj [37].....	32
Obr. 31- MicroKom BlueFlex 2 [38]	32
Obr. 32- Původní vize frézy Kraken	33
Obr. 33- Fréza Kraken [40].....	34
Obr. 34- Rozložení hodnot napětí [41].....	34

Obr. 35- Zobrazení hodnot deformačních posunutí [41].....	35
Obr. 36- Porovnání původní a nové geometrie lůžka.....	36
Obr. 37- Rozdíl v radiálním naklonění VBD geometrií.....	36
Obr. 38- Znázornění odlišnosti geometrie (Červeně původní lůžko, Šedě nové lůžko)	37
Obr. 39- Zvolená VBD od společnosti ISCAR [44]	37
Obr. 40- Specifikace vybrané VBD [44].....	37
Obr. 41- Řezné vlastnosti pro materiály ISO S [44]	37
Obr. 42- Fréza CHAMMILL [44]	38
Obr. 43- Zaslepení lůžek	38
Obr. 44- Zhotovení lůžka pro nové VBD v softwaru NX.....	39
Obr. 45- Drážky pro kompozitní materiál (Varianta A).....	39
Obr. 46- Rozměry drážky pro kompozit varianty A	40
Obr. 47- Rozměry drážky pro kompozit varianty B.....	40
Obr. 48- Fréza Kraken s úpravou pro kompozitní materiál (Varianta B)	41
Obr. 49- Vizualizace varianty B s namotaným kompozitem.	41
Obr. 50- Simulace rozložení napětí pro variantu B [41]	42
Obr. 51- Hodnoty deformačních posunutí [41].....	42
Obr. 52- Typické vlastnosti různých kompozitních vláken [43].....	43
Obr. 53- Kraken OSG.....	44
Obr. 54- Kraken ISCAR.....	44
Obr. 55- Kraken OSG s drážkou pro kompozit.....	44
Obr. 56- Specifikace frézy od společnosti OSG [39].....	46
Obr. 57- Konvenční fréza OSG [39]	46
Obr. 58- Porovnání max. zatížení vřetene.....	47
Obr. 59- Opotřebení břitových destiček OSG (nová VBD x nejvíce opotřebovaná VBD)	48
Obr. 60- Opotřebení břitových destiček Kraken (nová VBD x nejvíce opotřebovaná VBD)	48
Obr. 61- Opotřebení břitových destiček Kraken G2 (nová VBD x nejvíce opotřebovaná VBD)	49
Obr. 62- Opotřebení břitových destiček Kraken K1-G2 (nová VBD x nejvíce opotřebovaná VBD)	49
Obr. 63- Opotřebení břitových destiček Kraken ISCAR (nová VBD x nejvíce opotřebovaná VBD)	50

1 Úvod

V posledních letech jdou technologie výroby řezných nástrojů kupředu mílovými kroky. Spolu s technologickým pokrokem jde ruku v ruce i vývoj ve strojírenství a výrobních procesech. Neustálé navyšování nároků na výrobu a pracovní postupy zvyšuje požadavky na řezné nástroje, které se musejí průběžně přizpůsobovat novým trendům. Dříve bylo hlavním cílem vylepšit stávající parametry a vlastnosti tak, aby se nástroj stal efektivnějším. Inovala se geometrie a hmotnost celého nástroje. Povrchově se upravovaly vyměnitelné břitové destičky, tak aby vznikaly co možná nejúčinnější obráběcí nástroje. V dnešní době se dostává do popředí fenomén, jenž je známý pod názvem aditivní technologie neboli 3D tisk. Tento progresivní typ výroby přináší dalekosáhlé možnosti ve vývoji nových řezných nástrojů. Dříve nemyslitelné tvary jdou dnes vytvářet a vzniká tak příležitost pro průlomové nápady. [2]

Z tohoto důvodu se tato bakalářská práce zaměří na stávající produkty předních světových výrobců v oblasti řezných nástrojů. Blíže budou přiblíženy především firmy Sandvik, Iscar a další. Hlavní oblastí tohoto průzkumu je zmapování všech moderních a inovativních technologií, které firmy využívají. Dále práce zkoumá, zdali společnosti již zakomponovaly 3D tisk do výroby svých řezných nástrojů.

Stěžejní oblastí této bakalářské práce je praktická část. Ta se zabývá inovací čelní frézy, vyrobené pomocí aditivních technologií výzkumným centrem RTI v Plzni. Během dlouhodobého testování, při kterém se obráběl materiál Inconel 718, bylo zjištěno, že je nutné frézu dále optimalizovat a vylepšit tak její chod během obráběcích operací. Z tohoto důvodu bylo provedeno několik úprav či předělání stávajících částí frézy. První nově vzniklý model je osazen odlišným lůžkem pro vyměnitelné břitové destičky. Druhý model je oproti originálu vybaven drážkou pro kompozitní materiál, který jej má více ztužit.

Finální a závěrečnou částí této práce bude zhodnocení a komparace dopadů výše zmíněných úprav. To znamená, že budou porovnány výsledky testů obrábění materiálu Inconel 718 originálním modelem frézy s nově vytvořenými modely. Výstup z experimentálního testování fréz při reálných záběrových podmínkách je pro praktickou část této bakalářské práce směrodatný.

2 Rozbor současného stavu

V současné době se výrobci snaží využít stávajících produktů, které neustále vylepšují a snaží se tak předstihnout konkurenci. Vyvíjí se nové technologie v upichování. Nepřetržitě se zdokonaluje povlakování vyměnitelných břitových destiček (dále VBD), které vylepšuje vlastnosti přímo v řezu a zvyšuje tak jejich životnost a to například lepším odvodem třísek, které se pak nenalepují na VBD.

Na přívody procesních kapalin je kladen nemalý důraz, jelikož ovlivňují např. odvádění třísek z řezu ven. Momentálně se již zapojuje i aditivní výroba, která je zatím v počátcích, ovšem společnosti do této technologie masivně investují.

2.1 Sandvik

Firma Sandvik byla založena roku 1862 ve Švédsku, jedná se high-end společnost s dlouholetou tradicí ve strojírenství. Názevsko high-end si tato firma skutečně zaslouží, jelikož masivně investuje do výroby nástrojů pomocí 3D tisku, vývoje a výzkumu aditivních technologií, povlakování a výroby řezných nástrojů. Neustále rozšiřuje své výrobní kapacity a zkoumá nové kovové prášky pro 3D tisk. [5,6]

2.1.1 Aditivní výroba a technologie

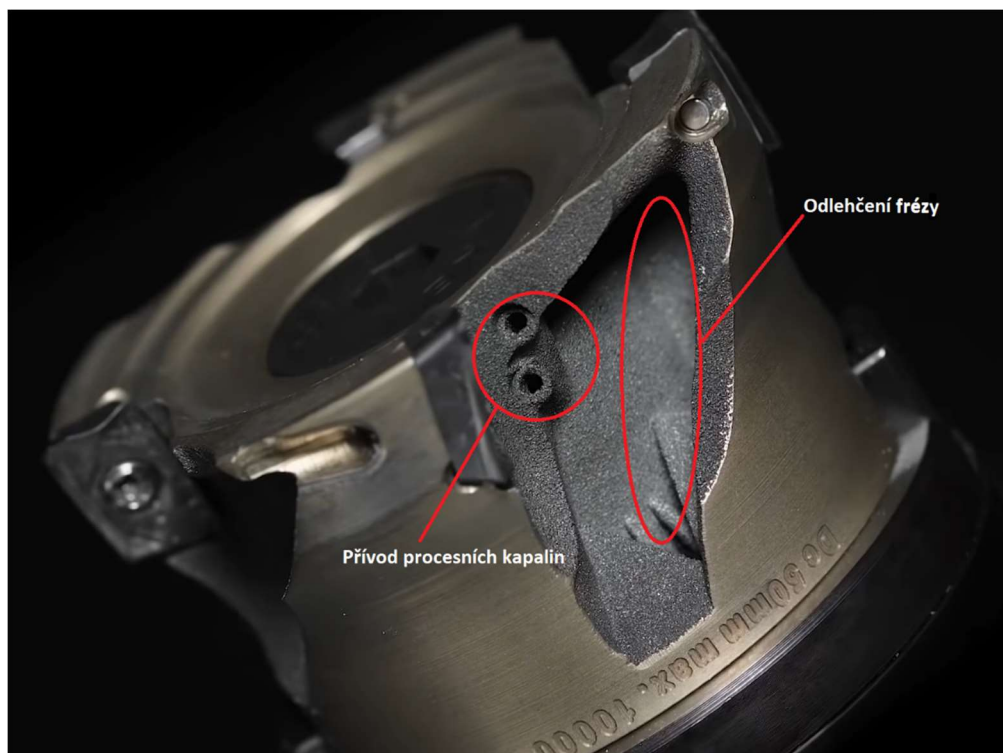
Společnost Sandvik je jednou z prvních firem, která zařadila do svého katalogu frézy vyráběné pomocí 3D tisku. Nemalým krokem vpřed je vynalezení prvního diamantového kompozitu. To přináší nové možnosti ve využití tohoto extrémně tvrdého materiálu, je ideální pro široké spektrum využití ve strojírenství. Sandvik se nachází na špici světové produkce i vývoje kovových prášků a tak další novinkou je uvedení titanového a niklového prášku pro 3D tisk [3, 7, 6]

2.1.1.1 Fréza CoroMill 390 lightweight

Tato fréza byla vyrobena za pomoci technologie tavení prášku. Ta využívá vysoce silného laseru, který taví miniaturní částice práškového kovu, tak aby se utvořil požadovaný tvar. Titanový prášek, který byl použit má velikost zrn od 10 až do 45 mikronů, které se během výroby nanášejí v tenkých vrstvách obvykle o tloušťce 20 až 60 mikronů. [7]

Hlavní výhodou této frézy je rapidní snížení váhy, zkrácení těla nástroje a přívod procesní kapaliny přímo na řeznou hranu VBD. CoroMill 390 lightweight spolu s adaptérem Silent Tools vykazuje skvělé výsledky oproti standardním frézám. Tato sestava je poté schopná výrazně zlepšit výkonnost až o 200%. [7, 8]

Fréza CoroMill 390 lightweight je vytištěna ze slitiny titanu, který disponuje vysokou pevností. Při vytváření prvních konstrukcí se vycházelo z konvenční frézy CoroMill 390, která se topologicky upravila. Díky 3D tisku mohl vzniknout model frézy s velmi zredukovanou vahou. Během konstruování se odstraňovaly především přebytečné hmoty, které při analýze namáhání vyvolané záběrem frézy nevykazovaly velké zatížení bez deformací. Následně byla snaha o dosažení nejvyšší možné pevnosti. Odlehčení v podobě odstranění materiálu a využití titanu snížilo hmotnost o 80% a tělo nástroje bylo významně zkráceno oproti původní verzi.[7, 8]



Obr. 1- Fréza CoroMill 390 vytvořená pomocí 3D tisku [8]

2.1.1.2 Porovnání CoroMill 390 lightweight s CoroMill 390

Jako vhodnou demonstraci, zvolila firma Sandvik komparaci s frézou, která sloužila jako podklad pro výrobu nově vzniklého nástroje. Byly zvoleny frézy se stejnými parametry, využíval se stejný adaptér Silent Tools a obráběn byl materiál P2.5. Z. HT o tvrdosti 290HB. [9]

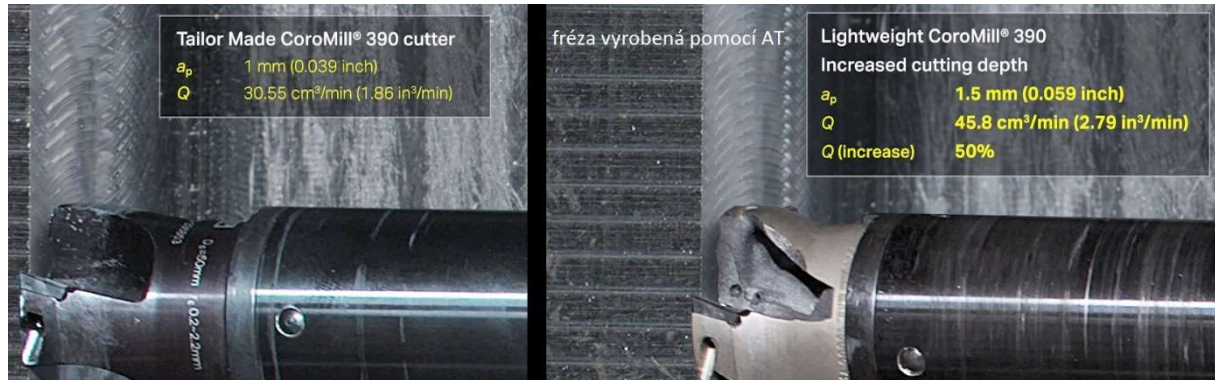
	Konvenční fréza CoroMill 390	Inovativní fréza CoroMill 390 LW
nástrojový materiál	ocel	titanová slitina
průměr nástroje	50 mm	50 mm
hmotnost	317 g	66 g
z_n	3	3
v_f	573 mm/ min	573 mm/ min
f_z	0.15 mm/ z	0.15 mm/ z
a_p	1.5 mm	4.5 mm
a_e	50 mm	50 mm
úběr materiálu	43 cm ³ / min	129 cm ³ / min
Zvýšení produktivity je u CoroMill 390 LW o 200%		

Tabulka 1- Porovnání testovaných fréz [9]

2.1.1.3 CoroMill 390 lightweight- pracovní porovnání

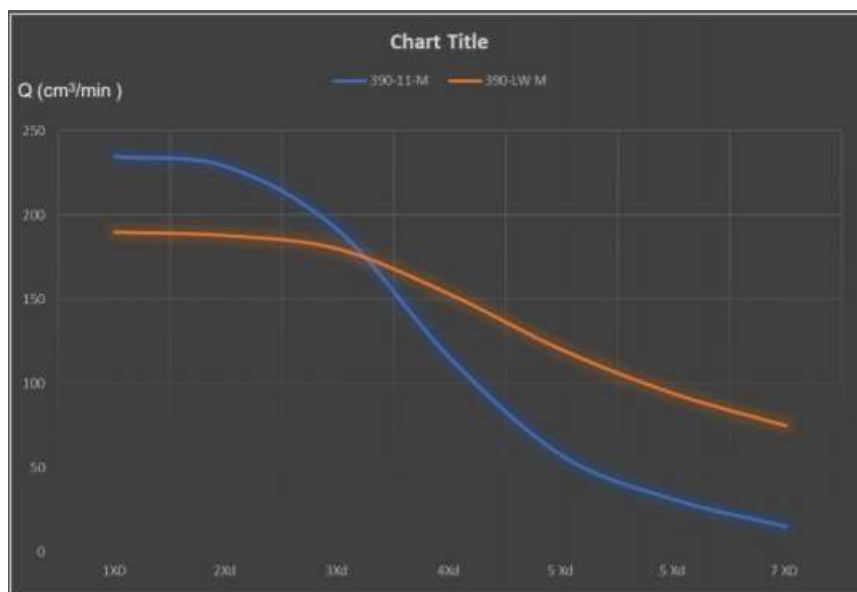
Na obrázku číslo 2 je znázorněno další zkušební testování s dlouhým vyložením fréz. Z výsledků pozorování bylo zjištěno, že standardní fréza pracovala na svém limitu a začínala vibrovat, což je velmi nežádoucí jev. Fréza CoroMill 390 lightweight, která dále v textu bude

označována jen jako CoroLight, řezala do větší hloubky a zanechávala o poznání lepší povrch. Po přezkoumání naměřených dat se k vibracím nepřiblížila, což znamená, že by se dalo frézovat i do větší hloubky. [8, 9]



Obr. 2- Výsledky testování fréz [8]

Graf z obrázku číslo 3 sleduje úběr materiálu za minutu při zvětšující se délce vyložení těchto dvou fréz. Červená barva znázorňuje CoroLight a modrá konvenční frézu CoroMill 390. Z Grafu vyplývá, že s rostoucí délkou vyložení u obou fréz klesá objem odebraného materiálu. Je patrné, že CoroLight má úpadek pozvolnější a je tedy efektivnější než konvenční fréza, která má propad razantní. [9]



Obr. 3- Graf ukazující produktivitu v závislosti na délce vyložení [10]

2.1.2 Soustružení

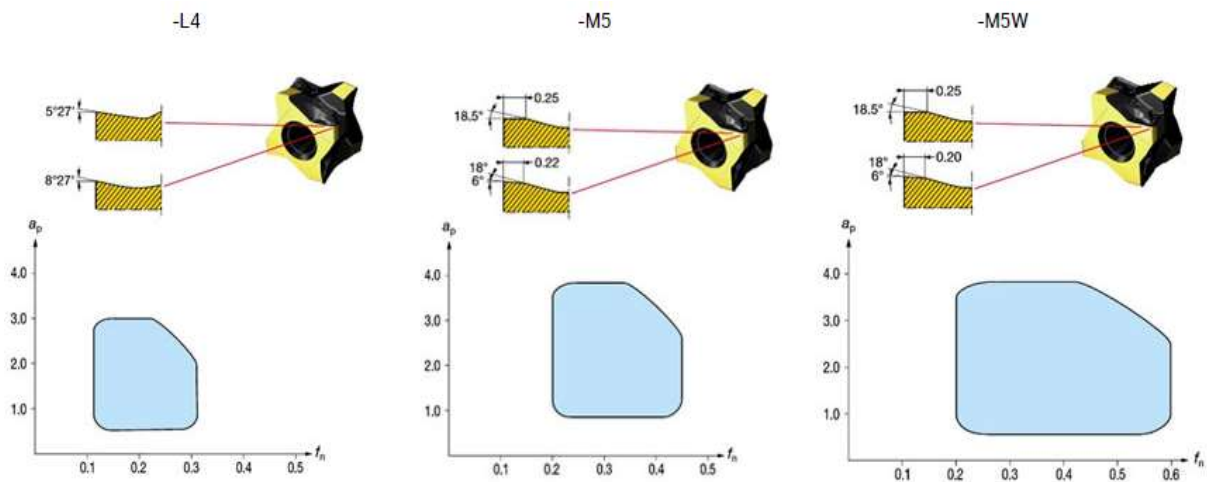
V oblasti soustružení konstruktéři Sandviku vyvinuli novou VBD, která má 8 řezných hran. Mezi výhody patří dobré dělení třísek a transformace tepla. Spolu s nástrojem CoroTurn 300, který disponuje technologií iLock, umožňuje vytvářet skvělé povrchy díky stabilitě upnutí. [11]

Další novinkou je inovativní koncepce soustružení PrimeTurning, která umožňuje realizovat operace ve všech směrech. Tím se rapidně zvyšuje produktivita výroby. Za tímto účelem vznikly dva víceúčelové soustružnické nástroje. [12]

2.1.2.1 CoroTurn 300

Pod tímto označením se skrývá soustava skládající se z VBD o osmi řezných hranách, vysoce přesným přívodem procesní kapaliny a stabilního systému pro upínání VBD iLock. Oblast použití této technologie je zejména na obrábění vnějších ploch a to především na podélné a čelní soustružení. Dle doporučení se nejedná o hrubovací technologii, ale spíše dokončovací a je vhodná pro obrábění ocele. [11]

Břítová destička CoroTurn 300 má tři druhy geometrií a to L4, M5 a M5W. Tyto geometrie se liší především v poloměrech zaoblení špičky, oblastech použití a nastavení řezných podmínek, viz obrázek 4. [11]



Obr. 4- Příčný řez a oblast použití CoroTurn 300 (vzhledem k a_p a f_n) [11]

Systém iLock zajišťuje stabilní upnutí VBD tím, že pevně drží VBD v žádané pozici a brání tak řezným silám v posouvání nástroje. Toto rozhraní je schopné docílit přesnosti nástroje s tolerancí ± 0.05 mm. Konstrukce je přizpůsobena pro rychlé výměny břitových destiček bez ohrožení přesnosti. Nestane se tak, že během výměny se VBD zasadí nesprávně a bude tak ohrožena kvalita obrobenej plochy nebo životnost nástroje. [13]

Posledním článkem této sestavy je vysoce přesný přívod procesních kapalin. Lze jí přivádět z horní i ze spodní strany. Horní proud zajišťuje lepší dělení třísek, které se pak nemohou namotávat na nástroj a komplikovat tak průběh operace. Přívod procesní kapaliny ze spodní strany se stará o lepší teplotní podmínky VBD během řezu a tím pomáhá k lepší životnosti nástroje. Je efektivní již při nízkém tlaku procesní kapaliny, ale čím vyšší tlak je, tím víc se zvyšuje její dopad na nástroj a to znamená zvýšení životnosti nástroje. [13]

2.1.2.2 Koncepce CoroTurn prime a PrimeTurning

Koncepce CoroTurn prime a PrimeTurning je novinkou v oblasti soustružení, která se zaměřuje na oblasti litin, žárovzdorných a titanových slitin a standartních nebo korozivzdorných ocelí. Pod tímto označením se skrývají nové metody, technologie, nástroje a i podpůrná aplikace. PrimeTurning je metoda, která dává možnost, obrábět ve všech směrech. CoroTurn Prime je obchodní označení pro dva naprosto nové soustružnické nástroje, které se rozdělují na typ A a typ B. Posledním článkem je software, který zajišťuje implementaci metody PrimeTurning a zároveň i mapuje chování nástrojů během obrábění. [12]

2.1.2.3 CoroTurn prime

Jak bylo napsáno výše, jedná se o dva pokrokové víceúčelové soustružnické nástroje. Jsou rozděleny na typ A a typ B kvůli odlišným lůžkům pro VBD, viz obr. 5.



Obr. 5- Znáznornění typu A (vlevo) a typu B (vpravo) [12]

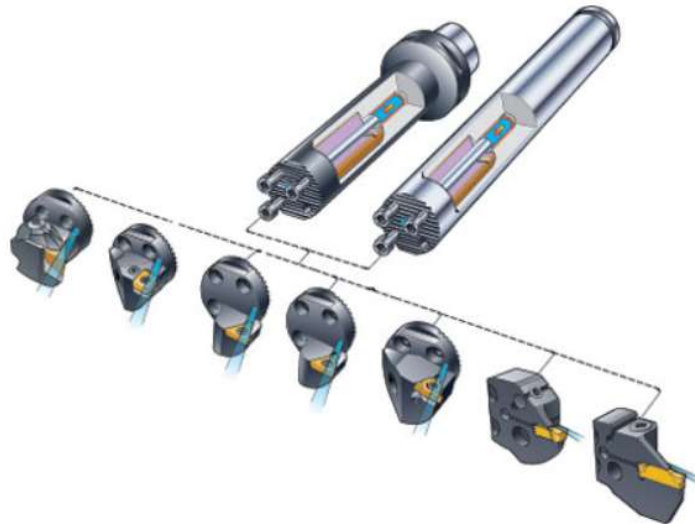
Typ A je osazen lůžkem pro břitové destičky se třemi rohy a s úhlem špičky 35° . Zvládá lehké hrubovací, dokončovací a tvarové obrábění. Typ B je osazen VBD se dvěma hroty, které mají úhel špičky 80° . Díky svému tvaru je tato břitová destička velmi odolná a primárně je určena pro hrubovací operace. [12, 14]

2.1.3 Silent tool adaptér

Jedná se o nástrojové držáky určené pro frézovací, soustružnické a vrtací operace. Tento adaptér je navržen tak, aby pohlcoval vibrace, které vznikají na přední hraně během obrábění a mají negativní dopad na životnost nástroje, obrobený povrch a zvyšují hlučnost celého procesu. Tato problematika se nejvíce objevuje u nástrojů s velkým vyložení a především kvůli této problematice adaptéry vznikly. [15]

Aby se docílilo nejlepších výsledků, je nutné umístit tlumicí systém co nejbliže k řezné hraně. Tento systém se skládá ze tří základních prvků. Prvním je hmotou laděný tlumicí mechanismus, ten má za úkol absorbovat kinetickou energii vibrací. K tomu využívá takzvanou kompenzační frekvenci, nedochází tak k jejich přeměně na teplo a hluk. Druhým komponentem jsou naladěné pružiny a posledním prvkem je olej, který zvyšuje celkovou účinnost. [15, 16]

Výhodou adaptérů je vnitřní vedení procesní kapaliny a modulární systém CoroTurn SL s výměnnými řeznými hlavami, který umožňuje tlumiče optimalizovat pro širší škálu operací. Modulární systém je znázorněn na obrázku 6. [15, 16]



Obr. 6- Vyměnitelné řezné hlavy [16]

V oblasti frézování se tato technologie také velmi osvědčila. Není nutné snižovat rychlosti obrábění, stačí jen implementovat tlumící nástroje. Sandvik slibuje markantní zlepšení obrobené ploch, bezpečnost a spolehlivost obráběcího procesu. Zde lze také využít modulárních sestav v podobě výměnných frézovacích hlavic viz obr. 7. [15, 16]



Obr. 7- Frézovací vyměnitelné hlavice [16]

2.2 Iscar

Firma ISCAR byla založena roku 1952 v Izraeli Stefem Wertheimerem. Roku 1982 získala tato společnost mezinárodní rozsah a momentálně operuje ve více než padesáti zemích po celém světě. Celou situaci kolem mezinárodního působení umocnil fakt, že od roku 2006 spadá ISCAR pod skupinu IMC. Zaměření firmy je především na řezné nástroje. [17]

2.2.1 Aditivní výroba

Společnost ISCAR momentálně nedisponuje výrobními kapacitami, které jsou uzpůsobené pro aditivní výrobu. Vstup do tohoto odvětví teprve plánuje. [17]

ISCAR prozatím implementoval aditivní výrobu pouze do svých výzkumných zařízení, kde je využívána pro vytváření prototypů a hlavně se testuje zařízení pro sériovou výrobu. [17]

2.2.2 Soustružení

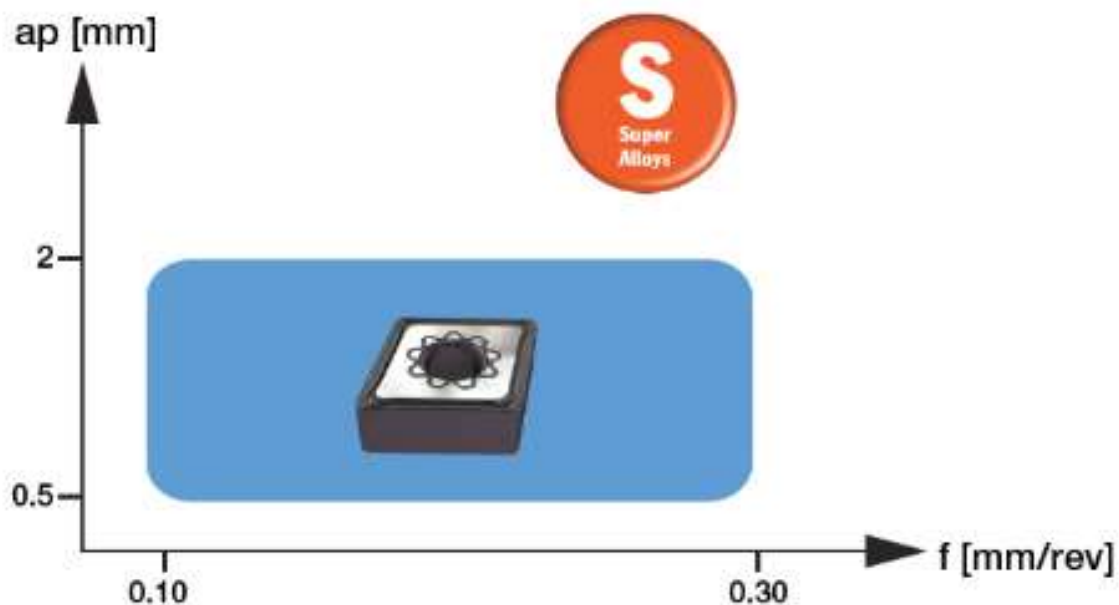
V této oblasti se společnost ISCAR zaměřila především na lepší upínání VBD do soustružnických držáků, vytvoření lepších utvařečů třísek pro superslitiny a na inovaci v oblasti přívodu procesních kapalin během soustružení.

2.2.2.1 Utvařeč F3S

Jedná se o nový typ utvařeče na VBD pro dokončovací operace při soustružení tzv. superslitin na bázi niklu. Zaměřen je tedy především na slitiny jako je Inconel nebo Waspaloy. [18, 19]

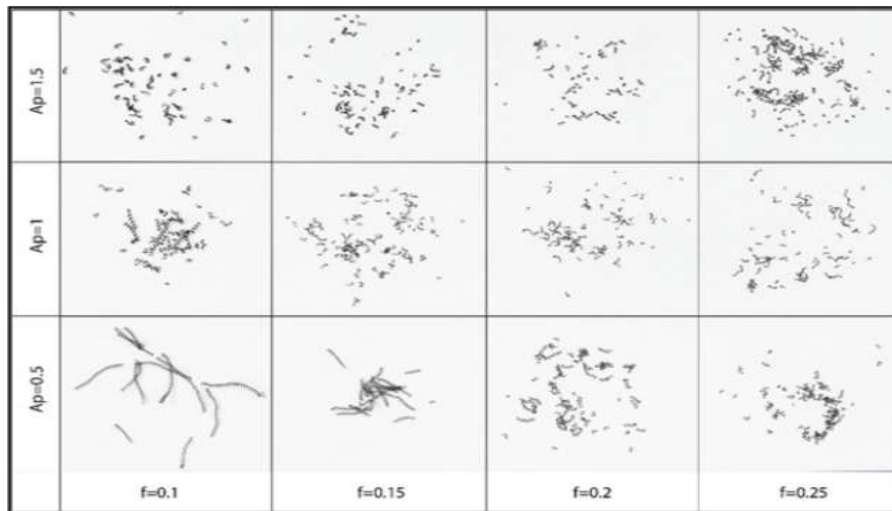
Hlavní doménou tohoto utvařeče je neobvykle pozitivní úhel čela. Tento inovativní utvařeč zajišťuje velmi hladký řez, což rapidně snižuje řezné síly působící na nástroj a navíc skvěle dělí třísky. [18, 19]

Dalšími vlastnostmi utvařeče je například precizně broušený povrch, který poskytuje lepší stabilitu a tuhost v lůžku. Oproti předešlým technologiím si F3S daleko lépe poradí s třískami. Díky unikátní konstrukci utvařeče oplývá velmi efektivní tvorbou třísky a to i při nízkém posuvu a hloubce řezu. [18, 19]



Obr. 8- Rozsah ideálních hodnot, při kterých F3S poskytuje nejlepší výsledky [19]

Pracovníci otestovali výše deklarované vlastnosti v reálném prostředí. Pro testování byla zvolena VBD CNMG 120404- F3S při řezné rychlosti $v_c = 60$ m/ min. Obráběným materiálem byla superslitina Inconel 718. Vzniklé třísky jsou zachyceny na obrázku č. 9.

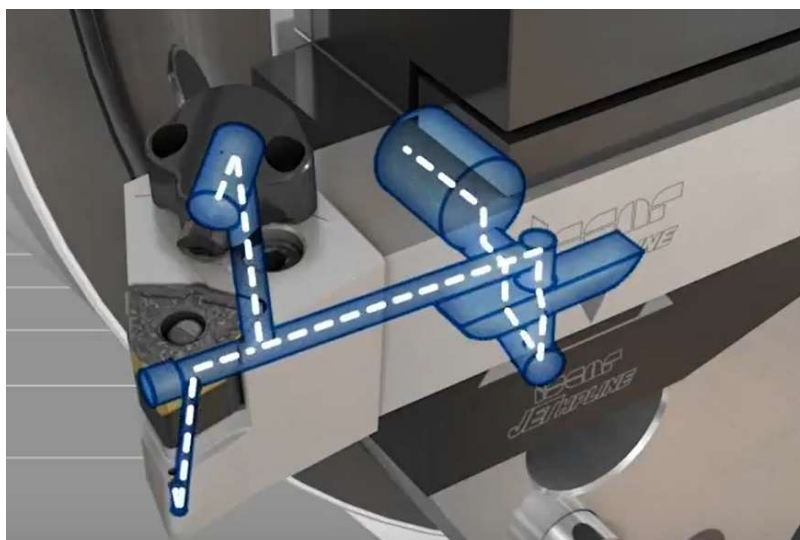


Obr. 9- Vzorok třísek při různých řezných hodnotách [19]

2.2.2.2 Přívod procesních kapalin JHP

Jedná se o vysokotlaký přívod procesní kapaliny z více směrů přímo do řezné oblasti. Tato technologie byla vyvinuta pro většinu soustružnických operací, ale výrobce zmiňuje, že celý systém přívodu procesní kapaliny pod vysokým tlakem je neefektivnější u závitovacích operací. ISCAR uvedením tohoto vysokotlakého systému reagoval na potřeby zákazníků během obrábění žárovzdorných slitin, jako např. Inconel. Výrobce také deklaruje velmi dobré využití u korozivzdorných ocelí. [18]

Systém funguje podobně jako např. u firmy Sandvik. Tělem nástroje vede jeden hlavní kanálek, který se na úrovni břitové destičky rozdělí do dvou menších a vede procesní kapalinu dvěma směry. První kanálek ústí přímo nad VBD, kde je jeho hlavním úkolem lámat a odvádět třísky z řezu. Druhý kanálek ústí na spodní části nástroje a vede kapalinu především na spodní hranu VBD, což velmi pozitivně ovlivňuje životnost břitové destičky. Pro lepší představu je vnitřní systém kanálků znázorněn na obr. číslo 10. [18]



Obr. 10- Vnitřní systém kanálků pro přívod procesní kapaliny [18]

2.2.3 Frézování

Momentálně je pro společnost ISCAR středobodem vylepšování a zavádění nových frézovacích nástrojů pro obrábění žárovzdorných slitin, které mají označení ISO S. Z tohoto

důvodu byla vytvořena fréza XQUAD, která je schopna efektivně obrobit i tyto materiály. Další novinkou je pak fréza NANMILL, která je miniaturní a slouží jako alternativa k monolitním frézám.

2.2.3.1 Fréza XQUAD

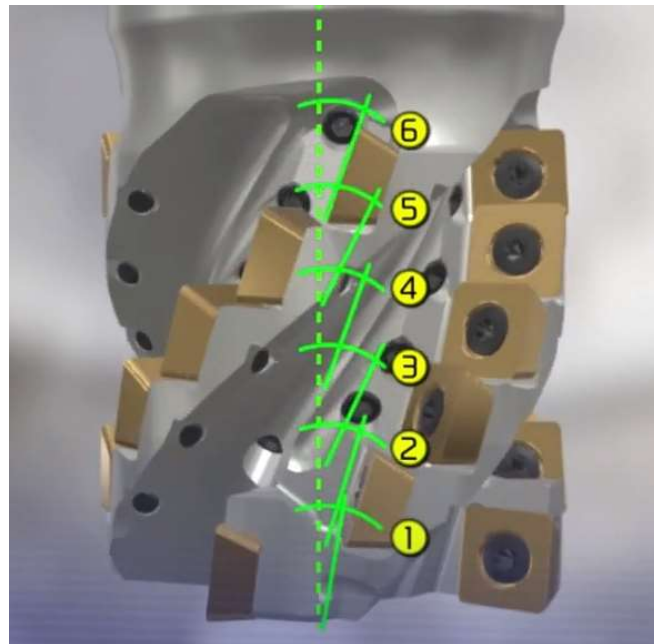
Jak bylo zmíněno výše, tato fréza byla vytvořena především pro uspokojení výroby v leteckém průmyslu. To znamená, že byla navržena tak, aby skvěle zvládala obrobit titanové slitiny. To ovšem není její jediné využití. Tato fréza je víceúčelová a zvládne obrábět i žárovzdorné a korozivzdorné materiály, tedy materiály ISO M a S. [18, 20]

XQUAD fréza je navržena zvláště pro hrubování. Zvládá řezat velmi hluboko do materiálu a to především díky své geometrii a vysokému počtu zubů, které se aktivně podílejí na řezu. V neposlední řadě tato fréza disponuje vnitřním rozvodem procesní kapaliny. Tento vnitřní systém je navržen tak, aby ústil u každé VBD a přiváděl tak proud procesní kapaliny přímo do místa řezu. [18, 20]



Obr. 11- Fréza XQUAD [20]

Při obrábění titanu je velmi důležité, aby měl nástroj vysoce pozitivní geometrii bříty, jelikož dochází k silnému zpevňování povrchové vrstvy. Z obrázku číslo 12 je patrné, že fréza XQUAD splňuje tuto podmínku. [20]



Obr. 12- Znáznornění geometrie břitů [18]

XQUAD se nespécializuje pouze na slitiny titanu, ale i na ostatní materiály, které se využívají v leteckém průmyslu. [20]

Material	ISO group	Machinability, %
Non-alloy free cutting steel	P	100
Low alloy steel, annealed		60
High alloy steel, annealed		50
Austenitic stainless steel, annealed	M	40
Commercially pure titanium	S	43
Titanium Ti-6Al-4V, annealed		25

Obr. 13- Porovnání obrobiteľnosti jednotlivých skupin materiálů [20]

2.2.3.2 NANMILL

ISCAR rozšiřuje svůj sortiment v oblasti frézovacích nástrojů a proto představil tuto velmi malou frézu s trojúhelníkovými VBD o velikosti 8mm až 10mm. VBD tohoto typu jsou extrémně malé a momentálně se jedná o jedny z nejmenších na trhu. NANMILL fréza je určena na operace, kde by se normálně volila monolitní fréza. V porovnání s monolitními frézami je výraznou výhodou ekonomický benefit z důvodu použití VBD. [18, 21]



Obr. 14- Fréza NANMILL [21]

2.3 Kennametal

Jedná se o americkou společnost, která byla založena roku 1938 v Pensylvánii a momentálně působí v šedesáti zemích po celém světě. Tato společnost nabízí širokou škálu sortimentu a to od řezných nástrojů až po zemědělské stroje. V oblasti obrábění Kennametal nabízí jak standartní katalogové nástroje, tak i možnost výroby nástrojů, které jsou případně vytvářené na míru. [22]

2.3.1 Aditivní výroba a technologie

Kennametal se snaží držet krok s dobou a konkurencí a proto masivně investoval do zavedení aditivní výroby. Vyvinutím vlastních kovových prášků pod názvem Kennametal Stellite, Nistelle a Delcrome si společnost snaží držet vysokou kvalitu výrobků a jejich vlastností. Výše zmíněné druhy se odlišují typem kovu, který obsahují. Stellite je založen na kobaltovém základu, Nistelle je postaven na niklovém základu a Delcrome se skládá z železného základu. Kovové prášky společnost Kennametal poskytuje zákazníkům, aby si mohli sami vyrábět na svých zařízeních, to co potřebují. [23]

	ALLOY	BASE METAL	MECHANICAL WEAR	CORROSION	HIGH OPERATING TEMPERATURE
Resistance	Stellite™	Cobalt	★★★★	★★★★	★★★★
Low	Nistelle™	Nickel	★	★★★★	★★★
Satisfactory	Delcrome™	Iron	★★★★	★★	★★
Very Good					
Excellent					

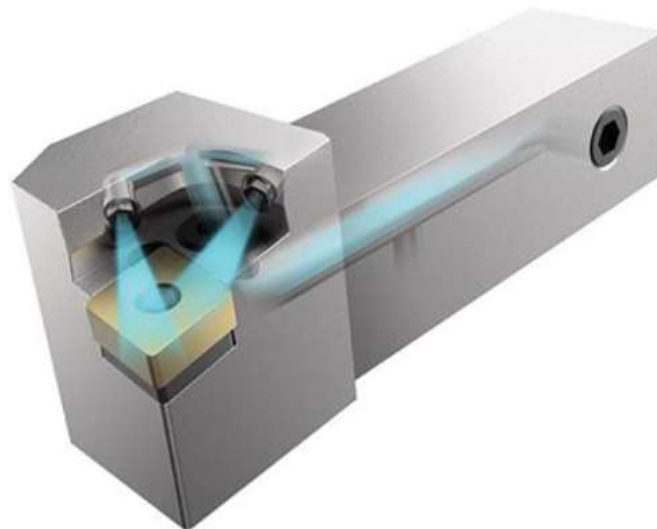
Obr. 15- Vlastnosti jednotlivých kovových prášků [23]

Prozatím společnost Kennametal provádí zakázkovou výrobu složitějších tvarových součástí, ale sériová výroba 3D tiskem řezných nástrojů, držáků nebo adaptérů neprobíhá. V katalogu řezných nástrojů tedy zatím není žádný nástroj, který by byl vytvořený pomocí aditivních technologií. [23]

2.3.2 Soustružení

Největší inovací v oblasti soustružení jsou upínací adaptéry KM4X a zavedení vysokotlakého přívodu procesní kapaliny tělem držáku do místa řezu.

Společnost Kennametal zvolila odlišný přístup k přívodu procesní kapaliny oproti firmě ISCAR nebo Sandvik. Kennametal zvolil způsob, kdy vnitřní kanálky mají dva výstupy, ale oba se nacházejí na horní straně držáku a přivádí tak procesní kapalinu jen přímo do místa řezu. [24, 25]

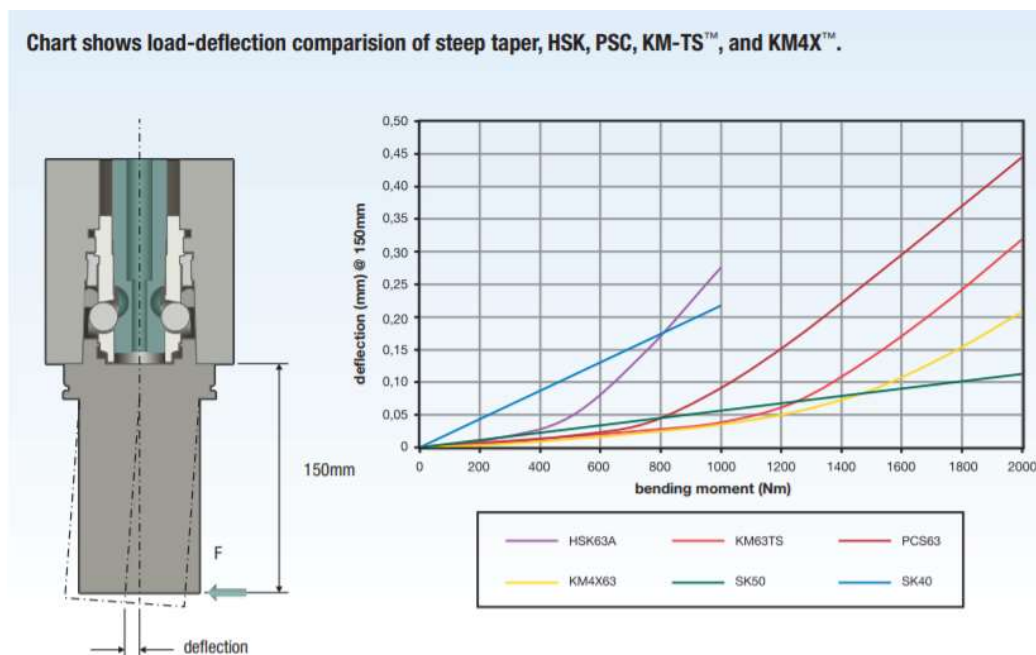


Obr. 16- Vnitřní vedení a přívod procesní kapaliny od společnosti Kennametal[39]

Držáky splňují normu ISO a systém navádění procesní kapaliny je zakončen vysokotlakými tryskami, které jsou nastavitelné. Tento zdvojený tryskový přívod kapaliny rapidně zlepšuje lámání třísek a jejich následný odvod z místa řezu. Zároveň dostatečně chladí VBD a tak zlepšuje její životnost a procesní bezpečnost. [24, 25]

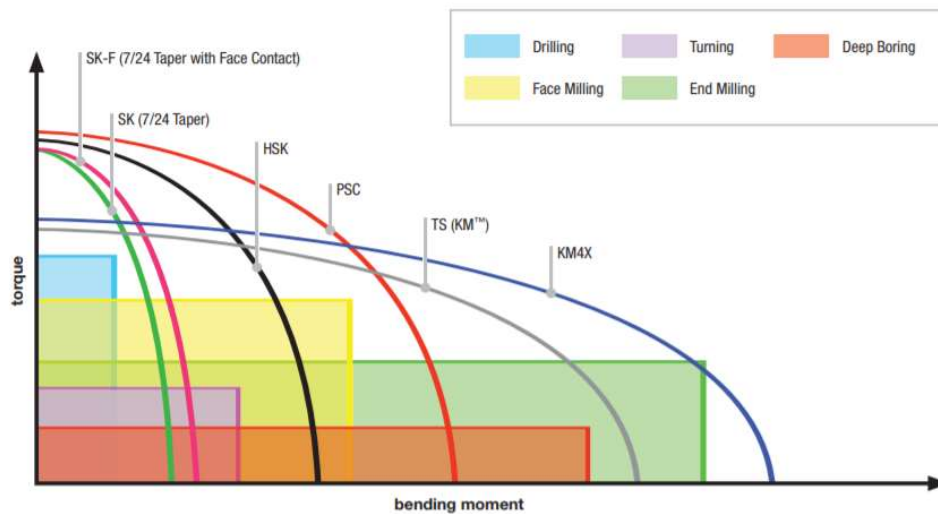
2.3.2.1 Upínací systém KM4X

KM4X je technologie, která nabízí vyšší upínací sílu, tuhost a únosnost v ohybu. Díky těmto vlastnostem je možné ze soustruhu nebo obráběcích center dostat bezkonkurenční výkon. Tento systém vyniká především při obrábění velkých strukturálních dílů například z titanu. KM4X nabízí nejpevnější spojení, které vydrží extrémně vysoké ohyby díky kombinaci vysoké interferenci a vysokým upínacím silám. [26]



Obr. 17- Graf vychýlení upínacích systémů v závislosti na ohybovém momentu [26]

Zároveň se jedná o jediný systém poskytující spojení, které udržuje tuhost při zvýšené rychlosti rotace a je vhodný pro řadu aplikací. Dále udržuje lepší rovnováhu mezi ohýbáním a kroucením. [26]



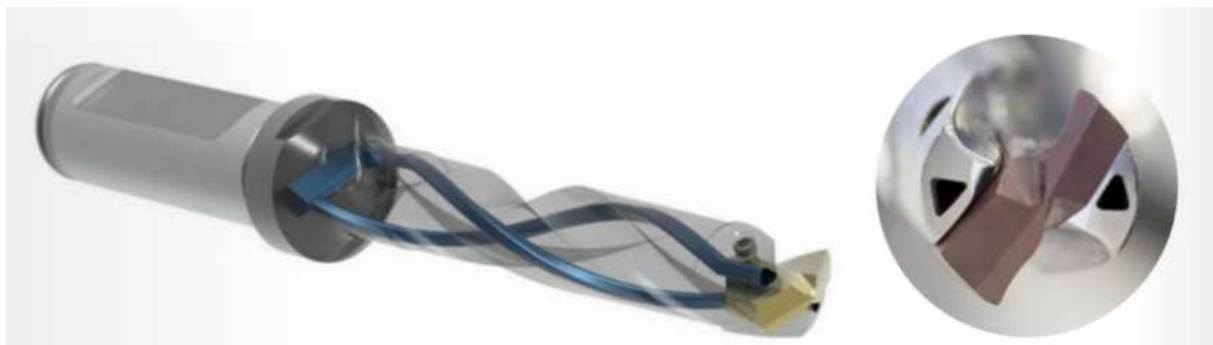
Obr. 18- Závislost kroutičího momentu v závislosti na ohybovém momentu [26]

2.4 Mapal

Společnost Mapal je velkou firmou, která je předním mezinárodním poskytovatelem nástrojů pro kovoobrábění se sídlem v německém Aalenu. Byla založena roku 1950 ve spolkové republice Bádensko-Württembersko. V dnešních dnech společnost poskytuje své výrobky v jednadvaceti zemích po celém světě. Výrobky společnosti Mapal se specializují na náročné frézovací a soustružnické operace. V České republice se nachází pobočka pro individuální řešení strojního obrábění. [27]

2.4.1 Aditivní výroba a technologie

Společnost Mapal byla jedna z prvních, která začala masivně využívat aditivní technologie pro výrobu řezných nástrojů. Původně se jednalo převážně o monolitní vrtáky. S postupem času se přešlo i na nástroje, které využívají VBD. [28]



Obr. 19- Vrták společnosti Mapal se spirálovitým vedením procesní kapaliny [28]

Znázorněný vrták má konstantní rozteč a lůžko pro VBD. Z obrázku 19 je patrné, že vrták má uprostřed těla spirálovité kanálky, které vedou procesní kapalinu a zlepšují její tok. Ta je přiváděna přímo k VBD a tím prodlužuje její životnost. [28]

Výhodou výroby vrtáků pomocí aditivních technologií je, že i při menších rozměrech těla nástroje lze kanálky vyrábět ve spirále a snadno se zmenší jejich velikost, takže vnitřní vedení nezeslabuje jádro vrtáku, což vedlo k nestabilitě nástroje během obrábění. Z tohoto důvodu společnost Mapal začala masivně využívat aditivní technologie k výrobě vrtáků. [28]

2.4.2 Nový frézovací nástroj pro spojovací díly

Jedná se o nový řezný nástroj na externí obrábění hadicových spojovacích dílů, který je osazen VBD z polykrystalického diamantu (PVC). Mapal využil aditivní výrobu, aby optimalizoval již existující konvenční nástroj a nahradil ho tak inovovanou variantou. [29]

Především bylo vyvinuto úsilí na snížení celkové váhy nástroje. Tato snaha se zdařila díky speciální „plástvové“ struktuře, která váhu zredukovala o 30% oproti původnímu nástroji. To znamená, že je nástroj uvnitř vyplněn podpurnými žebry a není zcela vyplněn materiálem. Pro lepší představu viz obrázky č. 20. [29]

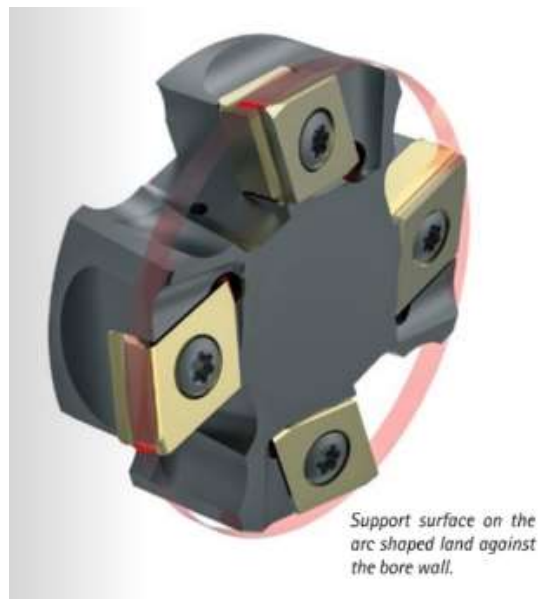
Spolu se snížením váhy se docílilo i prodloužení životnosti nástroje o 40% a je možné využít vyšší řezné rychlosti při zachování kvality výsledného povrchu. [29]



Obr. 20- Znárodnění výplně vnitřních dutin nástroje [29]

2.4.3 Vyvrtávání

Mapal přichází na trh s inovovanými vyvrtávacími hlavami, které využívají VBD s obloukovitou fazetou. Důvod zavedení této inovace byl, že během vyvrtávání do velkých hloubek se často vyskytovaly problémy s vibracemi, které velmi degradovaly kvalitu obrobeneho povrchu a zároveň snižovaly životnost nástroje. Z tohoto důvodu se přešlo na tento systém, který se během obrábění opírá o obráběný materiál. Během procesu obrábění disponuje nástroj velkou opěrnou plochou, což je patrné z obrázku 21. [29]



Obr. 21- Opěrný systém vyvrtávací hlavy [29]

Obloukovitý povrch vyvrtávací hlavy je během obrábění v kontaktu s obráběným materiálem a tak stabilizuje nástroj. Tato podpora nástroje minimalizuje vibrace. Výhodou je velmi kvalitní obrobený povrch, vysoká spolehlivost procesu, zvýšená životnost nástroje a VBD. [29]

2.4.4 Pohlcovač vibrací

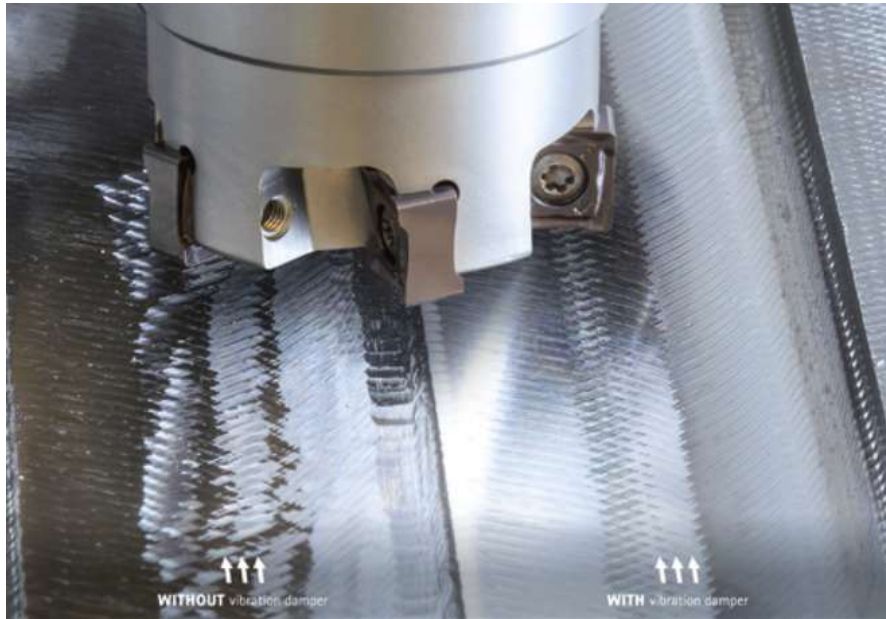
Kvůli dynamické nestabilitě celé sestavy vytvořila společnost Mapal tlumicí adaptér, který tlumí vibrace během obrábění. Při vzniku vibrací většinou dochází k zhoršené kvalitě výsledného povrchu, zvukovým emisím nebo v nejhorších případech i ke zničení nástroje. K zamezení těchto faktorů byl adaptér vytvořen a je určen pro operace s dlouhým vyloženíem tedy především pro vyvrtávání a frézování. [30]



Obr. 22- Tlumicí adaptér společnosti Mapal [30]

Oproti tlumicímu adaptéru od firmy Sandvik je zde k tlumení využit důmyslný systém pružin a viskózní tekutiny. To působí proti vychýlení nástroje a minimalizuje jej. Při porovnání operací s nástrojem na obyčejném prodlužovacím adaptéru a s tlumícím adaptérem se vibrace snížily téměř tisíckrát, navíc se zajistil tichý a stabilní průběh operace. Díky tomu je možné zvýšit rezné rychlosti a navýšit úběr materiálu, zároveň je dosaženo i

kvalitnějšího povrchu. Adaptéry pro frézování jsou doplněny i o vnitřní přívod procesní kapaliny. [30]



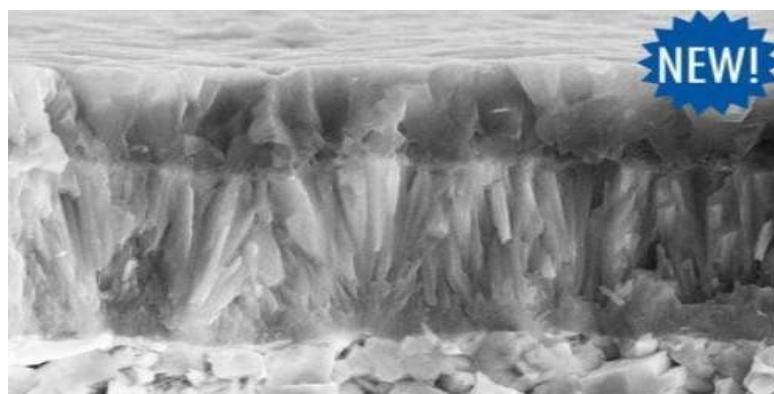
Obr. 23- Povrch bez využití adaptéru vlevo a vpravo s využitím adaptéru [30]

2.5 WNT

Skupina WNT je prodejní organizací, která poskytuje nástroje pro třískové obrábění. Hlavní sídlo se nachází v Německu a působí v devatenácti zemích po celém světě. WNT je součástí mezinárodního koncernu Ceratizit. [31]

2.5.1 Dragonskin

Jedná se o velmi inovativní technologii povlakování VBD. Speciálních vlastností této povlakovací technologie je dosaženo pomocí práškové metalurgie. VBD s tímto povlakem jsou cíleny na třískové obrábění v nejtěžších pracovních podmínkách a nárůst výkonu je až o 80%. Dále poskytuje delší životnost VBD, rapidně zvyšuje procesní bezpečnost, skvěle odvádí třísky a ty se tak nenalepují na VBD a snižuje řezný odpor. [32]

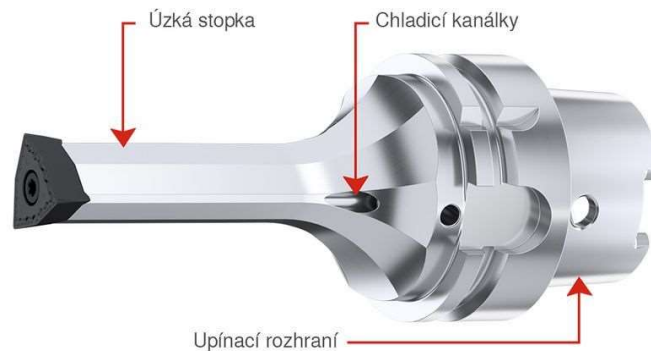


Obr. 24- Struktura nové povlakové technologie Dragonskin [32]

Celý povrch je velmi hladký a pod ním se nachází seskupení několika tenkých vrstev. Díky novému technologickému postupu při výrobě povlaku se základní vrstva chová více houževnatě. Vzhledem k lepší přilnavosti krycí vrstvy bylo možné navýšit konečnou tloušťku celé povlakové vrstvy. [32]

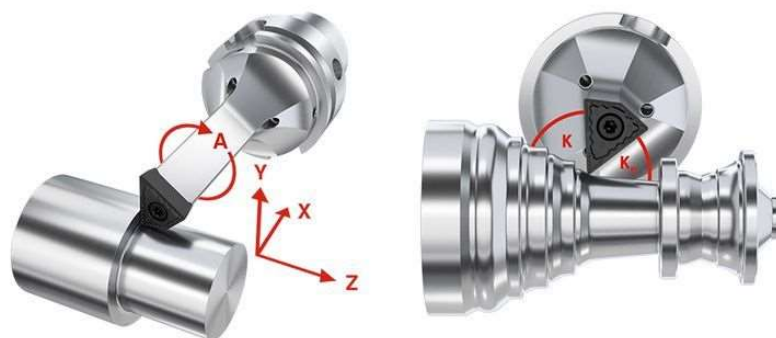
2.5.2 High dynamic turning (HDT)

Ve zkratce se jedná o inovativní metodu soustružení, která má ambice doplnit, případně nahradit stávající metodu soustružení. Základním kamenem je nástroj nazvaný FreeTurn. Zatímco se při běžných soustružnických operacích na hrubování, dokončování či podélné soustružení musí použít více odlišných nástrojů, tak v případě HDT postačí pouze výše zmíněný FreeTurn. [33]



Obr. 25- FreeTurn od společnosti WNT [33]

Další odlišností je základ procesního seřízení. Využívá se polohovací frézovací vřeteno pro nastavení řezného úhlu nástroje vzhledem k profilu obrobku namísto statického nastavení VBD pomocí upínacího držáku. Díky polohování vřetena a kompaktnímu provedení nástroje lze využívat výhod variabilního nastavení osy v rozsahu 360° a není nutné se obávat jakýchkoliv srážek. [33]



Obr. 26- Obrábění ze všech směrů a přizpůsobení řezného úhlu [33]

Vzhledem k tomu, že poloha VBD a úhel nastavení v řezu lze kdykoliv libovolně upravovat, tak dochází k minimálnímu přerušování obrábění. Časy nutné k výměně nástrojů jsou úplně odstraněny, jelikož je možné využít více řezných hran VBD a hlavně není nutné kupovat další nástroje, takže se snižují pořizovací náklady. Se zvyšující se náročností kontury obrobku se v případě HDT zvyšují úspory času, protože u konvenčního soustružení by bylo nutné využít několik odlišných nástrojů. Zároveň jde navýšit i posuvy během obrábění a to až o 40%. Veškeré výše zmíněné faktory navyšují produktivitu HDT oproti konvenčnímu soustružení až o 200%. [33]



Obr. 27- Varianty VBD pro FreeTurn [33]

2.6 Komet

Stejně jako společnost WNT je i Komet součástí koncernu Ceratizit. Komet je společnost vyrábějící precizní nástroje na obrábění, jako například vrtáky a frézy. Společnost již implementovala aditivní výrobu a vyrábí tak některé nástroje. To činí ze společnosti Komet velmi významného hráče na poli výroby rezných nástrojů. [34]

2.6.1 Aditivní výroba

V této oblasti se společnost Komet doopravdy vyznamenává a nemalé investice do výrobních kapacit pro aditivní technologii přenesly tížené výsledky. V katalogu se již objevují rezné nástroje, které jsou vyráběny pomocí aditivních technologií. Jednou skupinou těchto nástrojů jsou tištěné frézy. Ty jsou následně osazeny VBD z velmi tvrdého polykrystalického diamantu (PCD). Dalším nástrojem je speciální vrták, který obsahuje komponenty vyrobené 3D tiskem. Tyto komponenty jsou také z PCD. [35]

2.6.1.1 Polykrystalický diamand (PCD)

Jedná se o velmi tvrdý materiál. Jeho tvrdost je téměř srovnatelná s přírodním diamantem a velmi zdatně odolává abrazivnímu opotřebení. Ovšem má i nedostatky, které do jisté míry omezují jeho využití. Například pro svou afinitu s ním nelze obrábět železné materiály, nebo že se nesmí překročit teplota 600 °C v oblasti řezu [36].

2.6.1.2 Komet JEL frézy

Jedná se o novou řadu fréz, které jsou vyráběné pomocí aditivních technologií. Společnost Komet využila všech výhod této výroby a vytvořila tak frézy, které jsou skvěle optimalizované. Mají přívod procesní kapaliny přímo na reznou hranu a tvarově jsou uzpůsobeny tak, aby celý obráběcí proces byl vysoce efektivní. Toho bylo docíleno například tím, že tyto frézy oplývají větším počtem zubů. [35]

Jak stojí výše, tyto frézy jsou celé vytištěné a následně osazené VBD z PCD. Vyrábí se ve dvou variantách. Buď celistvé s karbidovým držákem, či ve variantě šroubovací hlavy o variabilních délkách nástavců. [35]



Obr. 28- Komet JEL frézy [35]

Poslední variantou frézy z této nové řady je modulární čelní fréza. U této frézy se vyrábí pomocí aditivních technologií pouze prstenec, na kterém jsou umístěny lůžka pro VBD. Modulární je proto, aby si zákazník mohl vybrat mezi ECO, PERFORMANCE nebo HPC variantami, které se odlišují počtem zubů. [35]



Obr. 29- Modulární fréza [35]

2.6.1.3 Komet JEL PCD vrtací nástroj

Jedná se o naprosto nový vrtací nástroj, který byl navržen speciálně pro výrobu mrazových zátek motorů. Tento nástroj obsahuje velmi přesný přívod procesní kapaliny a speciální vložky, které jsou vyráběny pomocí aditivních technologií. [37]

Díky speciální konstrukci jsou třísky odváděny z vyvrtaného otvoru skrze zakřivenou část speciálních vložek pryč z řezu. Vzniká tak čistý obrobek, který neobsahuje žádné zbytkové třísky. [37]



Obr. 30- Komet JEL PCD řezný nástroj [37]

2.6.2 Komet MicroKom BluFlex 2

Jedná se o hlavu pro jemné vyvrtávání s radiálním vysouváním, která je vybavena kontrastním OLED displejem a technologií Bluetooth. Díky tomu lze tento nástroj propojit například s telefonem, kde se následně zobrazuje aktuální vysunutí nástroje. Pomocí obyčejného šestihříbného klíče lze jemnou nastavovací hlavici radiálně přestavovat a upnout. [38]



Obr. 31- MicroKom BlueFlex 2 [38]

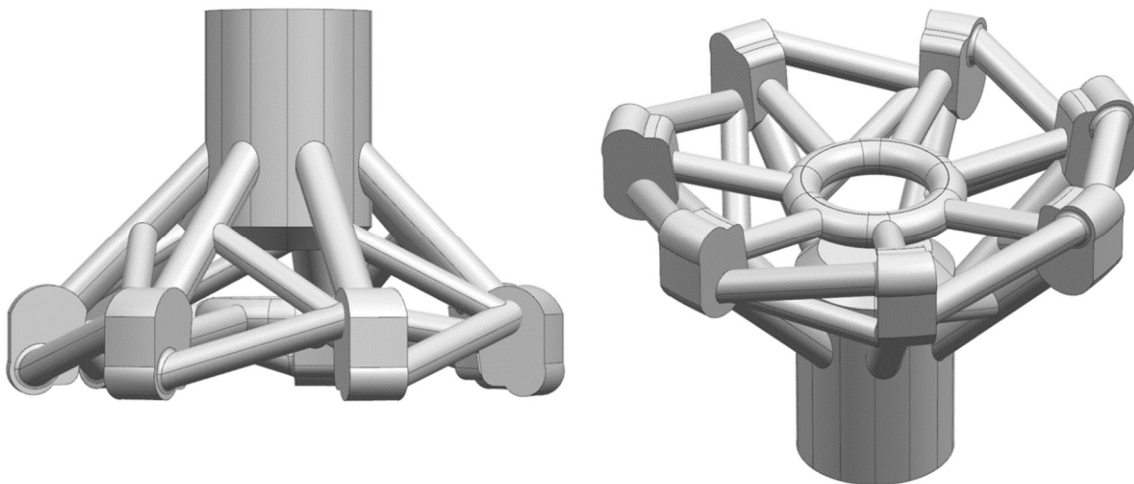
3 Návrh, realizace a zhodnocení vlastního experimentu

Touto kapitolou se přechází na praktickou část bakalářské práce, která se zabývá speciální frézou vytvořenou pomocí 3D tisku kovů a její inovací. Detailně bude představena fréza Kraken, která byla vytvořena na pracovišti RTI týmem laboratoře experimentálního obrábění (LEO). Dále budou představeny nově vzniklé úpravy, které byly vytvořeny za účelem vylepšení této frézy.

Tyto úpravy by měly mít významný přínos pro zlepšení chování frézy během řezu, životnost nástroje i VBD a celkovou plynulost obráběcího procesu. Poslední částí bude testování jednotlivých variant této frézy.

3.1 Fréza Kraken

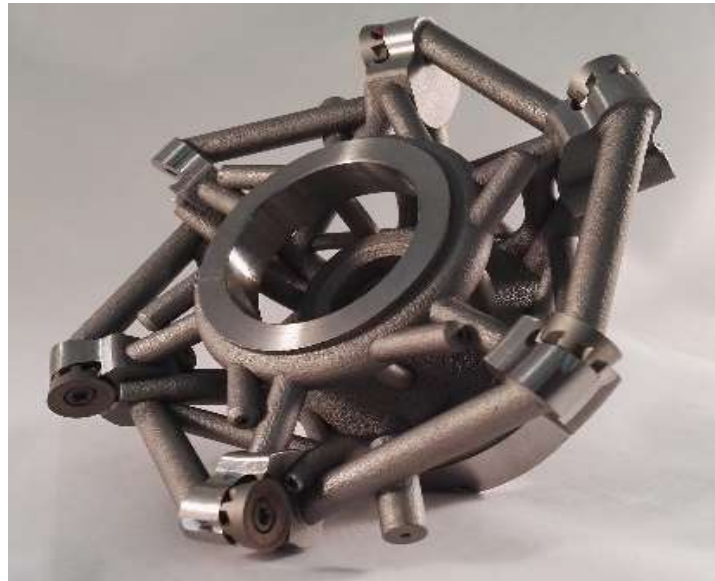
Jedná se o inovativní čelní frézu vyrobenou pomocí 3D tisku s vnitřním rozvodem procesní kapaliny. Prvotní práce na vytvoření takové frézy započaly roku 2014, kdy byla vytvořena první předloha a idea toho, jak by finální nástroj měl vypadat.



Obr. 32- Původní vize frézy Kraken

Vytváření rezných nástrojů pomocí aditivních technologií má několik výhod oproti standardnímu postupu a výrobě. Tou hlavní výhodou je možnost vytvořit vnitřní kanálky, které jsou vedeny libovolným způsobem skrze tělo nástroje a jsou optimalizovány tak, aby přiváděná kapalina byla navedena přesně na místo určení. Tím se zlepšuje chování nástroje během rezných operací nebo prodlužuje životnost VBD. Další nesmírnou výhodou je možnost zredukování váhy těchto nástrojů.

Všechny tyto možnosti a výhody výroby pomocí aditivní technologie vyústily ve finální podobu frézy Kraken. Oproti prvotnímu návrhu prošla fréza Kraken značnou přeměnou a to zejména vytvořením vnitřních kanálků pro přívod procesní kapaliny. Původní návrhy vnitřní chlazení nezahrnovaly, ovšem vizuálně se nástroj příliš neodvrátil, viz obrázek číslo 33.



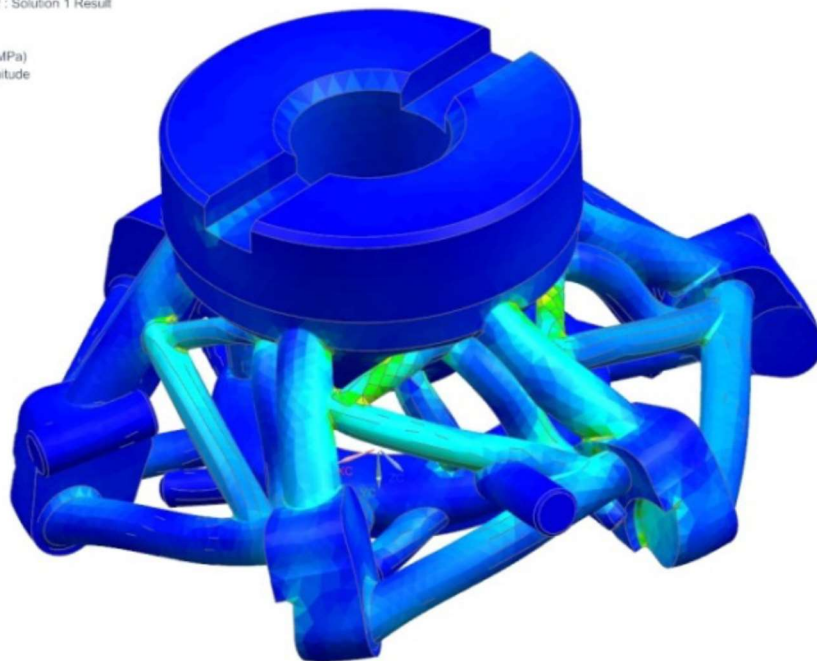
Obr. 33- Fréza Kraken [40]

3.1.1 Specifikace frézy Kraken

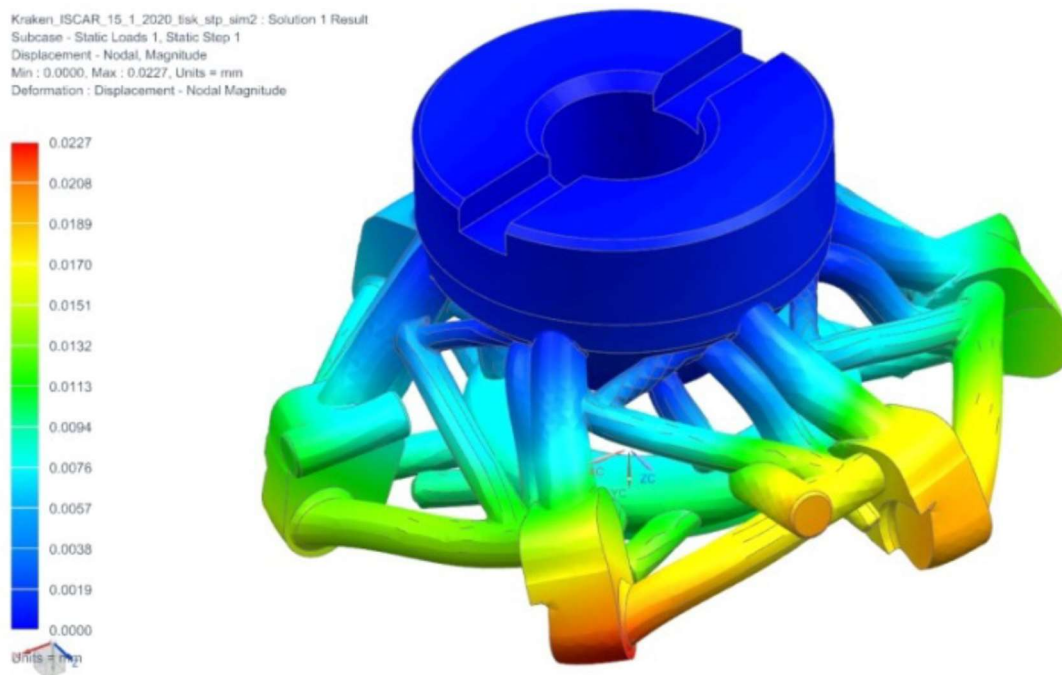
Hlavní předností této frézy je její váha. Díky důmyslnému provedení těla nástroje bylo možné dosáhnout váhy 1.01 kilogramu. Pro lepší představu byla váha porovnána se standartními nástroji o tomto průměru a velikosti. Došlo se k závěru, že Kraken je více jak šedesát procent lehčí než ostatní nástroje. Přičemž si zachoval velmi dobrou stabilitu, která je podobná jako u fréz s plným objemem těla.

Vzhledem k tvaru a celkovému provedení by bylo možné namítat, že Kraken nebude příliš odolný nebo tuhý a mohlo by tak dojít ke zkroucení během obrábění tvrdých materiálů. Díky simulaci deformačního posunutí a napětí byla všechna choulostivá místa optimalizována tak, aby se nástroj nezkroutil nebo neporušil. Použil se tedy podobný postup, jako využila například společnost Sandvik u jejich frézy CoroMill 390 Lightweight.

Kraken_ISCAR_15_1_2020_tisk_stp_sim2 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Von-Mises
Min : 0.00, Max : 73.42, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obr. 34- Rozložení hodnot napětí [41]



Obr. 35- Zobrazení hodnot deformačních posunutí [41]

Kraken je vytištěn z nástrojové ocele MS1 od společnosti EOS (EOS MaragingSteel MS1 je ocelový prášek zpracováváný metodou 3D tisku DMLS). Tato nástrojová ocel obsahuje 18% niklu. Disponuje velmi dobrými mechanickými vlastnostmi, skvělou obrobiteľnosťou a následným tepelným zpracováním se lze dopracovat ke skvělé tvrdosti (více než 50 HRC) a pevnosti. [42]

Originální varianta frézy Kraken je vybavena lůžky pro břitové destičky od firmy OSG.

Specifikace frézy Kraken	
Průměr nástroje	125 mm
Materiál nástroje	MS1
Váha	1.01 kg
Počet břitů	6

Tabulka 2- Specifikace frézy Kraken

Základní dokumentace s bližšími rozměry celé frézy jsou k nalezení v příloze číslo 1, kde se nachází výkres frézy Kraken.

3.2 Inovování frézy Kraken

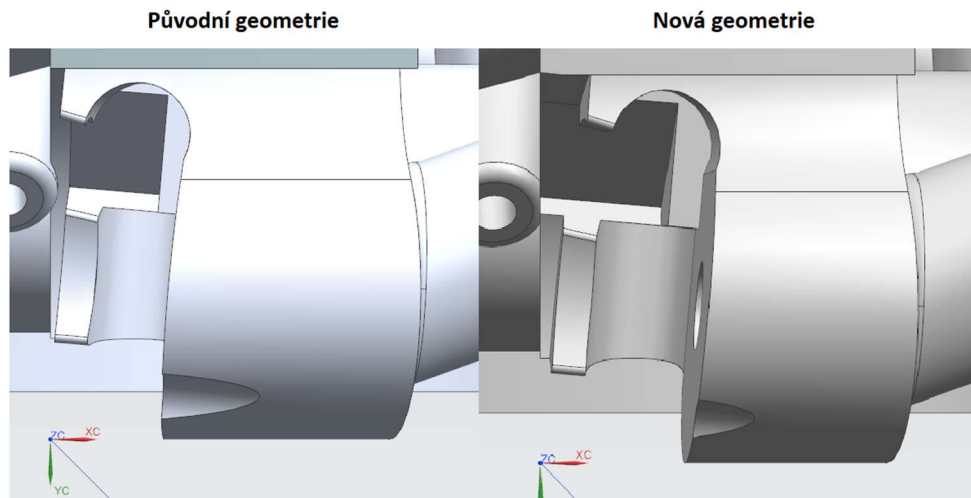
Tak jako ostatní společnosti neustále zdokonalují svůj sortiment, tak i tým LEO se snaží frézu Kraken neustále vylepšovat a optimalizovat. Dlouhodobé testování je prováděno na materiálu Inconel 718, na kterém se velmi rychle projeví nedostatky nebo přednosti nově vzniklých inovací.

3.2.1 Nová geometrie lůžka pro VBD

Jednou z prvních a doslova akutních úprav byla modifikace geometrie lůžek VBD. Během prvních testů se projevil nedostatek právě v geometrii lůžek pro VBD, jelikož při

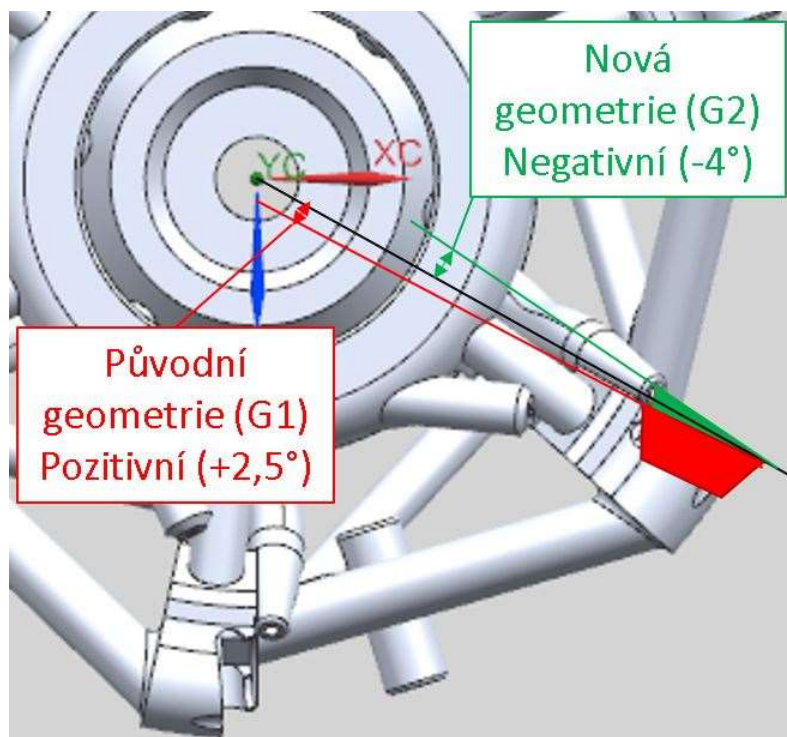
testování vznikaly velké akustické emise. Když dosáhla fréza plného záběru v materiálu, vznikl silný a pisklavý zvuk, který byl nesnesitelný.

Z tohoto důvodu byla originální geometrie optimalizována tak, že se lůžko zkrátilo, natočilo směrem ven a VBD je teď více položená, aby bylo dosaženo negativní geometrie.



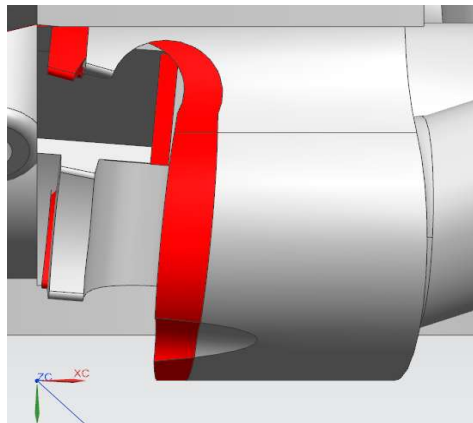
Obr. 36- Porovnání původní a nové geometrie lůžka

Nová geometrie má radiální úhel naklonění VBD -4° (původní hodnota byla $+2,5^\circ$). Axiální úhel naklonění zůstal nezměněn na hodnotě $+5^\circ$. Poslední změnou je nerovnoměrné dělení břitů (původní geometrie měla rovnoměrné dělení s roztečí 60° mezi břity), kdy je rozteč mezi VBD $59^\circ, 61^\circ, 60^\circ, 58,5^\circ, 61,5^\circ$ a 60° , součet je tedy 360° .



Obr. 37- Rozdíl v radiálním naklonění VBD geometrií

Po zhotovení optimalizované geometrie byly provedeny nové testy, které měly ukázat, zdali je negativní nastavení lůžek správnou volbou. Z testů, které hodnotily především akustiku nástroje, bylo zjištěno, že nová geometrie má mnohonásobně lepší akustické projevy a bylo možné jí využít i pro další modely.



Obr. 38- Znárodnění odlišnosti geometrie (Červeně původní lůžko, Šedě nové lůžko)

3.2.2 VBD od společnosti ISCAR

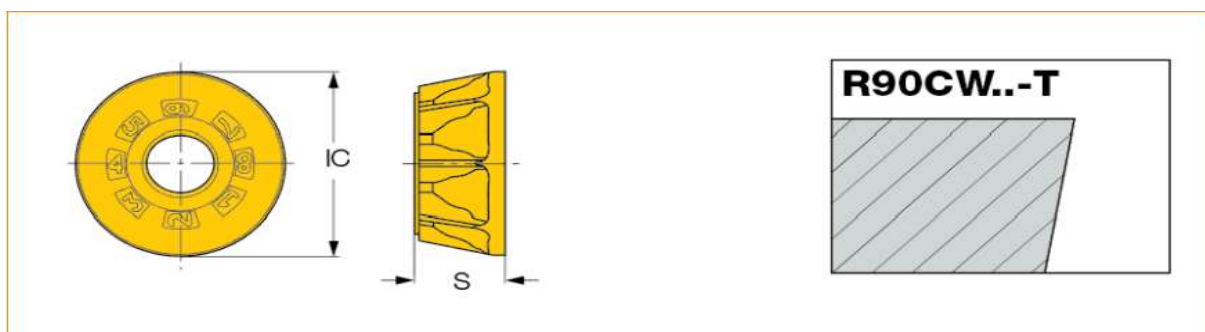
Na základě spolupráce se společností ISCAR byla vytvořena geometrie frézy Kraken speciálně pro potřeby této společnosti. Kraken se musel předělat a být osazen lůžkem pro VBD od společnosti ISCAR.

Tato úprava byla provedena především pro to, aby vznikl odpovídající vzorek testovaných hodnot a bylo možné porovnat získané výstupy. Zároveň se tak zjistilo, jak se Kraken bude chovat s jinými VBD.

3.2.2.1 Výběr nových břitových destiček

Bylo nutné vybrat takové kruhové VBD, které jsou schopné efektivně obrábět žáruvzdorné a žárupevné materiály. V sortimentu společnosti ISCAR nejsou VBD, které by byly určeny speciálně pro tuto oblast frézování. Proto bylo nutné vybrat nejefektivnější VBD, které jsou schopné obrábět speciální materiál skupiny ISO S.

Po zhodnocení všech možností, byly vybrány VBD R90CW 1205- T.



Obr. 39- Zvolená VBD od společnosti ISCAR [44]

IC	S	fz (min)	fz (max)
12.00	5.00	0.12	0.20

Obr. 40- Specifikace vybrané VBD [44]

Řezné vlastnosti těchto VBD v materiálech ISO S deklarované výrobcem. Řezné rychlosti v těchto materiálech byly důležitým specifikem.

S	33	Vysokoteplotní slitiny na bázi Ni nebo Co	Žiháno :250	35-50 m/min
S	34	Vysokoteplotní slitiny na bázi Ni nebo Co	Tvrzené :350	25-35 m/min
S	35	Vysokoteplotní slitiny na bázi Ni nebo Co	Lité :320	30-40 m/min

Obr. 41- Řezné vlastnosti pro materiály ISO S [44]

3.2.2.2 Vytváření lůžka pro nové VBD

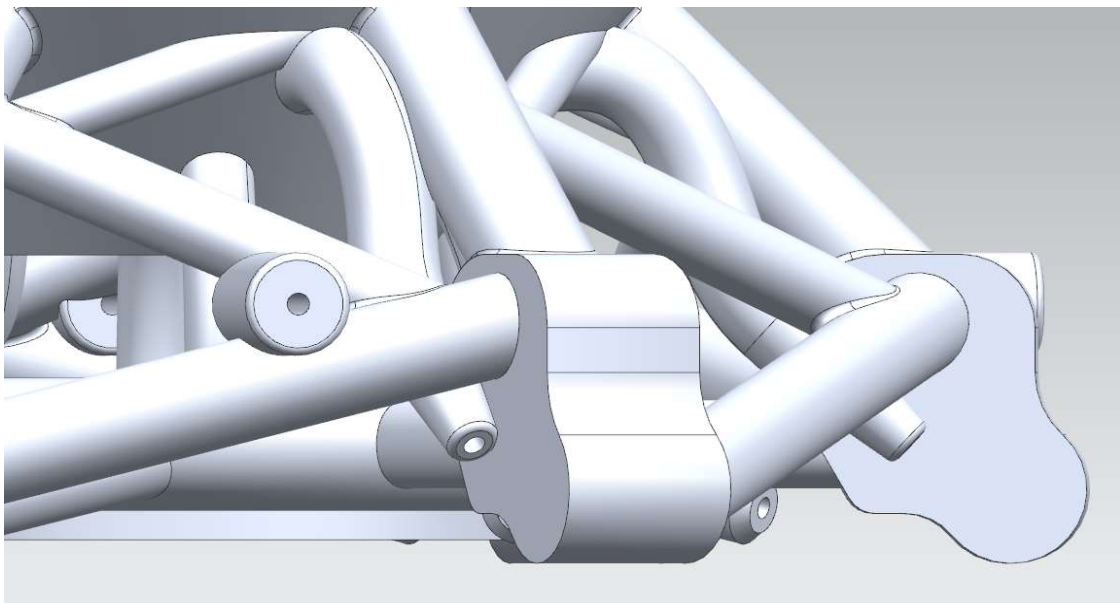
Pro vytvoření nového lůžka na fréze Kraken bylo nutné vytvořit detailní scan již existující frézy s lůžkem, které by bylo rozměrově vyhovující pro Krakena. Po vytvoření detailního scanu frézy a vybraných VBD stačilo získané výstupy přeměnit v odpovídající modely v softwaru NX.

Lůžko pro VBD bylo scanováno z frézy CHAMMILL, která byla vyhodnocena jako ideální předlohou a to především z důvodu podobnosti rozměrů.



Obr. 42- Fréza CHAMMILL [44]

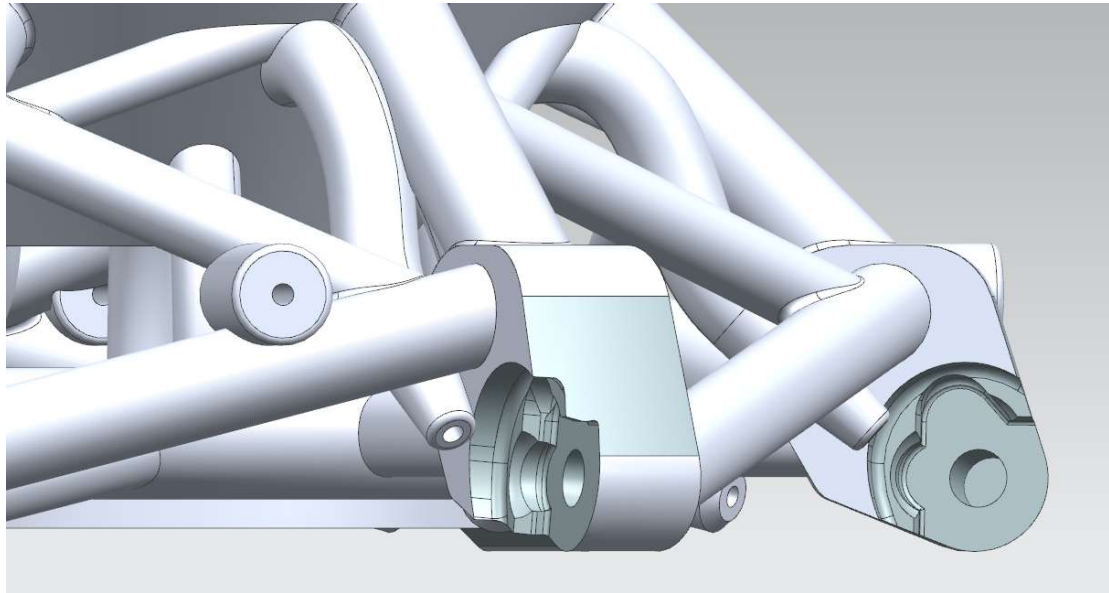
Prvním krokem bylo zaslepení lůžek u frézy Kraken, aby poté bylo možné vymodelovat nové lůžko a správně jej usadit do vlastní konstrukce.



Obr. 43- Zaslepení lůžek

Z vytvořeného modelu bylo nutné vytvořit tzv. negativ lůžka a ten následně vložit do modelu z obrázku číslo 43. Negativ se poté do plného lůžka obtiskl a vytvořil se tak hrubý tvar lůžka.

Vzhledem k větším rozměrům nového lůžka bylo nutné přidat materiál v oblasti původního umístění VBD. Vše se muselo optimalizovat tak, aby se negativ obtiskl celý a nově vzniklé lůžko bylo adekvátně uloženo v konstrukci frézy a bylo schopné přenést předpokládané zatížení.



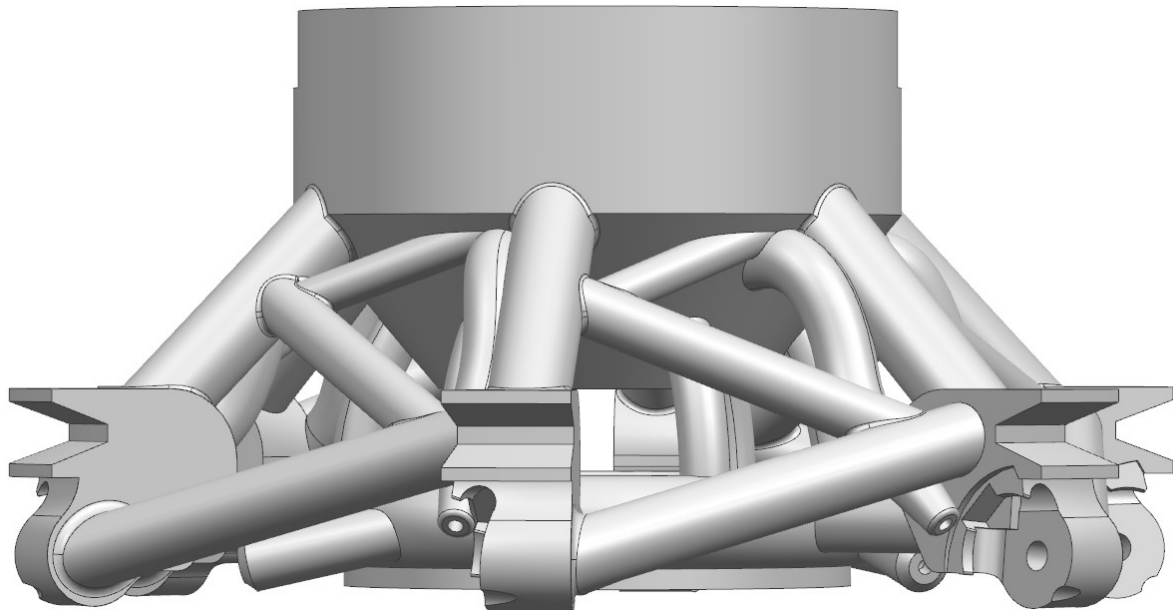
Obr. 44- Zhotovení lůžka pro nové VBD v softwaru NX

3.2.3 Drážky pro kompozitní materiál

Z důvodu menší hmotnosti a speciální konstrukce vytvořené aditivní technologií, kdy je tělo frézy tvořeno pruty, vzešla myšlenka ohledně ztužení celé konstrukce tohoto řezného nástroje.

Byla vybrána varianta, kdy se použije kompozitní materiál. Vzhledem k tomu, že na originálním modelu nebyla konstrukce vybavena drážkami nebo jinou konstrukcí, na kterou by se nechal kompozit umístit, tak bylo nutné takovou modifikaci vytvořit.

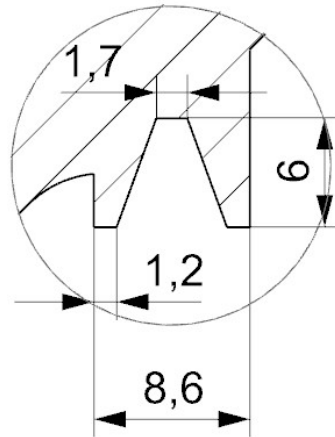
Protože nebylo jisté, kam a jak se drážky vytvoří, tak bylo zadání na jejich rozměry a pozici spíše orientační a vycházelo se z možností modelu. Důležité byly údaje o hloubce a šířce drážek. Požadavek na hloubku byl alespoň 5 mm a na šířku do 12 mm. Dno drážek mělo být rovnoběžné s osou Y a drážky nesměly vyčnívat ze jmenovitého průměru frézy Kraken.



Obr. 45- Drážky pro kompozitní materiál (Varianta A)

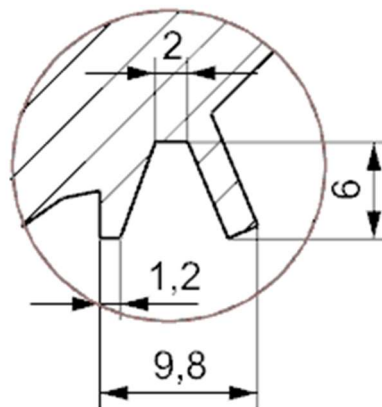
U varianty A byly drážky vytvořeny přímo nad lůžky a to především z důvodu nutných výměn VBD obsluhou na řezném nástroji.

Tato varianta byla po návržení zhotovena a testována v reálných podmínkách aniž by tomu předcházelo vytváření simulací napětí a deformačního posunutí.



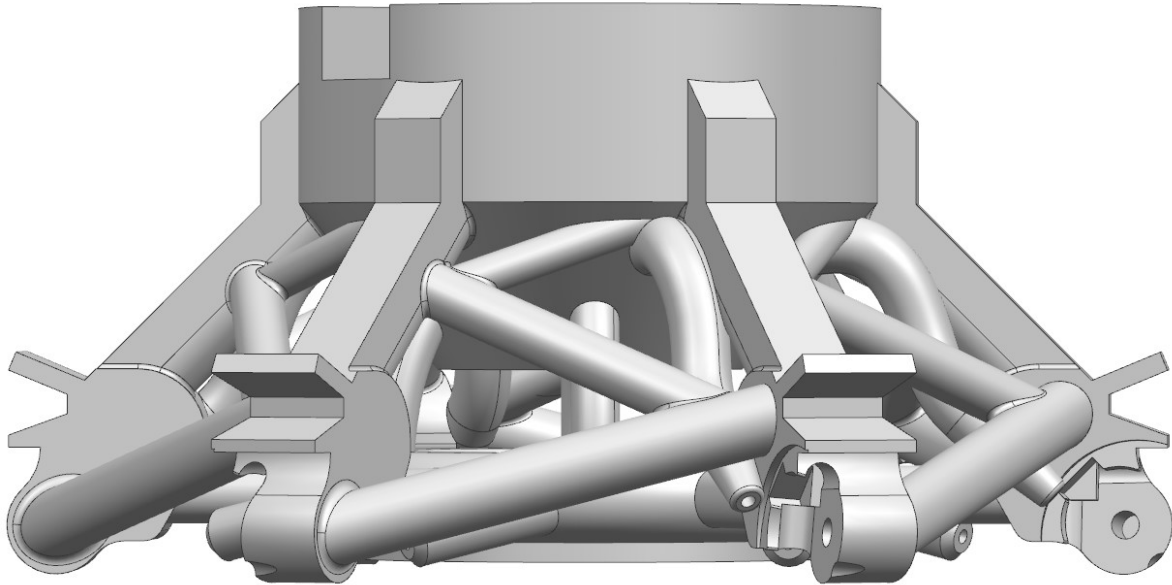
Obr. 46- Rozměry drážky pro kompozit varianty A

Varianta B frézy Kraken pro kompozitní materiál využívá více povrchu celé konstrukce, který se ještě upravil, aby bylo použití kompozitního materiálu co nejefektivnější. Oproti variantě A tedy využívá i jednotlivá ramena frézy a drážka je více roztažená (viz obrázek číslo 48). Objektivně vzato má tato varianta větší potenciál.



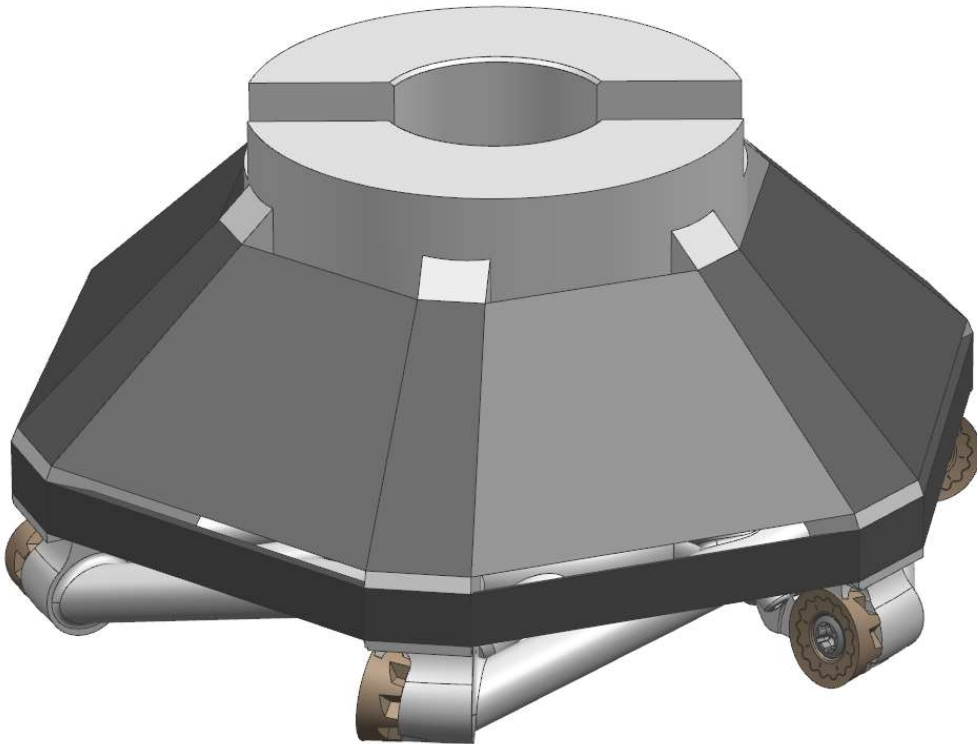
Obr. 47- Rozměry drážky pro kompozit varianty B

Prozatím jsou u varianty B prováděny simulace a úpravy. Ještě nebyla vytištěna a ani nijak jinak testována na rozdíl od varianty A.



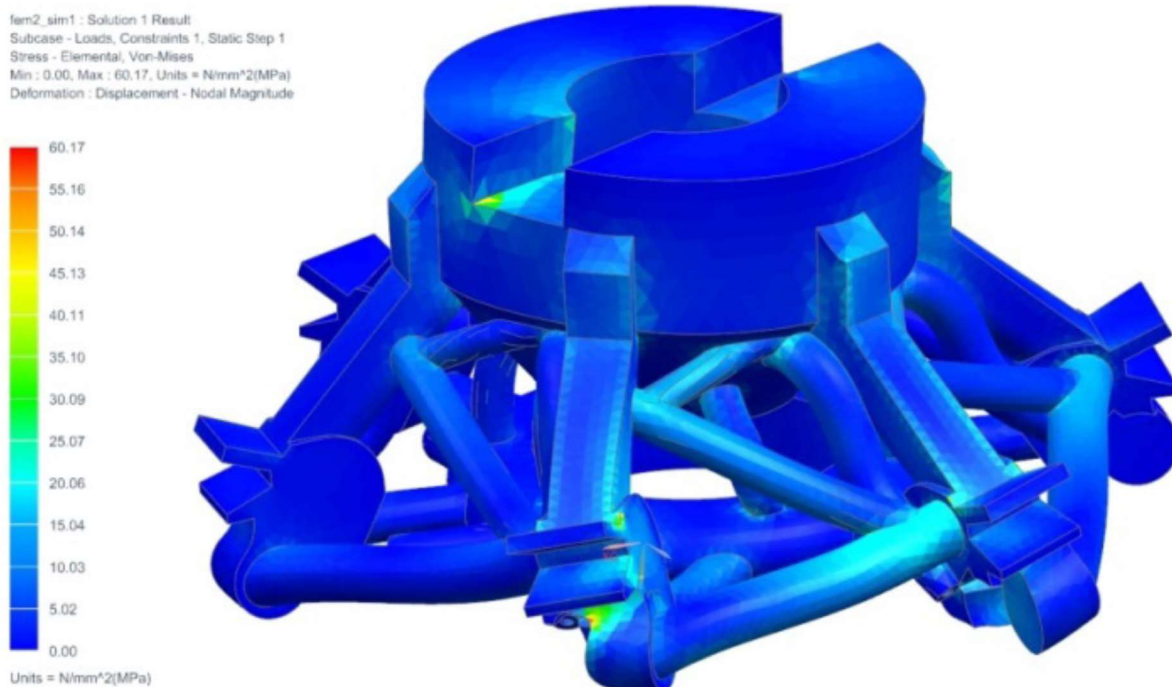
Obr. 48- Fréza Kraken s úpravou pro kompozitní materiál (Varianta B)

Byla vytvořena vizualizace frézy s již namotaným kompozitním materiálem pro variantu B, aby bylo zřetelné, jestli nová konstrukce bude vyhovovat.

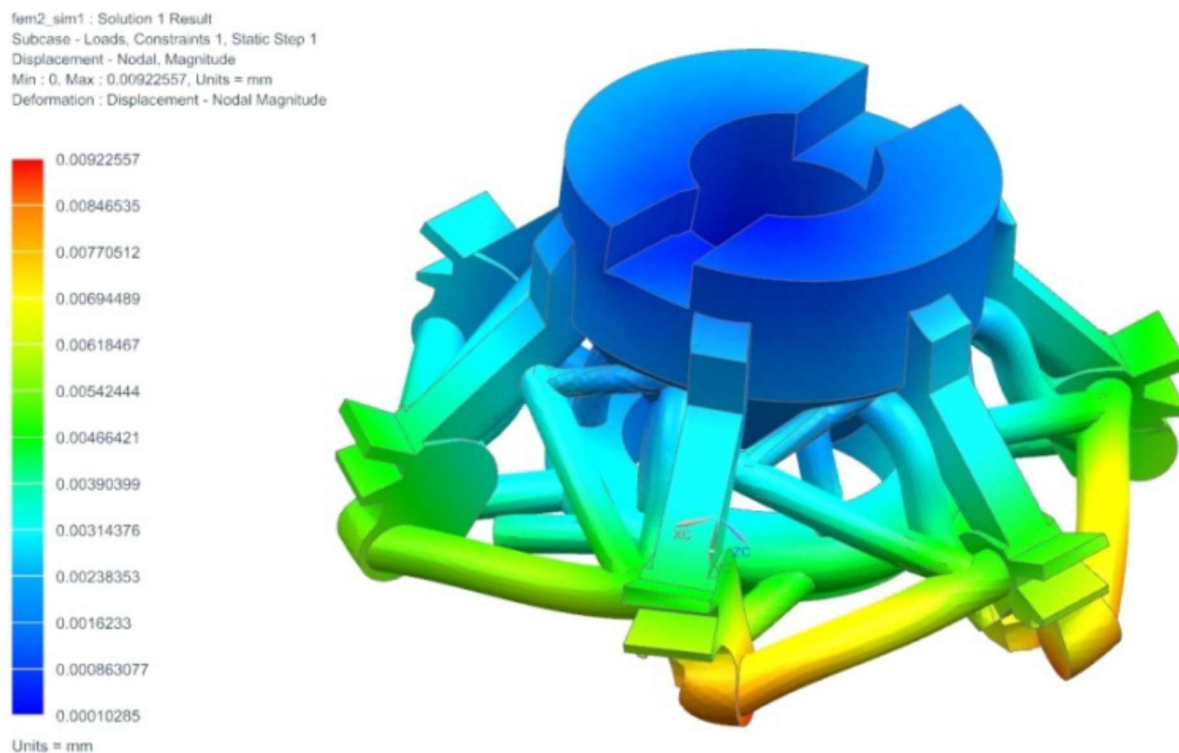


Obr. 49- Vizualizace varianty B s namotaným kompozitem.

S největší pravděpodobností bude dále využita varianta B. Vzhledem k celkové ploše, kterou kompozit pokryje, je ztužení celého nástroje významnější než u varianty A. Z tohoto důvodu byla pro variantu B provedena simulace rozložení napětí a deformačních posunutí.



Obr. 50- Simulace rozložení napětí pro variantu B [41]

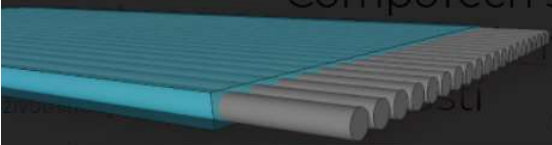


Obr. 51- Hodnoty deformačních posunutí [41]

Využití kompozitního materiálu mělo zásadní vliv na snížení hodnot napětí. Z výsledků simulace bylo zjištěno, že nastalo snížení napětí v rozmezí 15 až 20 procent. V oblasti deformačních posunutí hodnoty dosahovaly polovičních hodnot oproti standardní fráze Kraken. [55]

3.2.3.1 Kompozitní materiál

Materiálové parametry Krakenu pro modul pružnosti jsou 160 ± 30 GPa, hustota je 8 g/cm^3 , Poissonovo číslo je rovno 0.3 a koeficient bezpečnosti je $k=2$. Pro ztužení celé konstrukce byla vybrána kompozitní výztuž složená ze skleněných vláken, která jsou pojena epoxidovou pryskyřicí. [41]



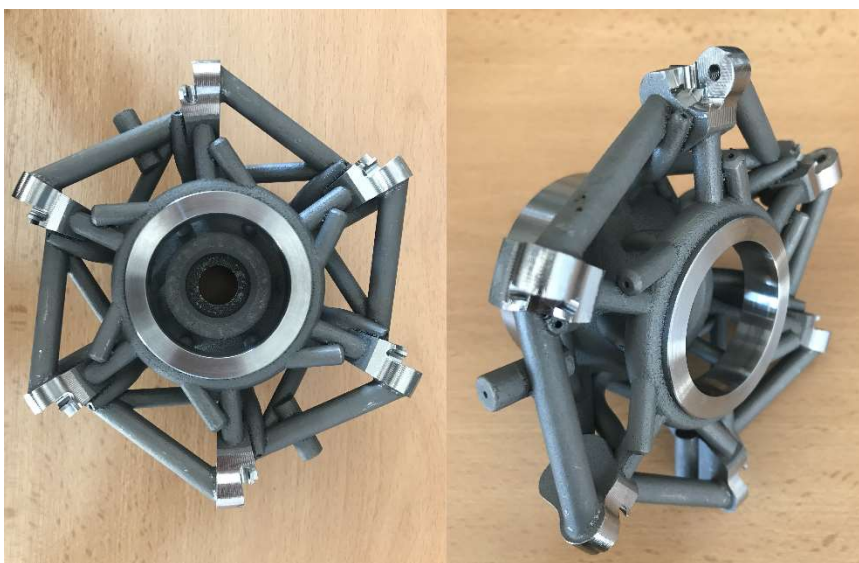
Fibre Type	Glass Fibre	Aramid Fibre	PAN Carbon Fibre, HS (High Strength)	Pitch Carbon Fibre Graphite Fibre *	Epoxy Resin
Longitudinal Modulus E_{fL}	74 GPa	130 GPa	230 GPa	640 GPa 760 GPa	3 GPa 5 GPa
Transverse Modulus E_{fT}	74 GPa	5 GPa	15 GPa	6 GPa	3 GPa 5 GPa
Shear Modulus G_{fLT}	30 GPa	12 GPa	50 GPa	20 GPa	1.2 GPa 1.5 GPa
Ult. Tensile Strength U_{fL}	2100 MPa	3000 MPa	5000 MPa	3800 MPa	T 70 MPa C 1800 MPa
Density	2500 Kg/m^3	1500 Kg/m^3	1600 Kg/m^3	1900 Kg/m^3	1100 Kg/m^3
Relative Cost	1	8	6	18	2

Obr. 52- Typické vlastnosti různých kompozitních vláken [43]

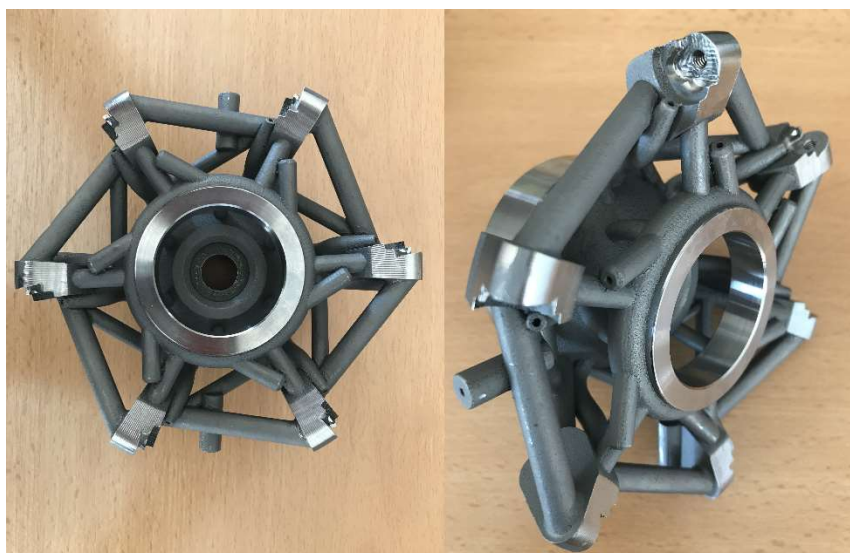
3.2.4 Reálné varianty frézy Kraken

Výše popsané úpravy byly schváleny, odeslány na tisk a doobrobny. Pouze fréza Kraken pro kompozitní materiál varianta B je prozatím ve stádiu simulace a úprav. V budoucnu bude následovat vytištění, obrobení, namotání kompozitu a testování v reálných podmínkách.

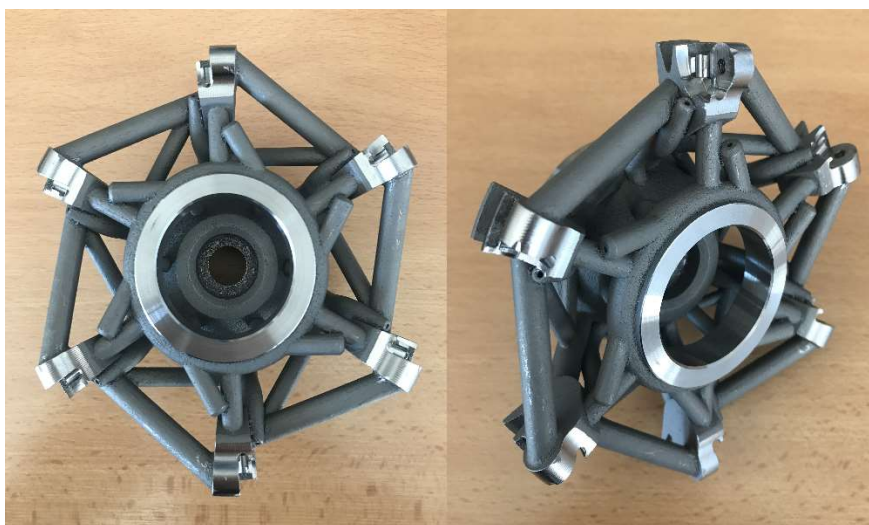
Přiložené obrázky zachycují finální vzhled fréz Kraken OSG, Kraken ISCAR a Kraken OSG s drážkou pro kompozitní materiál varianta A.



Obr. 53- Kraken OSG



Obr. 54- Kraken ISCAR



Obr. 55- Kraken OSG s drážkou pro kompozit

3.3 Testování fréz Kraken

Bylo provedeno několik typů testů, které sledovaly různé výstupy frézy Kraken. Bylo nutné ověřit nebo porovnat například zatížení vřetene při změně šířky přejezdu, monitorovat akustické emise, kvalitu obrobeného povrchu či opotřebení VBD.

V této části bakalářské práce bude věnována pozornost především testování, které zkoumalo opotřebení VBD v průběhu obrábění materiálu Inconel 718 za stálých řezných podmínek u všech výše zmíněných typů frézy Kraken

Výjimkou je testování velikosti zatížení vřetene při změně a_e (šířka přejezdu). Toto testování bylo provedeno jako porovnávací, kdy se testoval Kraken s konvenční frézou.

V tabulce níže jsou zmíněny pracovní názvy fréz Kraken, které byly využity během testování. První písmeno reprezentuje název společnosti, od které je fréza vybavena VBD. Druhé písmeno udává použitou geometrii (G1 je původní a G2 je aktuální) a písmeno V označuje verzi.

Název	označení
Kraken OSG původní geometrie	O-G1-V1-1
Kraken OSG nová geometrie	O-G2-V1-1
Kraken OSG s drážkami pro kompozit a novou geometrií (varianta A)	O-K1-G2-V1-1
Kraken ISCAR původní geometrie	I-G1-V1-1

Tabulka 3- Pracovní označení fréz Kraken

Testování se uskutečnilo na dvou obráběcích centrech. Prvním bylo MCU 450-5x a druhé obráběcí centrum bylo DMU 40 eVo Linear. Obě tyto centra se nachází na hale společnosti RTI.

3.3.1 Popis testování trvanlivosti VBD

Bylo dohodnuto, že pro testování životnosti VBD bude proveden test, při kterém frézy obrobí jednu vrstvu materiálu za neustále stejných podmínek. Po dokončení obrobení jedné vrstvy se VBD zkontrolují na mikroskopu a určí se tak jejich opotřebení až do hodnoty 0.2 mm. Polotovarem byl hranol Inconelu 718 o rozměrech 268 x 108 x 90 mm

Obrábění samotné probíhalo s chlazením kapalinou za těchto řezných podmínek:

Řezné podmínky	
v_c	60 m/min
f_z	0.1 mm
a_p	0.5 mm
a_e	30 mm

Tabulka 4- Řezné podmínky testování trvanlivosti VBD

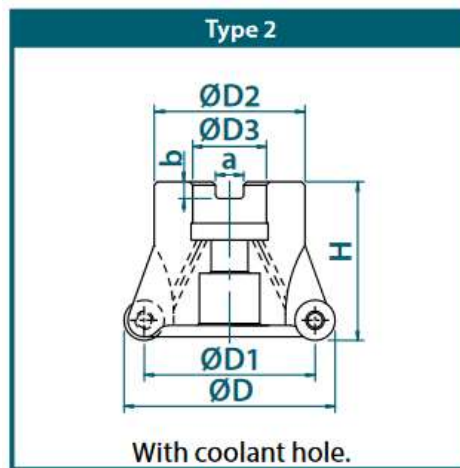
3.3.2 Porovnávací test

Z důvodu osazení originální frézy Kraken OSG (O-G1-V1-1) VBD od společnosti OSG, bylo provedeno první testování, které bylo především komparační a zkoumaly se reálné vlastnosti frézy Kraken OSG (O-G1-V1-1) v porovnání s konvenční frézou od společnosti OSG.

Prvním testem bylo pozorování zatížení vřetene při změně šířky přejezdu a_e . Šířka přejezdu byla stanovena na 10 mm, 30 mm a 45 mm. Ostatní řezné podmínky zůstávaly konstantní, viz. tabulka číslo 5.

EDP No.	Body Type	Teeth Type	Designation	Type	Tool Dia. (mm)	Effective Dia. (mm)	No. of Teeth	Tool Height (mm)	Flange Dia. (mm)	Bore Dia. (mm)	Keyway Width (mm)	Keyway Depth (mm)	Applicable Insert
					D	D1		H	D2	d3	a	b	
7800203			PRC12R100M32-6	2	100	88	6	50	70	32	14.4	8	RPH_12...

Obr. 56- Specifikace frézy od společnosti OSG [39]



Obr. 57- Konvenční fréza OSG [39]

Frézy využitě na testování byly osazeny stejnými VBD, které jsou určené přímo na obrábění materiálů spadající pod skupinu ISO S.

3.3.3 Testování zatížení vřetene

Byla nastavena vysoká hodnota hloubky řezu, aby se docílilo téměř extrémních podmínek obrábění. Testování proběhlo za těchto řezných podmínek:

Řezné podmínky	
v_c	60 m/min
f_z	0.1 mm
a_p	2 mm
a_e	10, 30, 45 mm

Tabulka 5- Řezné podmínky pro testování zatížení vřetene

3.3.3.1 Konvenční fréza OSG

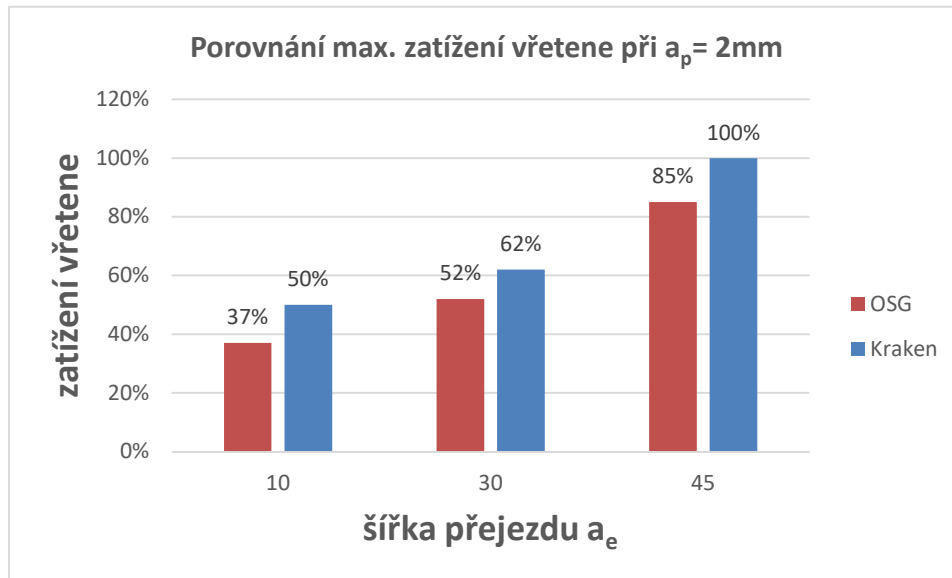
- $a_e = 10$ mm - maximální zatížení 37%;
- $a_e = 30$ mm - maximální zatížení 52%;
- $a_e = 45$ mm - maximální zatížení 85%

3.3.3.2 Fréza Kraken OSG (O-G1-V1-1)

- $a_e = 10$ mm – maximální zatížení 50%
- $a_e = 30$ mm – maximální zatížení 62%
- $a_e = 45$ mm - maximální zatížení 100%

3.3.3.3 Závěr

Testování ukázalo, že zatížení vřetene u frézy Kraken je přijatelné a další optimalizací by se dalo i snížit. Bohužel se ukázalo, že originální geometrie lůžka u frézy Kraken byla nevhodně nastavena a fréza během obrábění silně pískala a vytvářela tak vysokou akustickou emisi. Z tohoto důvodu byla geometrie na dalších frézách Kraken předělána, aby se snížily akustické emise i zatížení vřetene.



Obr. 58- Porovnání max. zatížení vřetene

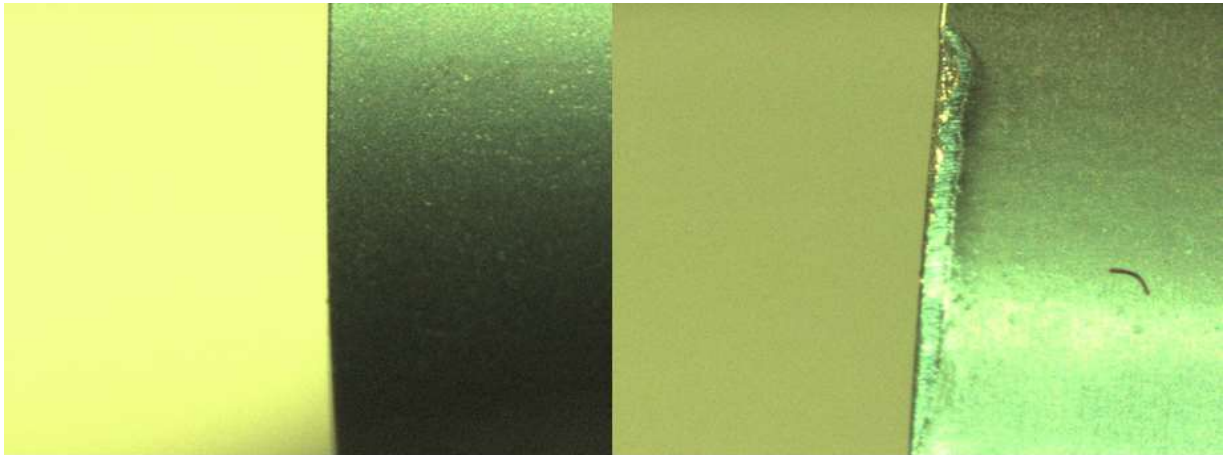
3.3.4 Testování trvanlivosti VBD

Zkouška trvanlivosti zkoumala, zdali fréza Kraken OSG (O-G1-V1-1) bude schopna obrábět extrémně tvrdý materiál stejně dlouho a kvalitně jako konvenční fréza s totožnými VBD.

3.3.4.1 Testování konvenční frézy OSG

Celkem byly odebrány dvě vrstvy polotovaru. Po prvním přejezdu bylo největší opotřebení břitových destiček 0.12 mm. Po druhém přejezdu bylo zjištěno, že limit 0.2 mm překročily 3 VBD (největší opotřebení bylo 0.22 mm) a zbylé se pohybovaly na hranici maximálního opotřebení, tedy od 0.18 mm až 0.19 mm.

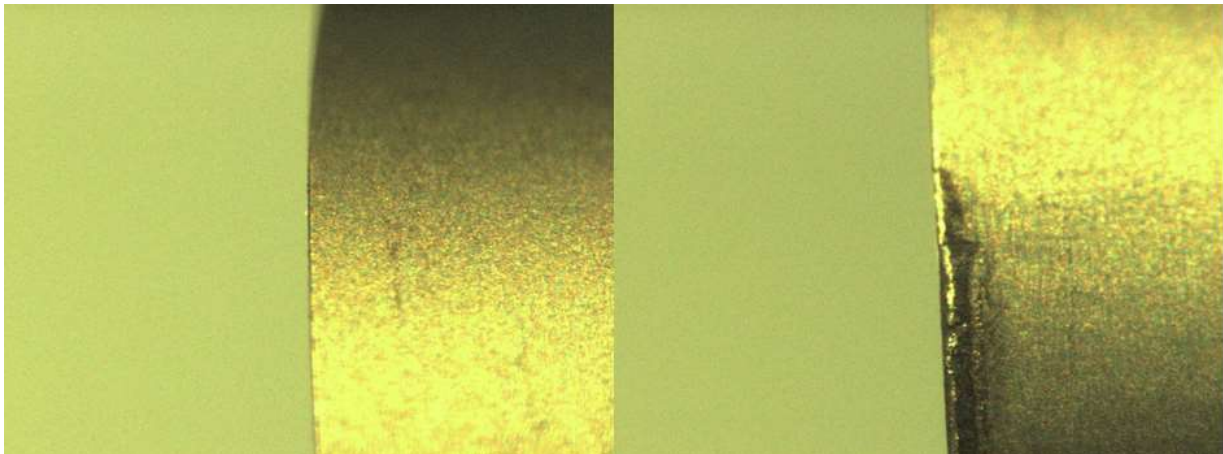
Z výsledků hodnot se odebrání třetí vrstvy neprovádělo, jelikož by všechny břitové destičky byly za stanovenou hranici opotřebení.



Obr. 59- Opotřebení břitových destiček OSG (nová VBD x nejvíce opotřebená VBD)

3.3.4.2 Testování frézy Kraken OSG (O-G1-V1-1)

Odebrány byly taktéž dvě vrstvy polotovaru, což bylo pozitivní zjištění. Po prvním přejezdu bylo změřeno největší opotřebení VBD 0.13 mm. Měření po druhém přejezdu ukázalo, že všechny VBD již překročily stanovenou hranici opotřebení. Největší naměřené opotřebení bylo 0.23 mm.



Obr. 60- Opotřebení břitových destiček Kraken (nová VBD x nejvíce opotřebená VBD)

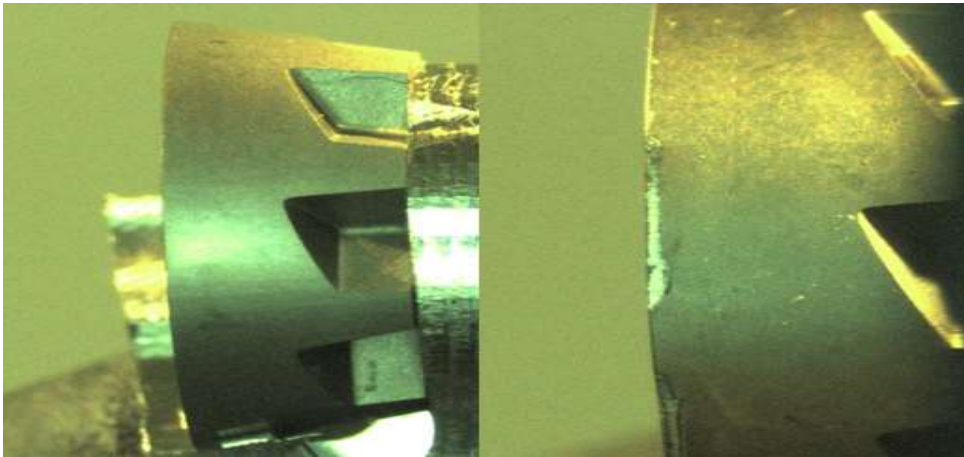
3.3.4.3 Závěr

Bylo zjištěno, že Kraken má shodnou trvanlivost jako konvenční fréza. Kvalita obrobeného povrchu byla shodná. Taktéž se zde projevil nedostatek v geometrii lůžka, který vytvářel akustické emise.

3.3.5 Test frézy Kraken OSG (O-G2-V1-1)

Při tomto testu byly využity již použité VBD, které byly usazeny tak, aby se obrábělo nepoškozenou hranou.

Upravené fréza Kraken OSG s novou geometrií odebrala 2 vrstvy polotovaru. Po prvním přejezdu bylo největší naměřené opotřebení 0.15 mm. Po uskutečnění druhého přejezdu překročily všechny VBD stanovenou hranici opotřebení. Největší opotřebení bylo 0.23 mm.



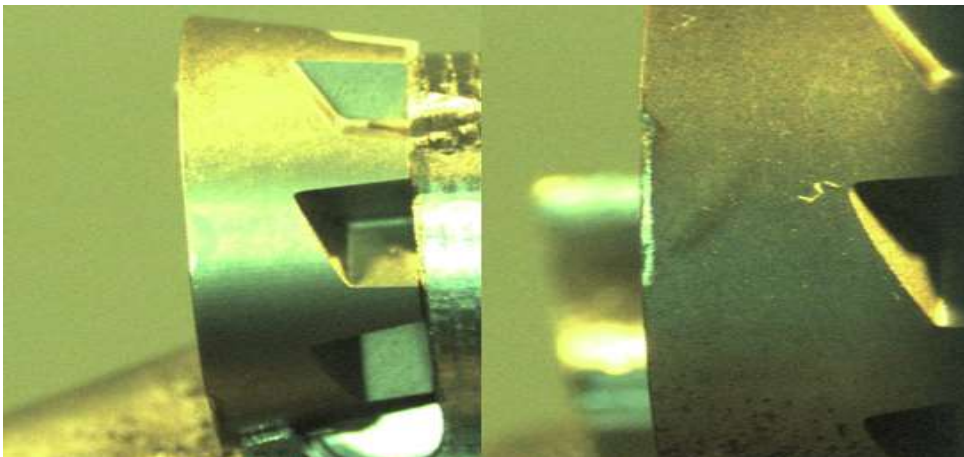
Obr. 61- Opotřebení břitových destiček Kraken G2 (nová VBD x nejvíce opotřebená VBD)

3.3.6 Test frézy Kraken OSG s drážkami (O-K1-G2-V1-1)

První testování této varianty frézy Kraken proběhlo bez navinutého kompozitu, aby bylo možné stanovit rozdíl mezi výsledky s navinutým kompozitem.

Byly celkem odebrány dvě vrstvy polotovaru. Po prvním přejezdu bylo největší naměřené opotřebení 0.15 mm. Po odebrání druhé vrstvy bylo změřeno největší opotřebení na 0.21 mm

Bohužel se varianta s navinutým kompozitem pro tento experiment nestihla zhotovit, a proto není možné uvést a porovnat výsledky. V budoucnu se na tomto testu bude pracovat a hodnoty se porovnájí, aby vznikl odpovídající vzorek hodnot těchto dvou variant.



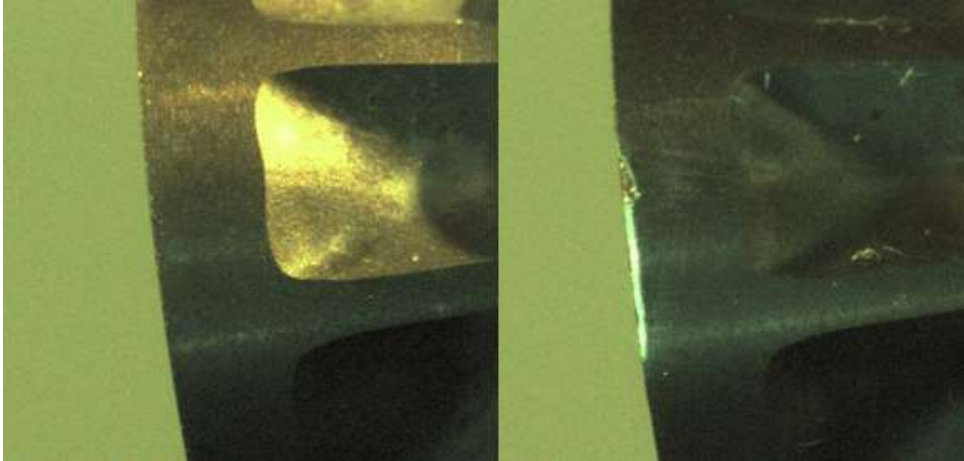
Obr. 62- Opotřebení břitových destiček Kraken K1-G2 (nová VBD x nejvíce opotřebená VBD)

3.3.7 Test frézy Kraken ISCAR (I-G1-V1-1)

Tato fréza byla zhotovena ještě před vytvářením nové geometrie, proto disponuje ještě původním provedením. Ovšem nové lůžko bylo během vytváření v softwaru NX polohováno odlišněji než původní lůžko pro VBD OSG.

Nejspíše díky této skutečnosti je průběh akustické emise obrábění velmi podobný předchozím frézám s již novou geometrií lůžka.

Kraken ISCAR odebral taktéž 2 vrstvy polotovaru. Po prvním přejezdu bylo největší opotřebení 0.17 mm. Po druhém přejezdu všechny VBD přesáhly hranici 0.2 mm. Největší opotřebení břitové destičky bylo stanoveno VBD_{max} 0.26 mm.



Obr. 63- Opatření břitových destiček Kraken ISCAR (nová VBD x nejvíce opotřebená VBD)

3.4 Zhodnocení testování

Velmi důležitým požadavkem během celého testování bylo, aby fréza Kraken a všechny její varianty zvládly obrábět podobně nebo lépe než konvenční frézy. Z tohoto důvodu byly provedeny testy, které porovnávaly frézu Kraken a konvenční frézu od společnosti OSG, kde se zjišťovaly prvotní informace ohledně vlastností a chování frézy Kraken během obrábění.

Během těchto testů bylo zjištěno, že fréza Kraken byla schopna obrábět stejně jako standardní fréza, se kterou byl Kraken porovnáván. To vše při zachování téměř stejné životnosti VBD a kvality obráběného povrchu.

Objevily se ovšem i nedostatky jako například špatné nastavení geometrie lůžka pro VBD nebo větší zatížení vřetene během obrábění při nestandardních řezných podmínkách.

Problém s geometrií byl odhalen včas a po její úpravě se během testů ukázalo, že akustické emise se rapidně snížily a chod fréz Kraken byl velmi podobný konvenčním frézám. Nedostatky ohledně zatížení vřetene jsou spíše informativní. Na funkčnost a životnost frézy to vliv nemá. Především proto, že řezné podmínky byly takto extrémně nastaveny záměrně, ale při standardním obrábění se k těmto hodnotám obsluha nepřiblíží.

Je nutné připomenout, že Kraken má oproti konkurenci výrazně nižší váhu a disponuje vnitřním přívodem procesní kapaliny na čelo a především hřbet VBD. Ten je optimalizovaný přesně pro potřeby této frézy a přivádí tak procesní kapalinu precizně do místa řezu. To znamená, že při zachování téměř stejných hodnot a kvalit během a po obrábění si Kraken připisuje ještě výše popsané výhody oproti konvenčním frézám.

Závěr

Hlavním cílem této kvalifikační práce bylo především vylepšit již existující frézu Kraken. Skrze různé inovace se upravoval současný stav tohoto řezného nástroje, tak aby se zvýšila jeho efektivita a produktivita. Zároveň bylo záměrem prozkoumat současné trendy předních světových výrobců v oblasti řezných nástrojů.

Důležitou částí byla rešerše současného stavu řezných nástrojů se zaměřením na výrobu pomocí aditivních technologií tak, aby vznikl odpovídající vzorek dat, ze kterého bylo zřetelné, jakým směrem se momentálně výroba řezných nástrojů ubírá a na co se zaměřit při inovacích frézy Kraken.

V praktické části byly zhotoveny tři druhy úprav na původní fréze Kraken. Konkrétně se jednalo o úpravu geometrie nástroje, přepracování původních lůžek na lůžka nová pro VBD od společnosti ISCAR a přidání drážek pro kompozitní materiál. Po zhotovení inovovaných nástrojů proběhl experiment. Během testování byla porovnána fréza Kraken s konvenční frézou OSG a byly provedeny testy trvanlivosti VBD na všech variantách fréz.

Po vyhodnocení experimentálního testování bylo shledáno, že všechny varianty frézy Kraken jsou konkurenceschopné a disponují dalšími výhodami, kterých konvenčně vyráběné řezné nástroje nemohou dosáhnout.

Použitá literatura

- [1] Machining of hard materials. Editor J. Paulo DAVIM. London: Springer, c2011. ISBN 978-1-84996-450-0.
- [2] DAVIM, J. Paulo. Metal Cutting Technologies: Progress and Current Trends. 2016. ISBN 3110449420.
- [3] KAI, Chee, CHUA a Kah FAI. 3D printing and additive manufacturing: principles and applications: The 4th edition of Rapid prototyping: principles and applications. New Jersey, 2015. ISBN 978-981-4571-41-8.
- [4] BIAN, Linkan, Nima SHAMSEI a John USHER. Laser-Based Additive Manufacturing of Metal Parts: Modeling, Optimization, and Control of Mechanical Properties. 2017. ISBN 9781315151441.

Internetové zdroje

- [5] Sandvik - Wikipedia. [online]. [cit. 23. 11. 2019]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sandvik>
- [6] About us — Sandvik Additive Manufacturing. Document Moved [online]. Copyright © Sandvik AB [cit. 24. 11. 2019]. Dostupné z: <https://www.additive.sandvik/en/about-us/>
- [7] Nižší hmotnost – vyšší zisky. Document Moved [online]. Copyright © Sandvik Coromant [cit. 24. 11. 2019]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/mww/pages/t_cm390am.aspx
- [8] Sandvik Coromant - YouTube. YouTube [online]. Copyright © 2020 Google LLC [cit. 24. 11. 2019]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/user/sandvikcoromant>
- [9] CoroMill 390. Document Moved [online]. Copyright © Sandvik Coromant [cit. 28. 11. 2019]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromill_390/Pages/success-stories.aspx
- [10] Document Moved [online]. Copyright © [cit. 27. 11. 2019]. Dostupné z: <https://www.additive.sandvik/en/SysSiteAssets/titanium-powder/pdf/lightweight-coromill-390.pdf>
- [11] CoroTurn 300. Document Moved [online]. Copyright © Sandvik Coromant [cit. 02. 12. 2019]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coroturn_300/pages/how-to-use.aspx
- [12] PrimeTurning . Document Moved [online]. Copyright © Sandvik Coromant [cit. 05. 12. 2019]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/campaigns/primeturning/pages/default.aspx?internal_camplink=primeturning&internal_camplink_type=highlight
- [13] Na trh vstupuje nová koncepce CoroTurn® 300 s rozhráním iLock™ . Document Moved [online]. Copyright © Sandvik Coromant [cit. 13. 12. 2019]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/news/press_releases/pages/new-coroturn-300-with-ilock-interface-introduced.aspx
- [14] CoroTurn® Prime. Document Moved [online]. Copyright © Sandvik Coromant [cit. 13. 12. 2019]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coroturn_prime/Pages/default.aspx

- [15] Tlumené obráběcí nástroje Silent Tools. Document Moved [online]. Copyright © Sandvik Coromant [cit. 15. 12. 2019]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/silent_tools/pages/default.aspx
- [16] Nástroje Silent Tools. Document Moved [online]. Copyright © Sandvik Coromant [cit. 06. 01. 2020]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/silent_tools_toolholding/pages/default.aspx
- [17] ISCAR [online]. [cit. 06. 01. 2020]. Dostupné z: <https://www.iscar.cz/newarticles.aspx/countryid/6/newarticleid/2997>
- [18] iscarweb - YouTube. YouTube [online]. Copyright © 2020 Google LLC [cit. 08. 01. 2020] Dostupné z: <https://www.youtube.com/channel/UChspL6eMZtxvnYJiLEfs1gg>
- [19] ISCAR new product announcement. ISCAR [online]. [cit. 29. 11. 2019]. Dostupné z: <https://www.iscar.cz/newarticles.aspx/countryid/6/newarticleid/2997>
- [20] ISCAR new product announcement. ISCAR [online]. [cit. 02. 12. 2019] Dostupné z: <https://www.iscar.cz/newarticles.aspx/countryid/6/newarticleid/2616>
- [21] ISCAR new product announcement. ISCAR [online]. [cit. 03. 12. 2019]. Dostupné z: <https://www.iscar.cz/newarticles.aspx/countryid/6/newarticleid/2618>
- [22] O společnosti Kennametal - JAN HAVELKA, spol. s r.o.. Tradiční dodavatel obráběcích nástrojů Kennametal - JAN HAVELKA, spol. s r.o. [online]. Copyright © [cit. 06. 01. 2020]. Dostupné z: <https://www.jan-havelka.cz/index.php/o-spolecnosti-kennametal>
- [23] Additive Manufacturing. 302 Found [online]. Copyright © 2020 [cit. 08. 01. 2020]. Dostupné z: <https://www.kennametal.com/us/en/industries/additive-manufacturing.html>
- [24] KENNAMETAL INC. - OFFICIAL - YouTube. YouTube [online]. Copyright © 2020 Google LLC [cit. 08. 01. 2020]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/channel/UCClhvrrYRe2kMgnLyrH4ikw>
- [25] ISO Holders with Through Coolant. 302 Found [online]. Copyright © 2020 [cit. 08. 01. 2020]. Dostupné z: <https://www.kennametal.com/cz/cs/products/metalworking-tools/turning/od-and-id-turning/ISOHolderswithThroughCoolant.html>
- [26] Metalworking Machine Tools Supplier & Equipment Distributor | Productivity Inc. [online]. Copyright © [cit. 10. 01. 2020]. Dostupné z: <https://www.productivity.com/wp-content/uploads/2016/09/Kennametal-Innovations-Catalog-2017-Metric.pdf>
- [27] MAPAL Dr. Kress – Wikipedia. [online]. [cit. 11. 01. 2020] Dostupné z: https://de.wikipedia.org/wiki/MAPAL_Dr._Kress
- [28] MAPAL: Home [online]. [cit. 21. 01. 2020] Dostupné z: https://www.mapal.com/fileadmin/mapal_ftp/Blaetterkataloge/index.html?catalog=MAPAL-Technology-Report-08&lang=en_GB#page_6
- [29] MAPAL: Home [online]. [cit. 22. 01. 2020] Dostupné z: https://www.mapal.com/fileadmin/mapal_ftp/Blaetterkataloge/index.html?catalog=MAPAL-Innovations-2020&lang=en_GB#page_8
- [30] MAPAL: Vibration damping. MAPAL: Home [online]. Copyright © 2009 [cit. 26. 01. 2020]. Dostupné z: <https://www.mapal.com/cs/novinky/tisk/vibration-damping/>
- [31] O nás | WNT. Zerspanungswerkzeuge | Wendeschneidplatten | WNT [online]. Copyright © CERATIZIT Česká republika s.r.o. [cit. 29. 01. 2020]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz/firma/o-nas.html>

- [32] Dragonskin | WNT. Zerspanungswerkzeuge | Wendeschneidplatten | WNT [online]. Copyright © CERATIZIT Česká republika s.r.o. [cit. 02. 02. 2020]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz/nastroje/dragonskin.html>
- [33] Revoluce v oblasti soustružení | WNT. Zerspanungswerkzeuge | Wendeschneidplatten | WNT [online]. Copyright © CERATIZIT Česká republika s.r.o. [cit. 05. 02. 2020]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz/nastroje/news-nastroje/revoluce-v-oblasti-soustruzeni-2302.html>
- [34] SAKU | CERATIZIT | WNT | KOMET. [online]. [cit. 05. 02. 2020] Dostupné z: <https://www.kometgroup.com/en/komet/komet/>
- [35] SAKU | CERATIZIT | WNT | KOMET. [online]. [cit. 08. 02. 2020] Dostupné z: https://www.kometgroup.com/fileadmin/user_upload/GB_KOMET-PCD-Milling-tools-HPC.pdf
- [36] Polykrystalický diamant: PKD. OSU [online]. [cit. 10. 02. 2020] Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/03009.html>
- [37] SAKU | CERATIZIT | WNT | KOMET. [online]. [cit. 21. 02. 2020] Dostupné z: <https://www.kometgroup.com/en/news/detail/drilling-tool-with-chip-spoilers/>
- [38] TOOL PLUS IDEAS 2017- 2018: KOMET group. Kometgroup [online]. [cit. 24. 02. 2020] Dostupné z: https://www.kometgroup.com/fileadmin/user_upload/9_downloads/informationen/GB_TOOL_S-PLUS-IDEAS_2017-2018.pdf
- [39] Endmills | OSG. OSG [online]. Copyright © OSG Europe [cit. 14. 03. 2020]. Dostupné z: <https://store.osgeurope.com/en/toolselector/endmills>
- [40] Regionální technologický institut - Zaměření. Západočeská univerzita v Plzni [online]. Copyright © 1991 [cit. 20. 03. 2020]. Dostupné z: <https://rti.zcu.cz/laboratore/obrabeni/>
- [41] TEPLÝ, Radek. VÝPOČTOVÁ SIMULACE A SROVNÁNÍ TIŠTĚNÉ FRÉZOVACÍ HLAVY S TIŠTĚNOU FRÉZOVACÍ HLAVOU S KOMPOZITNÍ VYZTUŽÍ [online]. Plzeň, 2020, 02. 05. 2020. [cit. 06. 05. 2020].
- [42] 3D printers for additive manufacturing with metals | EOS. Redirecting to /en [online]. Copyright © EOS [cit. 12. 04. 2020]. Dostupné z: <https://www.eos.info/en/additive-manufacturing/3d-printing-metal/eos-metal-systems>
- [43] Kompozity a kov - CompoTech. CompoTech - Composite Manufacturing [online]. Copyright ©2020 CompoTech PLUS, spol. s r.o. [cit. 19. 04. 2020]. Dostupné z: <https://compotech.com/cs/technologie/composita-a-kov/>
- [44] ISCAR eCatalog [online]. [cit. 13. 05. 2020]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Family.aspx?fnum=4304&mapp=TG&app=52&GFSTYP=M>

Seznam příloh

Příloha číslo 1- výkres frézy Kraken